

BEREGNING OG PRESENTASJON AV PALEOGEOGRAFI

Kjell Kjenstad

ABSTRACT

Metoder for rekonstruksjon av paleogeografi ved hjelp av beskrivende trendmodeller blir skissert sammen med algoritmer for beregning og presentasjon av resultater på datamaskiner med grafisk periferiutstyr. En versjon av programmene er implementert på en stor datamaskin med vektorgrafisk periferiutstyr og en annen versjon på en mikromaskin med rastergrafisk periferiutstyr. De to systemene presenteres i detalj og sammenlignes. Forhold omkring optimal dimensjonering av en rastergrafisk arbeidsstasjon for formålet blir diskutert. Behandling av paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller blir til slutt vurdert i lys av generell informasjonsbehandling.

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

INNHALDSFORTEGNELSE

INNLEDNING.....s. V- 3

 Rekonstruksjon av havnivå.....s. V- 4

 Rekonstruksjon av isbreens overflateform.....s. V- 7

PROSEDYRER FOR BEREGNING OG
PRESENTASJON AV PALEOGEOGRAFISKE FORHOLD.....s. V- 9

 Datamaskinprogrammer.....s. V-10

 Programmer for DEC-10.....s. V-13

 Programmer for CROMEMCO-II.....s. V-14

 Sammenligning av programsystemene.....s. V-20

DIMENSJONERING AV RASTERGRAFISKE ARBEIDSSTASJONER
TIL BEREGNING OG PRESENTASJON AV PALEOGEOGRAFI.....s. V-23

PALEOGEOGRAFISKE REKONSTRUKSJONSMODELLER SETT
I LYS AV GENERELL INFORMASJONSBEHANDLING.....s. V-30

KONKLUSJON.....s. V-33

REFERANSER.....s. V-35

INNLEDNING

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 kunne lages et topografisk kart over området med tilstrekkelig grad av nøyaktighet. Den perioden som ansees å ha mest interesse for en slik rekonstruksjon, er den senglasiale og tidlig postglasiale perioden. Forandringene i de topografiske forholdene var da særdeles store på grunn av ettervirkningene etter den siste kvartære nedisingen. Tilstedeværelsen av den tilbakesmeltende isbreen, og et høyere havnivå enn i dag preget det topografiske kartbildet. Vegetasjonsforholdene var også svært forskjellig fra dagens. Vegetasjonen innvirker imidlertid ikke på landskapets topografiske form og blir derfor ikke behandlet i denne sammenhengen. Rekonstruksjon av senglasiale paleogeografiske forhold går dermed ut på å sammenstille topografi, havnivå og isbre på et valgt tidspunkt. For å konstruere et paleogeografisk topografisk kart fra et bestemt tidspunkt må høyden i forhold til datidens havnivå beregnes for ethvert punkt på kartet. Det må også avgjøres om stedet var dekket av isbre eller ikke. Det er derfor nødvendig å lage modeller for beskrivelse av havnivåets og breoverflatens høyde over dagens havnivå for det aktuelle tidspunktet.

Modeller for beskrivelse av havnivåendringer og isavsmelting er beskrevet i Kjenstad (1980), i Sollid & Kjenstad (1980) og i artikkel nr. III og IV. Foruten en summarisk gjennomgang av modellene, presenteres algoritmer for beregning av havnivåmodellenes ulike parametre og anvendelser. Algoritmene er foreløbig implementert på to datamaskiner av ulik størrelse.

Videre skisseres modeller og generelle framgangsmåter for rekonstruksjon av isbreens overflateform uten at det foretas testing av de ulike isbremodellenes egenskaper.

Integrering av havnivåmodell, isbremodell og topografiske data er rekonstruksjonens mål. Den eneste måten for å anskueliggjøre en slik integrasjon, er i form av kart. Ettersom modellene og dataene allerede foreligger på digital form, er det naturlig å presentere kartene ved hjelp av datamaskinens grafiske periferiutstyr. Det er laget karttegningsalgoritmer som foreløbig er implementert på de samme to datamaskinene. Hver av maskinene er utstyrt med grafisk periferiutstyr av svært ulik oppbygning. Programsystemene og det grafiske periferiutstyret på de to maskinene blir derfor sammenlignet.

