

**SENGLASIALE PALEOGEOGRAFISKE
REKONSTRUKSJONSMODELLER
TESTET PÅ UTVALGTE
OMRÅDER I NORGE**

AV

KJELL KJENSTAD

**MEDDELELSER FRA
GEOGRAFISK INSTITUTT
UNIVERSITETET I OSLO**

NATURGEOGRAFISK SERIE NR.1

OSLO 1984

SENGLASIALE PALEOGEOGRAFISKE REKONSTRUKSJONSMODELLER

TESTET PÅ UTVALGTE OMRÅDER I NORGE

AV

KJELL KJENSTAD

Dr. scient. avhandling
i naturgeografi

Geografisk institutt
Universitetet i Oslo
1984

Denne avhandlingen forsvares offentlig for dr. scient. graden ved Det matematisk-naturvitenskaplige fakultet, Universitetet i Oslo, den 6. desember 1984.

Bedømmelseskomiteen består av følgende medlemmer:

Forsker Olav Liestøl, Norsk Polarinstitutt, Oslo

Docent Nils-Axel Morner, Stockholms Universitetet

Professor Johan Ludvig Sollid, Universitetet i Oslo



Kommer ikke Oleo Tryggvason? sparte Gråhullgubben. Nei, hvor bliver Nidarneset? Det kunne han sikkert spørre om, for syv tusen år siden lå Nidarneset dypt i fjord, og hadde Nidarøsdammen stått på sin plass, ville bare den øvre del av spiret ha synt seg over sønnet.

Fra boken "Vandringer i det Trondhjem som svant" av Asbjørn Lund

FORORD

Arbeidet som her presenteres for dr. scient.-graden er knyttet til et NAVF-prosjekt ledet av professor J. L. Sollid under IGCP-prosjekt nr. 24 ("Quarternary Glaciations in the Northern Hemisphere"). Sollid har vært min veileder og har vist stor interesse for arbeidet. Likeledes har kolleger og studenter som arbeider i Geografisk institutts laboratorium for fjernanalyse og temakartografi vært til inspirasjon og hjelp under arbeidets gang.

En del av grunnlagsdataene som er benyttet til kalibrering av modellene i avhandlingen stammer fra flere NAVF-prosjekt under IGCP-prosjekt nr. 61 ("Sea-level Movements during the last Deglacial Hemicycle"). Forfatterne av disse arbeidene har velvillig stilt data til disposisjon, og gitt gode råd i bruken av dem.

Arbeid med datamaskiner utgjør en vesentlig del av denne avhandlingen. NAVF har finansiert en spesialtilpasset mikro-datamaskin til beregning og presentasjon av modellenes resultater. Ansatte på EDB-senteret og på Institutt for informatikk ved Universitetet i Oslo har bidratt med hjelp til løsning av praktiske problemer under arbeidets gang.

Deler av avhandlingen har ved flere anledninger vært presentert på fagsymposier, bl. a. på nordisk geologisk vintermøte i Bergen i 1980, på INQUA-symposium i Glasgow samme år, på norsk geologisk vintermøte i Oslo i 1983, på IGS-symposium i Evanston, Illinois, USA samme år, og på nordisk geologisk vintermøte i Stockholm i 1984. Et innsendt foredrag ble antatt på Den internasjonale geologikongressen i Moskva i 1984. Reisebidrag har vært gitt av Universitetet i Oslo og NAVF.

Overnevnte personer og institusjoner takkes med dette for all den velvilje og hjelp jeg har fått under arbeidet med avhandlingen.

Blindern 10. november 1984

Kjell Kjenstad

INNHOOLD

AVHANDLING

Kjenstad, K. 1984: Senglasiale paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller testet på utvalgte områder i Norge.

ARTIKLER

- I Sollid, J. L. & Kjenstad, K. 1980: Hovedflaten (Yngre Dryas' havnivå) som basis for kvartær kronologi i Midt-Norge. Et metodeforsøk. Norsk geogr. tidsskr. 34, 93-96.
- II Kjenstad, K. & Sollid, J. L. 1982: Isavsmeltings-kronologi i Trondheimsfjordområdet. Glasialdynamiske prinsipper. Norsk geogr. Tidsskr. 36, 153-162.
- III Kjenstad, K. 1984: Numeriske modeller for beskrivelse av havnivåendringer og isavsmelting testet på data fra Oslofjordområdet. *)
- IV Kjenstad, K. 1984: Isavsmeltings-kronologi i Trøndelagsområdet basert på havnivådaterte marine grenser. *)
- V Kjenstad, K. 1984: Beregning og presentasjon av paleogeografi. *)

APPENDIX

Kjenstad, K. 1984: Senglasiale paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller testet på utvalgte områder i Norge. Appendix: Utskrift av beregningsprogrammer for mikrodatamaskin.

