



**NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK  
HYDROLOGISK AVDELING**

**OPERATIV BRUK AV SATELITTDATA  
FOR SNØKARTLEGGING**

**OPPDRAKSRAPPORT  
6 - 91**

# OPPDRAKSRAPPORT

6-91

Rapportens tittel:	Dato: 1990-10-10
OPERATIV BRUK AV SATELLITDATA FOR SNØKARTLEGGING	Rapporten er: Åpen
	Opplag: 50

Saksbehandler/Forfatter:	Ansvarlig:
Dan Lundquist Seksjon Vannbalanse	 Dan Lundquist

Oppdragsgiver:
VASSDRAGSREGULANTENES FORENING

Sammendrag:
Rapporten presenterer hovedresultatene fra en forstudie til VR-prosjekt A-184 vedr. operativ snøkartlegging med satellitt. Disse omfatter:
<ul style="list-style-type: none"><li>- Beskrivelse av bakgrunn og målsetting for en operativ tjeneste ved NVE.</li><li>- Krav til data og prosessering</li><li>- Status i Norge, Sverige, Danmark og Finland</li><li>- Kort omtale av bruk av mikrobølgesensorer</li><li>- Litteratuoversikter</li></ul>

## FORORD

Prosjektet "Operativ snøkartlegging med satellitt", som er delfinansiert av Vassdragsregulantenes Forening (VR), har som formål å utprøve et operativt opplegg for snøkartlegging med satellitt ved NVE. Utvikling av analysemetoder utføres vesentlig som et VR-finansiert prosjekt ved Norsk Hydroteknisk Laboratorium (NHL).

Denne rapporten er utarbeidet som en forstudie til dette prosjektet. Grunnlaget for rapporten er litteraturstudier og korte studiebesøk ved fjernanalysemiljøer i Norge, Sverige, Danmark, Finland og Østerrike i perioden 1990-91.

Oslo, oktober 1991



Arne Tollan  
avdelingsdirektør

## **INNHOLD**

	Side
<b>BAKGRUNN</b>	<b>3</b>
<b>MÅLSETTING</b>	<b>4</b>
<b>DATAKRAV</b>	<b>4</b>
<b>DATAPROSESSERING</b>	<b>5</b>
<b>STATUS I NORGE</b>	<b>7</b>
<b>STATUS I SVERIGE</b>	<b>7</b>
<b>STATUS I DANMARK</b>	<b>8</b>
<b>STATUS I FINLAND</b>	<b>9</b>
<b>BRUK AV MIKROBØLGESENSORER</b>	<b>10</b>
<b>AVSLUTTENDE BEMERKNINGER</b>	<b>11</b>

**Vedlegg 1. Litteraturoversikt: Fagartikler/rapporter om fjernanalyse  
og snøkartlegging**

**Vedlegg 2. Litteraturoversikt: Diverse materiale om fjernanalyse**

# OPERATIV BRUK AV SATELLITDATA FOR SNØKARTLEGGING

## BAKGRUNN

Operativ bruk av satellittdata for snøkartlegging har interesse i tre sammenhenger:

- Flomvarsling i skadeforebyggende hensikt
- Tilsigsprognosering for effektivisering av vannkraftproduksjon
- Generell kartlegging av snøforholdene

Flomvarslingen stiller spesielt store krav til sanntids databearbeidelse- og presentasjon (maks. ca. 1 døgn), fordi varslingshorisonten som regel er kort, 1-7 dager. Av størst betydning for flomvarslingen er oversikter over snødekket areal (snødekningsgrad) fordi denne bestemmer smelteintensiteten på kort sikt (det er vesentlig innkommende stråling over snødekket areal som kan brukes til å smelte snø). På lang sikt vil også oversikter over snømagasinets volum (vannekvivalent) ha betydning for kontroll og oppdatering av tilstandene i de simuleringsmodeller som benyttes i flomvarslingen.

Tilsigsprognosering i forbindelse med vannkraftproduksjon har som regel en noe lengre prognoseringshorisont og stiller derfor lavere krav til sanntids databearbeidelse (maks. ca. 1 uke). For denne typen av prognosering vil oversikter over vannekvivalenten i snømagasinet være av større interesse enn snødekningsgraden, fordi en er mer interessert i smeltevolumet enn i intensiteten.

Generell kartlegging av snøforhold stiller i utgangspunktet ingen krav til sanntids datainnsamling og -bearbeidelse. Derimot er muligheten for kartlegging av store områder ved bruk av satellittdata av stor interesse.

For disse formål brukes idag vesentlig tre kartleggingsmetoder:

- Snømålinger i felt i punkter eller langs strekk (manuelle målinger med stikkstenger og snørør, registrerende snøputer, snøradar)
- Summering av all vinternedbør etter en gitt dato (DNMI's snoakkumulasjonskart)
- Modellberegninger basert på observert nedbør og temperatur (HBV-modellen)

Snømålinger i felt er ofte både tid- og kostnadskrevende og kan av praktiske grunner som regel ikke utføres etter at snøsmeltingen har kommet igang. DNMI's akkumulasjonskart, som beregnes for tre ulike høydenivåer, har den vesentlige svakheten at de ikke tar hensyn til evt. smelting og avrenning under vintersesongen.

Modellberegningene har ingen av disse svakhetene, men avhenger i stor grad av antakelser om de benyttede nedbør- og temperaturstasjonenes representativitet for det

aktuelle felt/område. Det er derfor vanlig at beregnet avløp fra disse modellene sammenlignes med observert avløp for på den måten å danne grunnlag for oppdatering av modellen, hvis denne ikke gir akseptable resultater. Modellene beregner som regel både snødekningsgrad og snømagasinets vannekvivalent. I snøsmelteperioden vil derfor opplysninger om begge disse variablene være verdifull tilleggsinformasjon ved oppdatering av modellene.