På grunnlag av sammenligningens konklusjoner diskuteres oppbygning og dimensjonering av en spesialtilpasset datamaskin og arbeidsstasjon for behandling og presentasjon av data for rekonstruksjon av paleogeografiske forhold. Med tanke på optimal dimensjonering av maskinen, blir det lagt vekt på å diskutere hvordan de ulike krav som stilles til rekonstruksjonen virker inn på oppbygningen av maskinen.

Til slutt diskuteres erfaringene fra arbeidet med paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller i lys av generell informasjonsbehandling. Paleogeografisk rekonstruksjon betraktes som en form for foredling av feltinformasjon. Slik foredling blir stadig mer nødvendig etterhvert som mengden av feltinformasjon øker. Noen viktige prinsipper i en slik foredlingsprosess omtales i mer generelle vendinger.

REKONSTRUKSJON AV HAVNIVÅ

Metoder for numerisk rekonstruksjon av havnivå ved hjelp av beskrivende trendmodeller er beskrevet i detalj i artikkel nr. III og IV.

Beskrivende flerdimensjonale funksjonsforhold kan bl a. representeres matematisk ved trendfunksjoner av flere variable. I denne sammenhengen uttrykkes høyden på havnivået z som en funksjon f av variablene x , y og t :

$$z = f(x,y,t)$$

For at funksjonen f skal være en trendfunksjon må den ha en slik form at den i størst mulig grad er tilpasset kjente funksjonssammenhenger mellom x , y , z og t , og samtidig beskriver trenden mellom de kjente punktene på en realistisk måte. De kjente funksjonssammenhengene er representert ved feltdata. Trendfunksjonen f skal teoretisk være formulert slik at den gjengir den matematiske trenden i avhengigheten mellom de enkelte variable slik at støy og usikkerhet i de enkelte observasjonene er glattet bort. Trendfunksjonen f har et begrenset gyldighetsområde som vanligvis omfatter den delen av (x,y,t) -rommet som begrenses av grunnlagsdataenes plassering i dette rommet. Ekstrapoleringer ut over dette området medfører at usikkerheten øker og blir etterhvert uakseptabelt stor. Ofte kan det være nødvendig å dele gyldighetsområdet inn i delområder, enten langs tidsskalaen eller i (x,y) -rommet. I slike tilfeller er det viktig at trendfunksjonen f blir mest mulig kontinuerlig og glatt i overgangen fra et delområde til et annet. Innenfor et delområde består vanligvis trendfunksjonen f av en sum av en lang rekke ledd. Hvert av leddene består av en parameter multiplisert med en eller flere av variablene x , y og t opphøyd i en økende potens. Rekken av ledd avsluttes når trendfunksjonen f beskriver en trendtilpasning med passende stivhet.

Parametrene i trendfunksjonen er i utgangspunktet vilkårlige, men får entydige verdier når trendfunksjonen anvendes på data fra et bestemt område. Parameterverdiene estimeres på grunnlag av (x,y,z,t) -verdiene for feltdataene fra området. Etter som det her opereres med to typer variable (tid og sted), vil prosedyren for estimering av parametrene i trendfunksjonen avvike noe fra den vanlige prosedyren for estimering av parametrene i flerdimensjonale trendfunksjoner. I denne sammenhengen estimeres parametrene i trendmodellen både på grunnlag av data fra en eller flere daterte strandforskyvningskurver innenfor undersøkelsesområdet og på grunnlag av data for et synkront havnivå som kan identifiseres morfologisk.

Dataene for det synkrone havnivået benyttes først og fremst i en innledende transformasjon av grunnlagsdataene slik at det arbeides med sammenlignbare høydeverdier i de ulike strandforskyvningskurvene. Transformasjonen gir konsistente normaliserte høyder med et entydig verdiområde og vanligvis med et nokså lineært avhengighetsforhold til variablene x , y og t . Som synkront havnivå er det vanlig å benytte seg av Hovedflaten representert morfologisk av Hovedlinjen fra Yngre Dryas, som vanligvis er en lett identifiserbar strandlinje. Den synkrone havnivåflaten representeres matematisk som en todimensjonal trendflate tilpasset observasjonspunktene for denne havnivåflaten. Det viser seg at en tredjeordens trendflatetilpasning i de fleste tilfeller gir det beste resultatet (Kjenstad 1980). Samtidig med flatetilpasningen kan det også beregnes et estimat for den statistiske usikkerheten i tilpasningen.