*) Artikkelen blir i teksten referert med sitt artikkelnummer.

**SENGLASIALE PALEOGEOGRAFISKE REKONSTRUKSJONSMODELLER
TESTET PÅ UTVALGTE OMRÅDER I NORGE**

Kjell Kjenstad

ABSTRACT

Avhandlingen tar for seg prinsipper for rekonstruksjon av senglasiale paleogeografiske forhold med spesiell vekt på rekonstruksjon av havnivå og breoverflate. Disse elementene rekonstrueres ved hjelp av ulike matematiske modeller som kalibreres ved hjelp av tilgjengelig feltinformasjon. Slike modeller kan både benyttes til systematisering av felt informasjon i tid og rom, og til datering av isrecessjonen innenfor et område. Praktisk anvendelse av modellene skjer ved hjelp av datamaskiner, fortrinnsvis med grafisk periferiutstyr til å presentere resultatene på kartform. Det gis korte sammendrag av de enkeltartiklene som inngår i avhandlingen.

Kjell Kjenstad, Geografisk institutt, Universitetet i Oslo,
Postboks 1042, Blindern, 0316-Oslo 3.

INNHALDSFORTEGNELSE FOR AVHANDLINGEN

INNLEDNING.....	s. 3
PALEOGEOGRAFISKE REKONSTRUKSJONSMODELLER.....	s. 5
SAMMENDRAG AV ARTIKLER.....	s. 6
I Sollid, J. L. & Kjenstad, K. 1980: Hovedflaten (Yngre Dryas' havnivå) som basis for kvartær kronologi i Midt-Norge. Et metodeforsøk.....	s. 6
II Kjenstad, K. & Sollid, J. L. 1982: Isav- smeltingskronologi i Trondheimsfjordområdet. Glasialdynamiske prinsipper.....	s. 6
III Kjenstad, K. 1984: Numeriske modeller for be- skrivelse av havnivåendringer og isavsmelting testet på data fra Oslofjordområdet.....	s. 7
IV Kjenstad, K. 1984: Isavsmeltingskronologi i Trøndelagsområdet basert på havnivådaterte marine grenser.....	s. 8
V Kjenstad, K. 1984: Beregning og presentasjon av paleogeografi.....	s. 9
KONKLUSJONER.....	s. 10
REFERANSER.....	s. 12

INNLEDNING

Hovedoppgaven i kvartærgeologisk forskning er å rekonstruere kvartærtidens hendelser og naturforhold i tid og rom. Hovedhjelpemidlet har vært og vil fortsatt være innsamling av feltinformasjon til belysning av karakteristiske hendelser.

Feltinformasjonen kan grovt sett klassifiseres i to ulike typer; tidsinformasjon fra stratigrafiske analyser som kan benyttes til datering av hendelser, og rominformasjon fra areell kartlegging kan benyttes til stedfesting av hendelser.

Slik feltinformasjon vil nødvendigvis være sporadisk ettersom innsamlingen og analysene er arbeidskrevende. Dessuten er en stor del av den opprinnelige informasjonen gått tapt i tidens løp. Å sette sammen slike fragmenter av en tidligere virkelighet i en kontinuerlig beskrivelse er enkelt så lenge det opereres med få informasjoner. Hjelpemidlet kan i slike tilfeller være enkle 2-dimensjonale diagram og kart, og resultatet vil være tilsvarende unøyaktig. Med øket mengde grunnlagsinformasjon blir sammenstillingen vanskeliggjort av problemet med å visualisere 4 dimensjoner (rom og tid). Matematikken er et hjelpemiddel til å systematisere store mengder informasjoner slik at eventuelle trender og lovmessigheter i grunnlagsinformasjonen kommer klarere fram.

Den største fordelen med å benytte matematisk modeller er at de gir mulighet for å beregne statistiske usikkerhetsestimater for de verdier som beregnes. På den måten kan det angis kvalitetsmål på konklusjoner.