## MÅLSETTING

Av ovenfor nevnte grunner ønsker NVE å utvikle et system for operativ bruk av satellittdata for snøkartlegging. I første omgang tar en sikte på å få til et opplegg for kartlegging av snødekningsgrad.

I Norge vil en ofte oppleve store lokale variasjoner i snødekningsgrad (snøflekker/barmarksflekker) som resultat av ujevn snøfordeling (fonndannelse pga. vind). Det vil derfor ikke være tilstrekkelig å kartlegge i bare to klasser, snødekket og ikke snødekket mark, men fortrinnsvis i intervaller (f.eks. 20%, 40%, osv. snødekke i et gitt område).

Et slikt opplegg er allerede implementert av Statkraft i samarbeid med Norsk Regnesentral. Dette forutsetter imidlertid operativ bistand fra Norsk Regnesentral og det innebærer tildels tidkrevende manuelt arbeid for geometrisk oppretting av bildene og en vesentlig andel subjektive vurderinger i forbindelse med klassifiseringen av bildene. En operativ tilrettelegging av dette opplegget vil derfor være det første målet for utviklingsarbeidet ved NVE.

På litt lenger sikt ønsker vi også å undersøke mulighetene for kartlegging av snødekkets vannekvivalent. To mulige fremgangsmåter er aktuelle: estimering av vannekvivalent basert på snødekningsgrad (regresjonsligninger, modeller) og direkte bestemmelse basert på registreringer fra satellittbårne radarsensorer.

## DATAKRAV

Ved vurdering av hvilke datakilder (satellitter) som er aktuelle ved operativ bruk av satellittdata for snøkartlegging må følgende egenskaper vurderes:

- Leveringsfrekvens (hvor ofte)
- Leveringstid (hvor raskt)
- Romlig oppløsning (hvor detaljert)
- Sensoregenskaper
- Pris

**Leveringsfrekvensen** er ofte den kritiske egenskapen ved utnyttelse av satellittdata til operative formål. I de aller fleste tilfeller vil nok 1-2 datasett pr. uke være tilstrekkelig. Da en imidlertid må regne med at deler av landet til tider vil være dekket av skyer, slik at evt. flere overflyvinger må til for å lage en komplett oversikt, blir i realiteten kravet

minst ett datasett pr. dag. I dag er det kun to typer satellitter som kan oppfylle dette kravet for Norge, NOAA- og METEOSAT-satellittene. NOAA har flere overflyvninger pr. døgn mens METEOSAT er en geostasjonær satellitt som i prinsippet kan levere bilder over Norge kontinuerlig. LANDSAT kan bare gi bilder av samme område hver 16. dag og SPOT hver 26. dag (dog ca. 3 ganger pr. uke hvis kostbare forandringer av "fotograferingsvinkel" foretas).

**Leveringstiden** vil være viktig for å kunne bruke ferskest mulig data ved oppdatering av simuleringsmodellene. Data må kunne leveres i løpet av ett døgn og aller helst i løpet av få timer. Også her er det kun NOAA og METEOSAT som kan oppfylle disse kravene i praksis (ved nedlesing av data til TSS i Tromsø eller til DNMI i Oslo). Grunnen til dette er at begge disse satellittene brukes operativt bl.a. i forbindelse med værvarsling.

**Romlig dataoppløsning** hos de ulike satellittene varierer sterkt. SPOT og LANDSAT kan levere bilder med oppløsning av størrelsesorden 20-30 m, NOAA klarer ca. 1 km mens METEOSAT ikke har bedre oppløsning enn 15-25 km på våre breddegrader. For felter større enn ca. 100 km<sup>2</sup> vurderes en oppløsning på 1 km å være tilstrekkelig. Dette betyr at data fra NOAA oppfyller kravene til romlig dataoppløsning for de feltstørrelser som er mest aktuelle for norske forhold. Operativ snøkartlegging i mindre felter, hvor LANDSAT eller SPOT må brukes, er foreløpig lite aktuell pga. begrensninger i leveringsfrekvens og leveringstid. Oppløsningen i data fra METEOSAT gjør disse lite egnet for snøkartlegging i den målestokken som er aktuell i Norge.

**Sensoregenskapene** er viktige ved vurdering av hvilke klassifiseringsmetoder som skal brukes. Generelt vil en sensor som dekker synlig eller nær-infrarød del av spekteret være av interesse fordi dette gir klare signaturer for snødekket mark. Problemets er at disse kan være vanskelige å skille fra visse skytyper. Det er derfor hensiktsmessig i tillegg å bruke en sensor i den infrarøde delen av spekteret hvor det er større forskjeller i signatur mellom snø og skyer. Alle aktuelle satellitter oppfyller dette kravet.

**Prisene** for bilder fra de ulike satellittene varierer adskillig. I tillegg kan en oppleve tildels store variasjoner over tid for ett og samme produkt avhengig av de aktuelle leverandørenes prispolitikk. Det er imidlertid klart at NOAA-bilder vil være vesentlig rimeligere enn bilder fra både LANDSAT og SPOT.

## DATAPROSESSERING

Utarbeidelse av et operativt opplegg for bruk av satellittdata for snøkartlegging forutsetter rutiner med følgende funksjoner:

- Geometrisk korrigering av rådata fra satellitten
- Klassifisering av snøegenskaper (algoritmer)
- Resultatpresentasjon (evt. datareduksjon)

**Geometrisk korrigering** er nødvendig fordi det opprinnelige satellittbildet (rådataene) gir et forvrengt inntrykk av jordens overflate sammenlignet med f.eks. et kart. Dette skyldes

vesentlig jordens krumning som fører til fordreining av bildet ut mot kantene. Den enkleste måten å kvitte seg med denne typen forvrengninger er ved geometrisk grovkorrigering basert på satellittens baneparametre (polarstereografisk oppretting). Nøyaktigheten på en slik fremgangsmåte er imidlertid så pass lav at en kan risikere geografiske posisjoneringsfeil i bildene på inntil 10 km, dvs. 10 bilde-elementer (pixels) hos NOAA-satellitten. Dette skyldes unøyaktigheter i satellittens posisjonsangivelse og "fotograferingsvinkel".