For hver enkelt av de strandforskyvningskurvene som inngår i rekonstruksjonen lages det en trendlinjetilpasning til samlingen av daterte normaliserte enkeltnivå ved hjelp av en krum regressjonslinje. En slik tilpasningsfunksjon kalles også en interpolator. For vanlige enkeltkrummende strandforskyvningskurver viser det seg ofte at en 3. eller 4. ordens interpolator gir et brukbart resultat. For kurver som forandrer krumningsretning er det av matematiske årsaker nødvendig å dele opp kurven i enkeltkrummende segmenter. Hvert segment beskrives av en interpolator, og overgangen mellom segmentene må være kontinuerlig og glatt. Slike interpolatorer kan estimeres ved hjelp av en eller annen "spline"-metode. Samtidig med kurvetilpasningen må det beregnes et estimat på den statistiske usikkerheten i tilpasningen.

I de tilfellene der det finnes to eller flere daterte strandforskyvningskurver innenfor undersøkelsesområdet kan det i (x,y) -planet konstrueres en glatt overgang mellom de enkelte grunnlagskurvene. Matematisk gjøres dette ved å la parametrene i en generell strandforskyvningskurve variere som funksjon av x og y slik at de faller sammen med parameterverdiene for hver enkelt grunnlagskurve i koordinaten for disse kurvene, og slik at de varierer glatt mellom disse koordinatene. På den måten konstrueres en stedavhengig nor-

malisert strandforskyvningskurve. De normaliserte høydeverdiene kan til slutt transformeres til virkelige høydeverdier ved hjelp av den inverse transformasjonen til den transformasjonen som ble foretatt på z-verdiene i grunnlagsdataene. Havnivåets avhengighet av tid og sted kan derfor uttrykkes ved:

$$z = f(x,y,t) \pm u(x,y,t)$$

På alle steg i beregningsprosessen kan det beregnes statistiske usikkerhetsmål uttrykt ved standardavvik. Usikkerheten i en beregnet havnivåhøyde for et sted som ligger innenfor et område som begrenses av koordinatene for grunnlagskurvene er av samme størrelsesorden som usikkerheten i hver enkelt grunnlagskurve. Ved ekstrapolering ut over dette området øker derimot usikkerheten etterhvert betraktelig.

En havnivåmodell i et område med bare en grunnlagskurve vil på denne måten bli mer og mer usikker ved forflytning bort fra koordinaten for grunnlagskurven. En sammenligning av resultatene i Kjenstad (1980) med resultatene fra artikkel nr. IV er et eksempel på dette.

Trendfunksjoner kan representeres matematisk på en svært kompakt måte ved hjelp av matriserepresentasjon (Draper & Smith 1981). Denne representasjonsformen er svært nyttig når det skal lages algoritmer for implementering av modellene på datamaskin. Den normaliserte funksjonen kan da representeres som produkt av matriser som enten inneholder variable eller parametre.

En generell normalisert strandforskyvningskurve kan i det enkleste tilfellet skrives som:

$$z' = (t) * (\text{parametre}) * (x,y)$$

På samme måten kan det synkrone havnivået skrives som:

$$z_0 = (\text{parametre}) * (x,y)$$

Havnivåmodellen kan benyttes direkte på fire ulike måter:

- 1) Høyden på havnivået på et bestemt sted og et bestemt tidspunkt kan beregnes direkte med usikkerhetsgrenser:

$$z = f(x_0,y_0,t_0) \pm u(x_0,y_0,t_0)$$

- 2) Strandforskyvningskurven fra et vilkårlig sted kan beregnes direkte med usikkerhetsgrenser:

$$z = f(x_0,y_0,t) \pm u(x_0,y_0,t)$$

- 3) Havnivåflaten for et vilkårlig tidspunkt kan beregnes direkte med usikkerhetsgrenser:

$$z = f(x,y,t_0) \pm u(x,y,t_0)$$

- 4) Strandlinjer kan dateres med usikkerhetsgrenser ved å forandre formelen slik at t isoleres på den ene siden av likhetstegnet:

$$t = g(x_0,y_0,z_0) \pm u(x_0,y_0,z_0)$$

Den siste formelen kan benyttes til datering av isavsmeltningstidspunktet på et bestemt sted ved å datere det korresponderende havnivået. Dette havnivået er vanligvis det høyest observerte havnivået på stedet og kan da representeres morfologisk som marine grensen på stedet. Et nett av lokaliteter for marin grense innenfor et område datert på denne måten danner derfor grunnlaget for en uavhengig havnivådatert isavsmeltingskronologi for området. Isrecessjonskronologien representeres ved hjelp av isolinjer gjennom MG-lokaliteter med samme alder.

REKONSTRUKSJON AV ISBREENS OVERFLATEFORM

Det finnes mange ulike metoder for rekonstruksjon av en isbres overflateform. I alle metodene baseres avhengigheten mellom fysiske størrelser på mekaniske lover for breis. Tilpasningen til et undersøkelsesområde baseres på et sett av randbetingelser fra området. Den matematiske formuleringen av mekaniske lover er oftest gitt som differensialligninger, som løses ved hjelp av iterative datamaskinprogrammer. Forskjellen mellom de ulike modellene er dels gitt ved valg av konstitutiv ligning for breis, og dels ved de antagelser og forenklinger som foretas under utledningen av det endelige settet av differensialligninger. Generelt krever komplekse modeller flere og mer nøyaktige randbetingelser enn enkle modeller. For paleoisbreer er mange av randbetingelsene som angår temperatur, massebalanse, hastighetsfordeling og overflateform vanskelig å gjenskape med ønskelig grad av nøyaktighet. Mangelen på slik informasjon gjør det dessuten vanskelig å foreta nødvendig uavhengig etterkontroll av rekonstruksjonens kvalitet. For rekonstruksjon av de fysiske forholdene i paleoisbreer er det derfor nødvendig å velge enkle modeller.

Det er først og fremst overflateformen hos en isbre som har interesse i rekonstruksjonen av paleogeografi. For slike rekonstruksjoner er isfrontens posisjon alltid en nødvendig randbetingelse som kan bestemmes på grunnlag av en eller annen isrecessjonskronologi. En slik isrecessjonskronologi kan enten etableres på grunnlag av havnivådaterte marine grenser eller på grunnlag av morfologisk kartlegging av isfrontlinjer.

En svært enkel isbremodell bygger på forutsetningen om at

breis kan betraktes som et plastisk materiale (Paterson 1981). Hughes (1981) transformerer differensialligningene i denne modellen til iterative formler for bruk på datamaskin. På tross av sin enkelhet har tester utført på innlandsisbreene i Antarktis (Hughes op. cit.) og på Grønland (Reeh 1982) gitt rimelig bra resultater. Modellen bygger imidlertid på forutsetninger om "steady-state"-tilstand i breen, noe som sannsynligvis ikke var tilfelle under den sen-glasiiale avsmeltingsperioden. Ved rekonstruksjoner av paleoisbreer er det derfor ikke uten videre sikkert at en slik plastisk modell gir et tilsvarende godt resultat. Modellen påvirkes i sterk grad av de parameterverdiene som velges for skjærspenning langs bunnen av breen og istemperatur. Dette gjør resultatet enda mer usikkert ettersom verdiene for disse parametrene ikke uten videre kan rekonstrueres.

Den plastiske isbremodellen er i utgangspunktet formulert to-dimensjonalt langs gitte stønningslinjer i breen. På en paleoisbre kan strømningslinjer i prinsippet rekonstrueres ved hjelp av glasiolgeologiske retningselementer (skuringsstriper, fluted surface, etc.). Det er imidlertid alltid en viss usikkerhet forbundet med tolkingen av tidspunktet for dannelse av slike retningselementer. Det finnes metoder for tredimensjonal rekonstruksjon av en plastisk isbre som ikke forutsetter kjennskap til forløpet av strømningslinjene. Ulempen med disse metodene er at de introduserer ytterligere usikkerhet i rekonstruksjonen.