Innsamling av feltinformasjon og ulike former for vidreforedling av informasjonen ved hjelp av modeller er to viktige områder innenfor mange naturvitenskapelige fag. Det er ikke noe motsetningsforhold mellom disse to måter å arbeide på. Modellarbeid er helt avhengig av relevant feltinformasjon og framtidig innsamling og tolking av feltinformasjonen vil kunne effektiviseres ved å ta hensyn til resultater fra slike modeller.

Matematiske rekonstruksjonsmodeller kan være av to ulike typer. Den ene typen gjelder beskrivende trendmodeller som foretar en statistisk sett best mulig tilpasning av generelle trendfunksjoner til et sett av gitte fastpunkter. Til slike funksjoner er det ikke knyttet andre forutsetninger enn at de skal gi en plausibel beskrivelse av det forhold som rekonstrueres. Den andre typen rekonstruksjonsmodell er basert på fysiske lover for det mediet som behandles, og det forutsettes at den rekonstruksjon som foretas er konform med de fysiske lovene som gjelder for mediet. Denne typen modell har derfor i motsetning til den første innebygd en viss grad av forklaring på den prosessen som modellen beskriver. I begge

tilfellene foregår tilpasningen av modellen til informasjon fra et bestemt område ved estimering av modellenes parametre.

For hvert formål eksisterer det flere tilgjengelige modeller og ofte ligger forskjellen mellom dem i graden av matematisk kompleksitet. Vanligvis må kompleksiteten av den modellen som benyttes stå i forhold til antallet og kvaliteten på de informasjonene som benyttes i tilpasningen av modellen. Framgangsmåten vil derfor i mange tilfeller gå ut på å starte med de enkleste modellene og deretter øke kompleksiteten etterhvert som informasjonsmengden øker.

Dette arbeidet er et forsøk på å benytte slike modeller til rekonstruksjon av senglasiiale paleogeografiske forhold. Hensikten er ikke å presentere ferdig tilgjengelige modeller som kan kopieres og benyttes direkte på data fra andre områder. Hensikten er derimot å vise at slike modeller kan gi fornuftig resultat, og at den modellen som velges må tilpasses dataene fra det området det arbeides med og den målsettingen det arbeides ut fra. Dette medfører bl. a. at det for andre områder eventuelt må benyttes modeller som ikke er omtalt her. Det legges også vekt på å vise at bruk av slike modeller kan være et nyttig supplement til de mer tradisjonelle måtene å arbeide på.

Det legges stor vekt på å diskutere de muligheter som grafisk databehandling gir under arbeidet med modellene og presentasjon av resultater. For det første gir dette mulighet for å teste og justere modellene på en interaktiv arbeidsstasjon, og for det andre vil de ferdige kartene og diagrammene ha en såpass god og illustrativ utforming at de vil kunne ha pedagogisk nytte.

Avhandlingen består av delartikler. Artikkel nr. I og II gir en kort introduksjon i de temaer som behandles i avhandlingen. I artikkel nr. III presenteres en modell for havnivåbeskrivelse testet på data fra Oslofjordområdet. Det legges først og fremst vekt på kontrollen av modellresultatene mot uavhengige rekonstruksjoner i et område der havnivåendring-kronologien og isavsmeltingskronologien er godt kjent på forhånd. I denne artikkelen tas det derfor ikke sikte på å presentere ny informasjon fra området. I artikkel nr. IV behandles Trondheimsfjordområdet. I dette området er kontrollmulighetene mindre, slik at noen av resultatene kan betraktes som supplerer av tidligere kunnskap om områdets isavsmeltingskronologi. Artikkel nr. V omhandler den praktiske gjennomføringen av modellarbeidet.

PALEOGEOGRAFISKE REKONSTRUKSJONSMODELLER

Målet med paleogeografiske rekonstruksjoner er å kunne rekonstruere naturforholdene i et område på et bestemt valgt tidspunkt. Paleogeografi defineres i denne sammenhengen som topografi fra et gitt tidligere tidspunkt. For å rekonstruere paleogeografiske forhold innenfor et undersøkelsesområde på et bestemt tidspunkt må det derfor kunne lages et topografisk kart over området med tilstrekkelig grad av nøyaktighet. Den mest interessante perioden for slike rekonstruksjoner er den sennglasiale og den tidlig postglasiale perioden. Forandringene i landskapet var da særdeles store på grunn av ettervirkningene av den siste kvartære nedisingen. Både tilstedeværelsen av den tilbakesmeltende isbreen og raske endringer i havnivået hadde lokalt stor innvirkning på landskapets karakter. Rekonstruksjon av sennglasiale paleogeografiske forhold vil derfor gå ut på å sammenstille topografi, havnivå og isbre på et valgt tidspunkt.