For å oppnå bedre nøyaktighet i bildene i relasjon til en geografisk referanse, f.eks. et kart, må derfor bildene geometrisk presisjonskorrigeres. Dette gjøres ofte ved at en rekke lett identifiserbare landformer avmerkes både i satellitbildet og på den aktuelle kartreferansen. Utfra disse referansepunktene settes opp en modell som beskriver bildeforvrengningen. Denne modellen kan deretter brukes til å rette opp hele bildet. Nøyaktigheten ved en slik fremgangsmåte ligger gjerne rundt ca. 1 km, dvs. en pixel. Slike korrigeringer utføres ofte manuelt, men det finnes automatiske metoder som kan benyttes.

**Snøklassifiseringen** bør i utgangspunktet ta hensyn til alle faktorer som påvirker den målte albedo for en snøoverflate; snødekkets "modningsgrad", solens høyde over horisonten, terrengets helning og fotograferingsvinkel. Den enkleste måten å foreta klassifisering av snødekningsgrad i satellittbilder er å definere noen kontrollpunkter, f. eks. én for fullstendig snødekket bakke og én for helt snøfri bakke. Mellom disse to ytterlighetene, kan en da lineærinterpolere for å estimere snødekningsgraden kun basert på rådata for hver enkelt pixel.

En noe mer avansert fremgangsmåte er på forhånd å definere hvilke målte albedoverdier som tilsvarer ulike snødekningsgrader. Slik bestemmelse må først og fremst ta hensyn til snødekkets modningsgrad og solhøyden. Bestemmelse av kalibreringskonstanter for den aktuelle sensor og atmosfærekorrekSJoner vil da også være nødvendig. I en videreutvikling av denne fremgangsmåten kan en også inkludere hensyn til terrengets helning ved bruk av en høydedatabase.

Et spesielt problem i klassifiseringsarbeidet er sammenblandning av snødekkede og overskyede områder. En bør derfor prøve å avmaske alle overskyede områder før selve snøklassifiseringen tar til.

**Resultatpresentasjonen** består vanligvis i at det vises fargerike kart over snødekkets utbredning. Slike presentasjoner kan gjøres for større regioner, som hele Sør-Norge, eller for avgrensede nedslagsfelter på noen få hundre km<sup>2</sup>. Ved bruk av presisjonskorrigerede bilder vil det også være mulig å beregne total snødekningsgrad og evt. lage en snøfordelings-statistikk for et nedbørfelt og for ulike høydesoner innen et nedbørfelt. Slike verdier vil kunne brukes direkte ved oppdatering av snørutinen i HBV-modellen.

## STATUS I NORGE

Tilnærmet operativ snøkartlegging med satellitt utføres siden 1989 i Norge av Statkraft i samarbeid med Norsk Regnesentral, NR (Holbæk-Hansen, 1989). Formålet er sikrere tilsigsprognoser og derved effektivere kraftproduksjon. Data som brukes er NOAA/AVHRR kanal 2 (nær-infrarødt). Billedbehandlingssystemet som brukes ved NR var tidligere GOP-302 (nå erstattet med egenutviklet programvare). NVE har i 1990 innledd et samarbeid med Statkraft og NR for bruk av metoden ved flomvarsling.

Utfra oversiktsbilder (quick-looks) fra Tromsø Satellittstasjon (TSS) foretas en vurdering av skyforholdene og bestilles evt. bildeutsnitt med 512x512 pixels for videre prosessering. Bildene overføres fra TSS til NR over Datapak. Ved NR foretas deretter en geometrisk presisjonskorrigering av bildet basert på manuell identifisering av 20-30 kontrollpunkter.

Områder som representerer fullstendig snødekke resp. barmark velges manuelt i samarbeid med Statkraft og tilsvarende pixelverdier bestemmes. Det brukes utelukkende rådata uten noen form for konvertering til albedooverdier eller andre korrekSJoner. Ved bruk av lineær interpolasjon mellom de to bestemte ytterverdiene beregnes snødekningsgraden i prosent (intervallbredde på 20%) for hver enkelt pixel på bildet. I tillegg foretas en særskilt klassifisering av vanndekkede områder. Resultatene presenteres både som oversikter for hele Sør-Norge og for predefinerte reguleringsområder, for hvilke det også beregnes midlere snødekningsgrad.

**Fordeler** med dette opplegget er:

- Nøyaktig geometrisk presisjonskorrigering
- Detaljert klassifisering som beskriver variasjoner i snødekningsgraden fra pixel til pixel

**Ulemper** med opplegget er:

- Manglende identifisering/avmasking av skydekkede områder
- Manglende albedo-korreksjoner basert på terrengets helning
- Stort tidsforbruk pga. flere manuelle ledd i analysen
- Liten eller ingen bruk av teoretiske kunnskaper om albedovariasjoner pga. snødekkets modningsgrad, solvinkel etc.
- Metoden kan ikke brukes uten kjente referanseområder

I tillegg til utviklingsarbeidet ved Statkraft og Norsk Regnesentral arbeides det også med metodestudier på snøsiden ved Norsk Hydroteknisk Laboratorium, NHL, (Faanes, 1991) og med meteorologiske applikasjoner ved DNMI (Sunde & Haga, 1991).

## STATUS I SVERIGE

Sveriges Meteorologiska og Hydrologiska Institut (SMHI) har videreutviklet et system for snøkartlegging ved satellitt (Brandt & Moberg, 1990) basert på et avansert opplegg for skyklassifisering, også utviklet ved SMHI (Karlsson & Liljas, 1990). Data som brukes er

NOAA/AVHRR kanal 1-5 (synlig - termisk infrarødt). Billedbehandlingssystemet som brukes ved SMHI er PROSAT på TERAGON 4000.

SMHI leser selv ned NOAA-data etter eget ønske. Utfra overflyvingsdata velges på forhånd ut de bilder som vil gi dekning av ønskede geografiske områder. All videre prosesering fra rådata til sluttprodukt skjer deretter helt automatisk. Geometrisk korrigering av rådata utføres f.eks. kun på grunnlag av baneparametre.

Klassifiseringen utføres etter retningslinjer basert på en analyse av "historiske data" delt inn etter 4 årstider og 12 solhøydeklasser (intervallbredde ca. 5°). Alle rådata er konvertert til albedo- og temperaturverdier. I dette materialet er tilsammen 23 land- og skytyper klassifisert utfra ulike kanaler og kombinasjoner av kanaler (tilsammen 7 forklaringsvariable). Forklарingsvariable som benyttes er kanal 1, kanal 1-2, kanal 3-4, kanal 4, kanal 5-4, "texture" for kanal 4 (5x5 pixeler) og middel av "texture" for kanal 4 (11x11 pixels). Det klassifiseres bare bilder der satellithøyden over det aktuelle området er  $> 45^\circ$  og solhøyden er  $> 30^\circ$ . I klassifiseringen skiller kun mellom snødekket mark, snøfri mark og "vinter-skog" (representerer delvis snødekket mark).

Noen resultater av spesiell interesse er:

- Kanal 3 - kanal 4 egner seg godt for diskriminering mellom skyer og andre flater.
- Kanal 1 - kanal 2 egner seg for diskriminering mellom vann og snøfrie flater.
- Snødekkede flater har som regel høye verdier i kanal 1 og lave verdier i kanal 3.

Fordeler med dette opplegget er:

- Lite tidsforbruk pga. fullstendig automatisering
- Avansert identifisering/avmasking av skydekkede områder
- Metoden kan brukes uten kjente referanserområder

Ulemper med opplegget er:

- Unøyaktig geometrisk grovkorrigering
- Manglende differensiering ved beskrivelse av variasjoner i snødekninggraden (enten 0% eller 100%)
- Manglende albedo-korreksjoner basert på terrengets helning

## STATUS I DANMARK

I Danmark er det utviklet en metode for snøkartlegging med satellitt ved Geografisk Sentralinstitut, Københavns Universitet, for bruk bl.a. på Grønland (Søgaard & Thomsen, 1988). Data som brukes er NOAA/AVHRR kanal 1 (og evt. 4). Billedbehandlings-systemet som brukes er egenutviklet og kalles CHIPS. Dette er et PC-basert opplegg som kun krever investering i et grafikk-kort og en høyoppløselig skjerm i tillegg til en PC. Selve programvaren kan fås "gratis". I en ny versjon av CHIPS vil det bl.a. være mulig å foreta geometrisk presisjonskorrigering av bildene helt automatisk.

Prinsippet som brukes ligner sterkt på det norske. Forskjellen er at istedenfor å bruke rådata direkte benyttes beregnede og korrigerte albedooverdier. Ved å anvende teoretiske albedooverdier for snø og barmark trenger en da ikke å bruke kjente referanseområder for kalibrering. Metoden tar hensyn til solvinkel og kan også foreta korrigeringer for terrengets helning.

Beregningene utføres i tre trinn:

$$1) \text{Ukorrigert albedo, } A = C_1 * \text{kanall(rådata)} / \sin(h) + C_2$$

$C_1$  og  $C_2$  er kalibreringskonstanter og  $h$  er solhøyden i grader

$$2) \text{Korrigert albedo, } A_c = 0.2 * A + 0.8 * A * \sin(h) / \cos(v)$$

$v$  er vinkel mellom solstråling og normal til bakkeplanet (i skråninger)

$$3) \text{Snødekningsgrad, } S_{ne} = (A_c - A_b) / (A_s - A_b)$$

$A_s$  er albedo for fullstendig snødekke og  $A_b$  er albedo for barmark

Verdier for  $A_s$  er bestemt for ulike terrenghyper (lite, middels og meget kupert terreng) og for overflatetemperaturer  $< 0^\circ$  og  $= 0^\circ$ .

**Fordeler** med dette opplegget er:

- Nøyaktig geometrisk presisjonskorrigering
- Korrigering for varierende solvinkel
- Mulighet for albedo-korreksjoner basert på terrengets helning
- Detaljert klassifisering som beskriver variasjoner i snødekningsgraden fra pixel til pixel
- Lite tidsforbruk pga. automatisert geometrisk korrigering og "objektive" klassifiseringsalgoritmer
- Metoden kan brukes uten kjente referanserområder

**Ulempor** med opplegget er:

- Manglende identifisering/avmasking av skydekkede områder
- Ikke utprøvet i operativ drift

## STATUS I FINLAND

I Finland er det utviklet en metode for snøkartlegging med satellitt basert på NOAA/AVHRR kanal 1 (Kuittinen, 1989). Der foreligger planer på å bruke metoden i operativ drift.

Metoden beregner snøens vannekvivalent ved regresjonslikninger etablert mellom satellitdata og målte snømengder i tre ulike terrenghyper; granskog, furuskog og åpne

områder. Det foretas korrekjoner for varierende solvinkler. Metoden brukes sammen med tradisjonelle feltmålinger og gammamålinger for å gi verdier basert på et bredest mulig grunnlag.