I det følgende skisseres modeller for beskrivelse av havnivåendringer og isavsmelting, og modellene testes på ulike undersøkelsesområder. Deretter blir det presentert algoritmer for beregning av havnivåmodellens ulike parametre og anvendelser.

Det blir videre skissert modeller og framgangsmåter for rekonstruksjon av isbrens overflate uten å gå nærmere inn på testing av de ulike isbremodellenes egenskaper.

For til slutt å konstruere et paleogeografiske topografisk kart fra et bestemt tidspunkt må det for ethvert punkt på kartet, foruten angivelse av punktets høyde i forhold til datidens havnivå, kunne avgjøres om stedet lå under isbreen. Det presenteres algoritmer for framstilling av slike kart som paleogeografiske topografiske kart ved hjelp av datamaskiner med grafisk periferiutstyr. Datamaskinen, programmene og det grafiske periferiutstyret gjør at modellene kan testes og justeres interaktivt, og hele systemet fungerer derfor som en interaktiv arbeidsstasjon.

Programmene er implementert på to datamaskiner med svært ulik størrelse og med grafisk periferiutstyr av helt ulik oppbygning. Programsystemene på de to maskinene blir sammenlignet, og på grunnlag av konklusjonene diskuteres oppbygging og dimensjonering av en spesialtilpasset datamaskin og arbeidsstasjon for behandling og presentasjon av denne typen data.

SAMMENDRAG AV ARTIKLER

- I Sollid, J. L. & Kjenstad, K. 1980: Hovedflaten (Yngre Dryas' havnivå) som basis for kvartær kronologi i Midt-Norge. Et metodeforsøk.

Dette er et kort sammendrag av de deler av Kjenstad (1980) (hovedfagsoppgave i naturgeografi veiledet av J. L. Sollid) som omhandler datering av marine grenser ved hjelp av havnivåmodeller. Det er tatt utgangspunkt i en rekonstruksjon av Hovedflaten innenfor undersøkelsesområdet (kysten av Møre og Trøndelag). Til beskrivelse av havnivåets endring over tid benyttes den eneste strandforyskyvningskurven som da var tilgjengelig, nemlig kurven fra Frosta (Kjemperud 1981). Forløpet av denne kurven kan med stor grad av nøyaktighet tilnærmes en eksponentialfunksjon. Et slikt forløp kan under visse forutsetninger anskueliggjøres teoretisk ved å lage en enkel geofysisk modell for de prosesser som ligger bak strandforyskyvningen.

Sammenlignet med resultatene i artikkel nr. II må dateringsresultatene kunne sies å være brukbare for områder som ligger nært Frosta. For områder som ligger mer perifert i forhold til dette stedet er resultatene imidlertid mer usikre. Resultatene må derfor i større grad tilskrives tilfeldigheter enn modellens evne til å gjengi det virkelige strandforyskyvningsforløpet. Svakheten ligger først og fremst i tilnærmingen til eksponentialfunksjonen som for mange områder og tidsrom er urealistisk (jfr. kurvene som benyttes i artikkel nr. IV). Den modellen som presenteres må derfor ses på som et spesialtilfelle sammenlignet med de modeller som presenteres i artikkel nr. III og IV.

Innholdet i denne notisen gir en introduksjon til framgangsmåten ved datering av isrecessjon ved hjelp av havnivåmodeller. Som en kontrast til de mer realistiske modellene i senere artikler viser den dessuten utvikling i modellkompleksitet. Denne modellen kan i motsetning til de senere presenterte havnivåmodellene gis et geofysisk fundament og kan derfor i prinsippet sies å være forklarende. Dette viser at en slik framgangsmåte kan gjennomføres selv om denne modellen har vist seg å være for enkel.

- II Kjenstad, K. & Sollid, J. L. 1982: Isavsmeltingskronologi i Trondheimsfjordområdet. Glasialdynamiske prinsipper.