**Fordeler** med dette opplegget er:

- Gir estimerater på vannekvivalent
- Korrigering for varierende solvinkel

**Ulemper** med opplegget er:

- Gir ikke snødekningsgrad
- Manglende identifisering/avmasking av skydekkede områder
- Ikke utprøvet i operativ drift

## BRUK AV MIKROBØLGESENSORER

Bruk av mikrobølggesensorer har to interessante aspekter i relasjon til snøkartlegging. De kan evt. brukes til å kartlegge kvalitative egenskaper ved snødekket (eks. vannekvivalenten) og de kan se gjennom skyer (aktive sensorer som SAR).

**Finland** har i lang tid arbeidet med utvikling og testing av mikrobølggesensorer for måling av snø- og isforhold. Mesteparten av disse aktivitetene foregår ved Tekniska Högskolan i Helsinki under ledelse av Martti Hallikainen. En har bl.a. utviklet en semi-empirisk modell for beregning av "brightness temperature" ved 37 GHz som beskriver effekten av vannekvivalent og kornstørrelse. Til dette formål ble benyttet data fra mastemonterte sensorer.

Andre prosjekter har omfattet vannekvivalentbestemmelser ved bruk av Nimbus-7 SMMR data (6.6, 10.7, 18.0, 21.0 og 37.0 GHz med horisontal og vertikal polarisasjon) som har pixelstørrelser varierende fra ca. 20x30 km<sup>2</sup> ved 37 GHz til 100x150 km<sup>2</sup> ved 6.6 GHz. Resultatene har vist at de beste resultatene oppnås ved bruk av 37 GHz eller differensen mellom 18 og 37 GHz.

**Østerrike** og **Sveits** har også arbeidet mye med bruk av mikrobølggesensorer for måling av snøforholdene i alpene. En omfattende oppsummering av dagens kunnskaps-status er gitt i en ESA-rapport fra Universitetet i Innsbruck, "Study on SAR land applications for snow and glacier monitoring" (Rott m.fl., 1988). Denne rapporten innholder bl.a. en rekke eksempler på bruk av Seasat SAR (bl.a. fra Island og Svalbard). Sammenligninger med data fra Landsat TM er også beskrevet. For kartlegging av ulike typer snødekke (tørrsnø-våtsnø-skare) anbefales kombinert bruk av radiometer, radar og scatterometer med frekvenser varierende mellom 5 og 40 GHz.

Det er også utført en god del interessant arbeid vedr. geometrisk presisjonskorrigering av høyoppløselige satellittbilder (bl.a. SPOT og LANDSAT) ved Institute for Image Processing and Computer Graphics i Graz, Østerrike.

## AVSLUTTENDE BEMERKNINGER

Denne rapporten er utarbeidet som en forstudie til et utviklingsprosjekt ved NVE, Hydrologisk avdeling, med formål å etablere en operativ snøkartleggingstjeneste basert på fjernanalyse. Dette prosjektet er delfinansiert av Vassdragsregulantenes forening. Grunnlaget for rapporten er litteraturstudier og korte studiebesøk ved fjernanalysemiljøer i Norge, Sverige, Danmark, Finland og Østerrike i perioden 1990-91.

I tillegg til de litteraturhenvisningene som er gitt i teksten er det samlet en rekke andre fagartikler og -rapportet om fjernanalyse og snøkartlegging (Vedlegg 1) og diverse annet materiale om fjernanalyse (Vedlegg 2).

## LITTERATUROVERSIKT

Vedlegg 1

### FAGARTIKLER/RAPPORTER OM FJERNANALYSE OG SNØKARTLEGGING

#### Norge

Østrem, G. (1974):

The use of ERTS data to monitor glacier behaviour and snow cover - Practical implications for water power production.

NVE, Hydrologisk avdeling, Meddelelse nr. 24, 1974.

Paper W-19 presented at the Third ERTS symposium, Washington D.C., 10-14 December, 1973.

Andersen, T. & Ødegaard, H. (1980):

Application of satellite data for snow mapping.

Norwegian National Committee for Hydrology, Report No. 3, Oslo 1980.

Andersen, T., Haakensen, N. & Johnsrud, M. (1984):

Snøkartlegging med satellitt.

NVE, Hydrologisk avdeling, Oppdragsrapport 7-84.

Andersen, T. & Haakensen, N. (1985):

Remote sensing of snow in high mountain basins in Norway.

NVE, Hydrologisk avdeling, Meddelelse nr. 51, 1985.

Reprint from Annals of Glaciology, Vol. 6, 1985, p. 250-251.

Østrem, G. (1985):

Snow and ice - Remote sensing applications in civil engineering.

NVE, Hydrologisk avdeling, Meddelelse nr. 49, 1985.

Reprint from Proc. Univ. Dundee Summer School 'Remote Sensing Applications in Civil Engineering' Dundee 19 Aug-8 Sept. 1984, ESA SP-216, March 1985, p. 151-163.

Faanes, T. (1988):

Fjernmålingsdata brukt i hydrologisk modell.

NHL, Rapport nr. STF60 A88118.

Winther, J.-G. (1989):

Albedoavariasjoner i snøsmeltesesongen.

NHL, Rapport nr. STF60 A89079.

Winther, J.-G. (1989):

Snømålinger og instrumentering i felt. Hjelpebidrager ved tolkning av digitale satellittbilder.

NHL, Rapport nr. STF60 A89114.

Hamnes, H., Solbakk, S.A., Bjørnå, K., Flesche, H., Kloster, K.. Bern, T.I. & Enoksen, R.T. (1989):

Near real time delivery of satellite data - a pilot experiment.

Tromsø Earth Observation Centre, TEOC Report no. 6, FORUT 1989.

Holbæk-Hansen, E. (1989):

Snødekning på Hardangervidda - sett fra verdensrommet.

Norsk Regnesentral, Notat BILD/01/89, September 1989.

Faanes, T. & Winther, J.-G. (1990):

Albedomålinger av snø i smeltesesongen. Bildebehandling av data fra Landsat-5 TM (Thematic Mapper).

NHL, Rapport nr. STF60 A90064.

Kloster, K., Karpuz, R. & Pettersson, L.H. (1990):

Mikrobølgefjernmåling av snø. Analyse av SAR data fra Sør-Trøndelag i mars 1988.

(Prosjektrapport for Statkraft. First Draft.)

The Nansen Remote Sensing Center, Technical Report no. 27.

Lindell, T. & Sørensen, K. (1990):

Erfaringer med bruk av satellittfjernmåling.

Limnos 2/90, p. 11-21.

Faanes, T. (1991):

Multispektral algoritme for kartlegging av snø med NOAA AVHRR-data.

NHL, Rapport nr. STF60 A91041.

Sunde, J. & Haga, S. (1991):

Present processing of AVHRR data in the MISAT system and combinations with numerical model output.

Contribution to The Fifth AVHRR Data Users Meeting, Tromsø 1991.

Faanes, T. (1991):

Reiserapport fra IAHS workshop HW7 16 august 1991 holdt i tilknytning til IUGG møte i Wien 11-24 august 1991.

NHL, Notat 1991-08-27 (Avd. 6003).

## Sverige

Moberg, M. & Brandt, M. (1988):

Snökartläggning med satellitdata i Kultränsjöns avrinningsområde.

SMHI, HYDROLOGI, Nr. 22, 1988.

Brandt, M. & Moberg, M. (1990):

Snökartering med NOAA-satelliter i Suorvas tilrinningsområde, Sverige.

Nordisk Hydrologisk Konferens 1990, NHP-rapport nr. 26, p. 431-440.

Karlsson, K.-G. & Liljas, E. (1990):  
 The SMHI model for cloud and precipitation analysis from multispectral AVHRR data.  
 SMHI, PROMIS-rapporter, Nr. 10, August 1990.

### Danmark

Søgaard, H. & Thomsen, T. (1988):  
 Application of satellite data to monitoring snow cover and runoff in Greenland.  
 Nordic Hydrology, 19, 1988, p. 225-236.

Søgaard, H., Harding, R. & Rott, H. (1990):  
 The joint Greenland experiment.  
 Final EEC report under EEC contract EV4C - 0013 DK, Copenhagen, October 1990.

Broge, N., Jørgensen, P.V. & Scharling, O.M. (1990):  
 Snekarting i Norge ved hjælp af NOAA-satellit data.  
 Studentarbeid ved Geografisk Sentralinstitut, Københavns Universitet, December 1990.

### Finland

Kuittinen, R. & Sucksdorff, Y. (1987):  
 Inventory of river basin characteristics in finnish conditions using satellite imagery.  
 Aqua Fennica 17,2, 1987, p. 97-114.

Sucksdorff, Y., Lemmelä, R. & Keisteri, T. (1989):  
 The environmental geographic information system in Finland.  
 New Directions for Surface Water Modelling (Proceedings of the Baltimore Symposium, May 1989). IAHS Publ. No, 181, 1989, p. 427-434.

Kuittinen, R. (1989):  
 Determination of snow water equivalents by using NOAA-satellite images, gamma ray spectrometry and field measurements.  
 Remote Sensing and Large-Scale Global Processes (proceedings of the IAHS Third Int. Assembly, Baltimore, MD, May 1989). IAHS Publ. no. 186, 1989, p. 151-159.

### Finland, mikrobølggesensorer

Hallikainen, M.T. (1983):  
 A new low-salinity sea-ice model for UHF radiometry.  
 Int. J. Remote Sensing, 1983, Vol. 4, No. 3, p. 655-681.

Hallikainen, M.T. (1984):

Retrieval of snow water equivalent from Nimbus-7 SMMR data: Effect of land-cover categories and weather conditions.

IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. OE-9, No. 5, December 1984, p. 372-376.

Hallikainen, M., Jolma, P., Tiuri, M. & Kuitinen, R. (1986):

Monitoring of snow cover from satellite.

ESA/EARSeL Symposium on Europe from Space, Lyngby, Denmark, 25-28 June 1986.

ESA SP-258, p. 49-52.

Hallikainen, M.T. (1986):

Retrieval of water equivalent of snow cover in Finland by satellite microwave radiometry.

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-24, No. 6, Nov. 1986, p. 855-862.

Hallikainen, M. & Jolma, P. (1986):

Development of algorithms to retrieve the water equivalent of snow cover from satellite microwave radiometer data.

Proceedings of IGARSS' 86 Symposium, Zurich, 8-11 Sept. 1986. ESA SP-254, p. 611-616.

Hallikainen, M.T. (1988):

Microwave radiometry of snow.

XXVII COSPAR Meeting, Espoo, Finland, 18-29 July 1988, Paper I.1.4.

Hallikainen, M.T., Jolma, P.A. & Hyppä, J.M. (1988):

Satellite microwave radiometry of forest and surface types in Finland.

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 26, No. 5, Sept. 1988, p. 622-628.

Hallikainen, M.T., Hyppä, J., Toikka, M., Tares, T., Haapanen, J., Ahola, P.,

Pulliainen, J. & Leppänen, K. (1988):

Development of airborne dual-frequency scatterometer.

Proceedings of IGARSS '88 Symposium, Edinburgh, Scotland, 13-16 Sept. 1988. ESA SP-284, p. 573.

Hallikainen, M.T., Toikka, M.V.O. & Hyppä, J.M. (1988):

Microwave dielectric properties of low-salinity sea ice.

Proceedings of IGARSS '88 Symposium, Edinburgh, Scotland, 13-16 Sept. 1988. ESA SP-284, p. 419-420.