Artikkelen er en videreutvikling av resultater og ideer i de deler av Kjenstad (1980) som omhandler prinsipper for recessjonen av en fjordbre sett på bakgrunn av isbredynamikk. I et fjordlandskap har kalving spesielt stor betydning som

ablasjonsfaktor. Forholdet mellom fjorddyp og bredtjøkkelse er i de frontnære deler av breen er derfor av stor betydning for brefrontens posisjon på ulike tidspunkt. På grunnlag av dette skisseres ulike karakteristiske faser i isavsmeltingen av en idealisert fjord.

Anvendt på observasjoner og data fra Trondheimsfjorden som testområde avtegnes de ulike fasene rimelig konsekvent. Absolutt datering av fasene bygger imidlertid på resultatene i Sollid & Kjenstad (1980) og er følgelig usikre for deler av testområdet. Senere justeringer av dateringene (kfr. artikkel nr. IV) bekrefter og nyanserer konklusjonene med hensyn på de ulike fasene i isavsmeltingsforløpet, og de absolutte dateringene samsvarer i større grad med uavhengige dateringer fra området (Reite et al. 1982).

Emnet for denne artikkelen ligger noe på siden av den generelle problemstillingen i avhandlingen. Innholdet er mer en introduksjon i de glasialdynaamiske prinsippene som styrer nedsmeltingen av en fjordbre. Under tolkingen av en havnivådatert isrecessjonskronologi er det avgjørende at det ikke lages modeller som strider mot disse prinsippene.

III Kjenstad, K. 1984: Numeriske modeller for beskrivelse av havnivåendringer og isavsmelting testet på data fra Oslofjordområdet.

I denne artikkelen presenteres en modell for beskrivelse av havnivåendringer. Modellen er formulert matematisk som en krum trendfunksjon med høyden på havnivået (z) som funksjon av sted (x og y) og tid (t). I begrepet "krum trendfunksjon" ligger det at funksjonsverdien (z) kan skrives som en lineærkombinasjon av produkter av variablene (x, y, t) opphøyd i en økende potens. Summen av ledd stopper når funksjonen har fått en passe krumning. Før funksjonen kan benyttes på et bestemt område må lineærkombinasjonens parametre estimeres ut fra gitte data fra området. Funksjonen er utformet slik at parametrene estimeres på grunnlag av et valgfritt antall strandforskyvningskurver innenfor området og et kjent havnivå fra et gitt valgfritt tidspunkt. Trendmodellen gis en kompakt matriseformulering spesielt med tanke på praktisk anvendelse av modellen på datamaskin. Som mål på modellkvaliteten presenteres formler for beregning av statistiske usikkerhetsoverslag for de enkelte resultatene.

Modellen testes på data fra Oslofjordområdet. Funksjonen estimeres på grunnlag av strandforskyvningskurver fra Ski (Sørensen 1979) og Vestfold (Henningsmoen 1979) og på grunnlag av havnivået fra 950° BD etter Sørensen (op. cit.). Sammenlignet med pollendaterte strandforskyvningskurver fra området gir havnivåmodellen avvik for deler av postglacialperioden. Dette avviket kan forklares ut fra forskjell i pollendatert og ^{14}C -datert tidsskala. Forandringene i isobasgradient og isobasretning i havnivåmodellen ser ut til å ha et

rimelig konsekvent forløp, men det er her ikke mulig å lage en uavhengig kontroll av resultatene.

Den viktigste kontrollen av testforsøket ligger imidlertid i datering av isrecessjonen ved hjelp av havnivåmodellen. Isrecessjonen dateres ved å datere det tilhørende havnivået representert ved morfologiske marine grenser. I alt 132 lokaliteter for marin grense innenfor undersøkelsesområdet er datert på denne måten. Et isolinjenett tilpasset disse dateringene representerer den beregnede isrecessjonskronologien fra området. Sammenlignet med morfologisk kartlegging av isrecessjonslinjer fra området (Sørensen op. cit.) gir resultatet svært bra samsvar idet linjene stort sett har samme forløp. Dateringen av de morfologiske isrecessjonslinjene bygger både på uavhengige radiokarbondateringer av skjell og dateringer ved hjelp av et ekvidistant strandlinjediagram. Samsvaret med de uavhengige skjelldateringene er tilfredsstillende.

Denne artikkelen presenterer det teoretiske grunnlaget for utledning av beskrivende havnivåmodeller med et testforsøk på et område der det eksisterer gode data både til estimering av modellen og til kontroll av resultatene. Resultatet av testforsøket har vært svært bra selv om det ikke har bidratt med noe særlig ny informasjon om Oslofjordens isrecessjonskronologi.

IV Kjenstad, K. 1984: Isavsmeltings-kronologi i Trøndelagsområdet basert på havnivådaterte marine grenser.

I denne artikkelen anvendes en modifisert utgave av den beskrivende havnivåmodellen fra artikkel nr. IIÉ på data fra Trøndelagsområdet. Modellens parametre estimeres på grunnlag av strandforskyvningskurver fra Ålesund (Lie et al. 1983), Frosta (Kjemperud 1981), Bjugn (Kjemperud 1982) og Nærøy (Ramfjord 1982), og på grunnlag av Hovedflaten etter Sollid & Kjenstad (1980). Den enkle modellen fra artikkel nr. III egner seg først og fremst for stive enkeltkrummende strandforskyvningskurver. Ettersom strandforskyvningskurvene i dette området er dobbelt- og trippelt-krummende, er kurvene delt opp i segmenter av enkeltkrummende kurvedeler hvor overgangene er kontinuerlige og uten knekk. Estimeringen foregår ved hjelp av metoden for konstruksjon av glattet "kubisk spline" interpolator og transformeres deretter til nye interpolatorer innenfor hele 1000-årsintervall. Det lages et empirisk usikkerhetsoverslag for tilpasningen basert på residualene etter den samme framgangsmåten. Ved beregning av romavhengigheten lages det en modell for tiden før, og en modell for tiden etter 10500 BP.

Modellen gir en brukbar beskrivelse av havnivået innenfor området i den senglasiale perioden. Ved datering av 74 lokaliteter for marin grense og oppretting av en isrecessjonskronologi gir modellen akseptable resultater for perioden

etter 1050° BP. Resultatene fra havnivådateringene kan derfor supplere og nyansere tidligere dateringer og kronologier på vesentlige punkter. Før ca. 1050° BP har strandforskyvningskurvene et såpass horisontalt forløp at dateringene blir svært usikre og noen av dateringene kan ikke brukes i det hele tatt.

Sammenlignet med en glasiodynamisk tolkning av isrecessjonen i Trondheimsfjordområdet (Kjenstad & Sollid 1982) gir dateringene godt samsvar. Tilgang på flere dateringer gjør at tolkningen kan suppleres og nyanseres.

Artikkelen presenterer først og fremst en anvendelse av havnivåmodellen på et område med et annet strandforskyvningsforløp enn i Oslofjordområdet der testresultatene er vist i artikkel nr. III. Resultatene viser at modellen fra artikkel nr. III i dette tilfellet må modifiseres for å fange opp strandforskyvningsforløpet. En forholdsvis enkel modifisering av den opprinnelige modellen gir brukbart resultat. Dateringsresultatene bekrefter og nyanserer både tidligere isavsmeltingskronologier fra området og den glasiodynamiske tolkningen av isavsmeltingsforløpet fra Kjenstad & Sollid (op. cit.).

V Kjenstad, K. 1984: Beregning og presentasjon av paleogeografi.

I denne artikkelen presenteres først algoritmene for beregning og presentasjon av resultatene i havnivåmodellen. Deretter skisseres enkle modeller for rekonstruksjon av overflateprofilen på en isbre ut fra gitte isfrontlinjer. Algoritmene er programmert og implementert på en stor datamaskin med vektorgrafiske presentasjonsmedier og en mikrodatamaskin med tilsvarende rastergrafisk presentasjonsmedium. Fordeler og ulemper med de to systemene blir diskutert, og det konkluderes med at en stor datamaskin med rastergrafiske billedlagre og periferiutstyr er å foretrekke til dette formålet. Videre blir optimal dimensjonering av et slikt tenkt system tatt opp til generell diskusjon. Til slutt blir behandling av paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller vurdert i lys av generell informasjonsbehandling.