Hallikainen, M.T., Tares, T., Hyppä, J., Somersalo, E., Ahola, P., Toikka, M. &

Pulliainen, J. (1990):

Helicopter-borne measurements of radar backscatter from forests.

Int. J. Remote Sensing, 1990, Vol. 11, No. 7, p. 1179-1191.

Hallikainen, M.T., Hyppä, J., Ahola, P., Tares, T., Toikka, M. & Panula-Ontto, E. (1990):  
 Evaluation of a helicopter-borne 8-channel ranging scatterometer.  
 1990 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Maryland, USA, 20-24 May 1990, p. 809-812.

Hallikainen, M.T., Hyppä, J., Toikka, M.V.O., Haapanen, J.A.E., Tares, T.I. & Ahola, P.J. (?):  
 Backscattering behaviour of low-salinity sea ice at C- and X-band.  
 Helsinki University of Technology, E.E. Department, Space Technology. (udatert, 1988 eller senere)

### Østerrike

Rott, H., Mätzler, C., Strobl, D., Bruzzi, S. & Lenhart, K.G. (1988):  
 Study on SAR land applications for snow and glacier monitoring.  
 Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck, Final Report under ESA Contract No. 6618/85/F/FL(FC), April 1988.

Almer, A., Raggam, J. & Strobl, D. (1990):  
 High-precision geocoding of remote sensing data of high-relief terrain.  
 Symposium on "High-Mountain Remote Sensing Cartography", Schladming, Austria, 26-28 Sept. 1990, 10 pages.

Raggam, J. (?):  
 Interpolative map-to-image coordinate transformation for spaceborne imagery.  
 Institute for Image Processing and Computer Graphics, Graz, Austria, 4 pages. (not dated)

Strobl, D., Raggam, J. & Buchroithmer, M.F. (?):  
 Terrain correction geocoding of a multi-sensor image data set.  
 Institute for Image Processing and Computer Graphics, Graz, Austria, 10 pages. (not dated)

### Andre land

Molloy, M.W. & Salomonson, V.V. (1972):  
 Remote sensing and water resources U.S. space program.  
 Remote Sensing and Water Resources Management, Proc. No. 17, American Water Resources Association, June 1973, p. 6 and 22-26.

Rango, A. (1980):  
 Remote sensing of snow covered area for runoff modelling.  
 Hydrological forecasting (Proceedings of the Oxford Symposium, April 1980). IAHS Publ. no. 129, p. 291-297.

Dey, B., Joswami, D.C. & Rango, A. (1983):  
 Utilization of satellite snow-cover observations for seasonal streamflow estimates in the western Himalayas.  
*Nordic Hydrology*, 1983, p. 257-266.

Rango, A., Martinec, J., Foster, J. & Marks, D. (1983):  
 Resolution in operational remote sensing of snow cover.  
*Hydrological Applications of Remote Sensing and Remote Data Transmission* (Proc. of the Hamburg Symposium, August 1983). IAHS Publ. no. 145, p. 371-382.

Rango, A. (1983):  
 A survey of progress in remote sensing of snow and ice.  
*Hydrological Applications of Remote Sensing and Remote Data Transmission* (Proceedings of the Hamburg Symposium, August 1983). IAHS Publ. no. 145, p. 347-359.

Rango, A. (1985):  
 An international perspective on large-scale snow studies.  
*Hydrological Sciences Journal*, 30, 2, 6/1985, p. 225-238.

Rango, A. (1986):  
 Progress in snow hydrology remote-sensing research.  
*IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE-24 No. 1, January 1986, p. 47-53.

Bernier, P.Y. (1987):  
 Microwave remote sensing of snowpack properties: Potentials and limitations.  
*Nordic Hydrology*, 18, 1987, p. 1-20.

Schultz, G.A. (1988):  
 Remote sensing in hydrology.  
*Journal of Hydrology*, 100 (1986), p. 239-265.

Lucas, R.M., Harrison, A.R. & Barret, E.C. (1989):  
 A multispectral snow area algorithm for operational 7-day snow cover monitoring.  
*Remote Sensing and Large-Scale Processes* (Proceedings of the IAHS Third Int. Assembly, Baltimore, MD, May 1989). Iahs Publ. no. 186, 1989, p. 161-166.

Gesell, G (1989):  
 An algorithm for snow and ice detection using AVHRR data. An extension to the APOLLO software package.  
*Int. J. Remote Sensing*, 1989, Vol. 10, Nos. 4 and 5, p. 897-905.

Harrison, A.R. & Lucas, R.M. (1989):  
 Multispectral classification of snow using NOAA AVHRR imagery.  
*Int. J. Remote Sensing*, 1989, Vol. 10, Nos. 4 and 5, p. 907-916.

Sherman, J.W. (1991):

The near-term ensemble of satellite remote sensors for earth sensors for earth system monitoring.

Preprint for 5th AVHRR Data User Meeting, Tromsø 1991.

Melloh, R.M., Eppler, D.T., Farmer, L.D., Gatto, L.W. & Chacho, E.F. (1991):

Interpretation of passive microwave imagery of surface snow and ice.

US Army Corps of Engineers, CRREL Report 91-11.

# LITTERATUROVERSIKT

Vedlegg 2

## DIVERSE MATERIALE OM FJERNANALYSE

### Norge

#### Materiale fra Norsk Romsenter:

- The Norwegian ERS-1 Demonstration Project. The application Part. NSC-Report(89)9.
- Bruk av landbaserte og kystnære satellittdata. En markedsverdring.  
Norsk Romsenter/NTNF/Nordic Consulting Group, Dec. 1989.
- Norway in Space. A short presentations on the Norwegian Space Centre and space related industry. NSC-Report(89)8.
- From Earth to Space and back. Selected papers on norwegian space activities.  
NSC-Report(90)2.
- Space Research in Norway 1989. NSC-Report(90)3.
- The Norwegian coordinated Programme for ERS-1 Preparations. NSC-Report(91)6.
- Space Technology and Industries in Norway 1991. NSC-Report(91)8.
- Bruk av satellittdata. Presentasjon av NTNF's SATOBS- og SATKART-program.  
Norsk Romsenter/NTNF/SATOBS/SATKART/Miljøverndepartementet.