Artikkelen tar først og fremst for seg praktiske problemer omkring oppbygging av program- og maskinvare for beregning og presentasjon av paleogeografi. Denne delen av arbeidet er viktig for den praktiske anvendelsen av paleogeografiske modeller. Ettersom slike modeller må justeres og tilpasses data fra undersøkelsesområdet er det imidlertid nødvendig å arbeide interaktivt mot en datamaskin som generer resultatene direkte på kart og diagramform. Det er derfor nødvendig at programmer og maskinvare er tilpasset en slik interaktiv arbeidsmåte. Resultatenes romlige karakter stiller store krav til kartpresentasjonen og rastergrafiske kart har vist seg å gi egnet resultat.

KONKLUSJONER

Enkle matematiske modeller kan være nyttig for systematisering av feltinformasjoner, og det kan lettere oppdages trender og lovmessigheter i et ellers komplisert sett av feltinformasjon.

I arbeidet med rekonstruksjonsmodeller er det viktig at det er et gjensidighetsforhold mellom modellarbeidet og arbeidet med innsamling av feltinformasjon. Modellarbeidet kan derfor være et nyttig supplement til de mer tradisjonelle måtene å arbeide på.

Både beskrivende trendmodeller og geofysiske modeller kan benyttes som rekonstruksjonsmodeller til systematisering av feltinformasjon. I begge tilfellene foregår tilpasningen av modellen til et bestemt område ved estimering av modellenes parametre. Styrken hos trendmodellene ligger først og fremst i den statistiske kontrollen på tilpasningen som foretas. Geofysiske modeller har derimot innebygd en viss grad av forklaring på den prosessen som skjer.

Ulike tilgjengelige modeller beskriver naturforhold med en nøyaktighetsgrad som ofte er avhengig av antallet og kvaliteten på de informasjonene som benyttes i tilpasningen av modellen. Kompleksiteten av den modellen som skal benyttes må derfor stå i forhold til de dataene som skal tilpasses.

Målet med paleogeografiske rekonstruksjoner er å gjenskape topografiske naturforhold på et valgt tidspunkt. Rekonstruksjon av sen-glasiøle paleogeografiske forhold vil derfor gå ut på å sammenstille topografi, havnivå og isoverflate på dette tidspunktet.

Rekonstruksjon av havnivå er behandlet i flere testforsøk på data fra ulike områder. Den viktigste kontrollen på havnivåmodellens kvalitet er datering av isrecessjonen ved hjelp av modellene og sammenligning med uavhengige kronologier.

Den romlige rekonstruksjon av breens overflateprofil er bare behandlet summarisk. Som konstitutiv ligning er det gunstig å benytte en plastisk modell på grunn av dens enkle formulering. På tross av sin enkelhet har denne modellen under testforsøk på dagens innlandsiser gitt fullt akseptable resultater. De glasiologiske forholdene hos kvartærtidens breer kan avvike noe fra de glasiologiske forholdene hos dagens innlandsiser. Den plastiske modellen behøver derfor ikke å gi et tilsvarende godt resultat under rekonstruksjoner av paleoisbreer. Den største vanskeligheten i rekonstruksjon av breers overflateform ved hjelp av den plastiske modellen

ligger imidlertid i den tredimensjonale formuleringen av modellen og i konstruksjonen av en praktisk gjennomførbar algoritme.

Den tidsavhengige forandringen på overflateformen hos en fjordbre er beskrevet på en mer generell måte som glasial-dynamiske prinsipper. I nedsmeltingen av en fjordbre er kalving av viktig ablasjonsfaktor. Forholdet mellom fjorddyp og bretykkelse er avgjørende for brefrontens posisjon på ulike tidspunkt. De topografiske forhold vil derfor ha stor innflytelse på nedsmeltingsdynamikken. Det er viktig at havnivådaterte isrecessjonskronologier tar hensyn til disse prinsippene.

Et testforsøk i Trondheimsfjordområdet (artikkel nr. 1), med en enkel eksponensiell strandforskyvningsmodell for havnivåbeskrivelse og datering av isrecessjon, gir akseptabelt resultat bare innenfor et begrenset område omkring det stedet der det er påvist eksponensielt strandforskyvningsforløp (Frosta). Som en kontrast til de mer realistiske modellene i senere artikler viser testforsøket utvikling i modellkompleksitet. Dette er det eneste forsøket som beskriver havnivåendringer ved hjelp av en modell som kan gi geofysisk fundament og derfor i prinsippet kan sies å være forklarende.

Et testforsøk med en trendmodell for beskrivelse av havnivåendringer er foretatt i Oslofjordområdet (artikkel nr. 3) der det eksisterer gode data både til estimering av modellen og til kontroll av resultatene. Testforsøket i Oslofjordområdet har vist seg å gi svært bra resultat og en havnivådatert isrecessjonskronologi gir svært lite avvik sammenlignet med uavhengige feltinformasjoner.

Et testforsøk i Trondheimsfjordområdet (artikkel nr. 4) med en utvidet versjon av modellen som ble benyttet i Oslofjordområdet gir akseptabelt resultat, og dateringsresultatene kan benyttes til å bekrefte og nyansere tidligere isavsmeltingskronologier fra området. Grunnlagsdataene og havnivåmodellen viser at området har hatt et annet strandforskyvningsforløp enn Oslofjordområdet. Dateringene bekrefter og nyansere den tidligere glasialdynamiske tolkningen av isavsmeltingsforløpet.

Arbeidet med tilpasningen av modellene og beregninger av modellenes resultater skjer ved hjelp av datamaskinprogrammer. Under dette arbeidet er det stor hjelp å hente ved å benytte grafisk databehandling for presentasjonen av resultatene. Dette gir mulighet for interaktiv testing og justering av modellene. Det legges vekt på de estetiske sidene ved den grafiske utformingen av de ferdige kartene og diagrammene. Dette er nødvendig bl. a. for at illustrasjonene skal være instruktive slik at de kan ha pedagogisk nytte.

Det er nødvendig at beregnings- og plottealgoritmer og datamaskinenes oppbygning tilpasses en interaktiv arbeidsmåte. En

versjon av programmene er implementert på en stor datamaskin med vektorgrafisk periferiutstyr og en annen versjon på en mikromaskin med rastergrafisk periferiutstyr. Resultatene romlige karakter stiller store krav til kartpresentasjonen, og rastergrafiske kart har vist seg å gi gode resultater. Ved valg av maskin er det klart at store velutbygde maskiner på de fleste områder er bedre enn små maskiner. En lokal rastergrafisk arbeidsstasjon med direkte høyhastighets overføringslinje til en stor og velutbygget maskin vil sannsynligvis være det ideelle for dette formålet.

REFERANSER

- HENNINGSMOEN, K. 1979: En karbondatert strandforskyvningskurve fra søndre Vestfold. In Nydal, R. (ed.): Fortiden i søkelyset. Laboratoriet for radiologisk datering, Trondheim, 239-247.
- KJEMPERUD, A. 1981: A shoreline displacement investigation from Frosta in Trondheimsfjorden, Nord-Trøndelag, Norway. Norsk geol. Tidsskr. 61, 1-15.
- KJEMPERUD, A. 1982: The Late Weichselian - Holocene shoreline displacement at Bjugn, Sør-Trøndelag, central Norway. Dr. scient. avhandling, Univ. i Oslo. Unpubl.
- KJENSTAD, K. (SOLLID, J. L.) 1980: Hovedflaten (Yngre Dryas' havnivå) som basis for kvartær kronologi. Et metodeforsøk. Cand. real. Avhandling, Univ. i Oslo. Unpubl.
- KJENSTAD, K. & SOLLID, J. L. 1982: Isavsmeltings-kronologi i Trondheimsfjordområdet. Glasialdynamiske prinsipper. Norsk geogr. Tidsskr. 36, 153-162.
- LIE, S. E., STABEL, B. and MANGERUD, J. 1983: Diatom stratigraphy related to Late Weichselian sea-level changes in Sunnmøre, Western Norway. Norg. geol. Unders. 380, 203-219.
- RAMFJORD, H. 1982: On the Late Weichselian and Flandrian shoreline displacement in Nærøy, Nord-Trøndelag, Norway. Norsk geol. Tidsskr. 62, 191-205.
- REITE, A. J., SELNES, H. and SVEIAN, H. 1982: A proposed deglaciation chronology for the Trondheimsfjord area, Central Norway, Norg. geol. Unders. 373, 75-84.
- SOLLID, J. L. & KJENSTAD, K. 1980: Hovedflaten (Yngre Dryas' havnivå) som basis for kvartær kronologi. Et metodeforsøk. Norsk geogr. Tidsskr. 34, 93-96.
- SØRENSEN, R. 1979: Late Weichselian deglaciation in the Oslofjord area, south Norway. Boreas 8, 241-246.