#### Materiale fra Forskningsstiftelsen ved Universitetet i Tromsø, FORUT:

- Årsmelding 1990.
- Informasjonsark, FORUT Viten (2 A4-sider hver):
  - Satellittbilder i løpet av minutter (30.11.89)
  - Striden ligger bak oss (17.1.91)
  - Damage to vegetation surveilled by satellite (5.5.91)
  - Remote sensing of oceans from radar satellites (29.5.91)

#### Materiale fra Spacetec i Tromsø:

- MISAT a powerful system for operational weather monitoring and forecasting.  
(6 sider)
- Earth Observation Applications. (2 sider)
- Down to Earth Technology.

### Sverige

#### Materiale fra Swedish Space Corporation:

- Remote sensing. Nr. 20 December 1990.
- Remote Sensing and Geographical Information Systems.

#### Materiale fra Satimage, Kiruna:

- SPOT. Brosjyre. (6 sider)

## Danmark

### **Materiale fra Geografisk Centralinstitutt, Universitetet i København:**

- CHIPS - Users Guide - Version WRK 2.0. December 1988.
- CHIPS - newsletter no. 2. June 1989.

## Finland

### **Materiale fra Vatten- och miljöstyrelsen:**

- Environment data system of Finland. Helsinki 1990. (16 sider)
- Environment data centre. Helsinki 1990. (4 sider)
- DISIMP, Device-Independant Software for Image Processing. January 1989. (4 sider)
- Land use and forest interpretation for Finland from Landsat TM images, status and the interpreted classes. April 1990. (1 side)

### **Materiale fra Tekniska Högskolan, Helsinki:**

- Annual report 1989, Helsinki University of Technology, Laboratory of Space Technology, Report 2, January 1990.

## Østerrike

### **Materiale fra Institute for Image Processing and Computer Graphics, Graz, Austria:**

- INFO. Kortfattet presentasjon av instituttet. (5 sider)
- INFO - Remote Sensing Software Package Graz. Kortfattet beskrivelse. (5 sider)
- Technical Reports. Oversikt over publiserte rapporter. (15 sider)
- Institutional Profile, Aug. 1990. (7 sider)
- Diverse brosjyrer (2 A4-sider hver):
  - Remote sensing with radar.
  - Remote sensing for regional planning.
  - Applications of a digital terrain model in hydrogeology.
  - Remote sensing with HCMM thermal data.
  - Remote sensing for geological and geophysical applications.
  - GTM, Graz Terrain Model.
  - DESIRÉE, Digital Evaluation System for Imaging Radar and Elevation Effects.
  - DIBAG, digital image processing software system. (I tillegg en sammenbrettet folder om DIBAG).
  - SMART, program for radar stereo mapping on the KERN DSR-1.
  - CRISP, Close Range Image Set-up Program.

## Andre land

### Materiale fra EUMETSAT:

- Diverse informasjonsark (2 A4-sider hver):
  - EUMETSAT: The European organisation for meteorological satellites.
  - Global meteorological satellite systems.
  - The operational METEOSAT satellites: 4,5,6.
  - The METEOSAT system.
  - The METEOSAT imaging system.
  - The METEOSAT digital image dissemination.
  - DCS: METEOSAT's data collection service.
  - DCPRS: The METEOSAT DCP re-transmission system.
  - MOSAIC: Combined use of standard EUMETSAT facilities.
  - Centrally produced METEOSAT meteorological products.
  - EUMETSAT publications.
  - EUMETSAT looks to the future on its 5th anniversary.
- 5th AVHRR data users' meeting. Tromsø, Norway, 25th-28th June 1991. Abstract Brochure.

### Materiale fra European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL):

- Activities of EARSeL. Taking the Long View.
- EARSeL, Newsletter December 1990 No. 4.
- EARSeL, Newsletter June 1991 no. 6.
- EARSeL, Advances in Remote Sensing, Vol.1, No.1, February 1991.
- EARSeL, Workshop and Symposium. Graz, Austria, 2-5 July 1991. Abstract Book.

### Materiale fra International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC):

- General Information. Beskrivelse av instituttet.
- Earth Resources Surveys, Programme of Courses.

### Materiale fra European Space Agency (ESA):

- ESA Bulletin no. 65 February 1991 (ERS-1 Special Issue).
- ESA PID - The ESA On-line Directory of Space and Earth Science Data. (8 sider)
- Prototype International Directory: ESA Node User's Guide, December 1990. (4 sider)
- Earth Observation Quarterly. No. 32, December 1990. (4 sider)

### Materiale fra EOSAT:

- Landsat Application Notes, Vol. 2, No. 2, March 1987, Wetland Conservation.  
(4 sider)
- Fast Format Document for TM Digital Products, March 1990. (4 sider)
- Landsat Data Users Notes, Vol. 5, No. 4, December 1990. (8 sider)

**Materiale fra Spot Image:**

- Spot products and mineral exploration. (2 sider)
- Analysis of irrigation. (2 sider)
- Drilling of deep groundwater boreholes. (2 sider)

**Diverse materiale:**

- EOS(the Earth Observing System) - A mission to planet earth. NASA.
- The Remote Sensing Society. (8 sider)
- NRSC Products Catalogue. UK National Remote Sensing Centre.
- Institute for Remote Sensing Applications, Annual Report 89.  
Joint Research Centre, Commission of the European Communities.
- GEOSPACE, 2 brosjyrer. (6 sider hver)
- RADARSAT International, brosjyre. (8 sider)