Den enkleste metoden for slik tredimensjonal rekonstruksjon er en rent geometrisk metode der breen rekonstrueres to-dimensjonalt langs en "uendelig" bred strømningslinje. På den måten rekonstrueres breen i sin fulle bredde ved hjelp av de enkle formlene i det to-dimensjonale tilfellet. Resultatet av en slik metode er en bre med rettlinjede strømningslinjer som står vinkelrett på isfronten. Dessverre medfører dette at strømningslinjenes forløp er særlig følsomt overfor uregelmessigheter i brefrontens forløp. En løsning med rette strømningslinjer er helt urimelig på steder der brestrømmen påvirkes av et uregelmessig underlag. Dette er mest vanlig på steder der breen er tynn og derfor spesielt vanlig i de frontnære deler av breen. På tross av svakhetene kan metoden likevel være brukbar som en første tilnærming i områder med moderat topografi.

Reeh (1982) presenterer en analytisk metode for tredimensjonal generalisering av det enkle todimensjonale tilfellet. Metoden virker tilsynelatende enkel og elegant, særlig ved at tre av de største begrensningene i den enkle geometriske metoden forsvinner. For det første tar modellen hensyn til topografiens innvirkning på strømningsfeltet. For det andre beregnes strømningslinjenes forløp uten at de behøver å være gitt på forhånd, og for det tredje tillates krumme strømningslinjer. Testforsøk mot kjente data fra innlandsisen på Grønland (Reeh op. cit.) har gitt svært god resultat. Metoden skulle derfor i utgangspunktene være svært godt egnet for

rekonstruksjon av overflateprofilen på paleoisbreer. I testforsøket er det imidlertid benyttet topografiske data med grov oppløsning. Foreløbige testforsøk på topografiske data med høy oppløsning fra Sør-Norge har gitt blandede resultater. På tross av den enkle formuleringen ser det ut til at frihetsgraden i modellen er for stor til at den kan benyttes direkte på topografiske data med høy oppløsning. Problemet ligger først og fremst i å bestemme størrelsen på det området av den underliggende topografien som breens strømming i gjennomsnitt er bestemt av. Det er derfor nødvendig å finne et samband mellom topografiens oppløsning og betydningen. Reeh's enkle modell må derfor nyanseres og suppleres for å kunne brukes til rekonstruksjon av paleoisbreer i områder der de topografiske data har høy oppløsning. Det må dessuten lages gode rekonstruksjonsalgoritmer slik at modellen får fram plausible resultater uansett topografi. Dette vil kreve et omfattende arbeid, og vanskeligheten vil til slutt bestå i å avgjøre hva som er plausibelt eller ikke.

PROSEDYRER FOR BEREGNING OG PRESENTASJON AV PALEOGEOGRAFISKE FORHOLD

For å presentere de paleogeografiske forholdene innenfor et område på et bestemt tidspunkt, kobles dagens topografi sammen med det rekonstruerte havnivået og isbreen til et paleogeografisk kart. For å presentere tematiske delresultater sammenstilles topografi og tema til et temakart. Presentasjonsprosedyren er delt opp i moduler, og hver modul omfatter en hovedoperasjon. I det følgende presenteres de ulike modulene som er nødvendig for å framstille slike kart ved hjelp av en datamaskin.

Først må det finnes moduler som utfører beregningene for estimeringen av parametrene i de beskrivende havnivåmodellene. På grunn av modellenes kompleksitet er det en fordel å dele opp estimeringsprosedyren, og modellformuleringene gjør det naturlig å dele inn estimeringsmodulen for hver enkelt havnivåmodell inn i tre undermoduler. Den første undermodulen foretar regressjonslinjetilpasning av alle strandforskyvningskurvene som inngår i modellene. Den andre undermodulen foretar tilsvarende flatetilpasning av det synkrone havnivået som inngår i modellene, mens den tredje undermodulen foretar integrering av strandforskyvningskurvene og det synkrone havnivået i den beskrivende rom/tid-modellen. Resultatet av hver enkelt undermodul er lister over havnivåmodellens parametre.

Deretter må det finnes moduler som foretar de nødvendige beregninger for den direkte anvendelsen av havnivåmodellene.

Det gjelder beregning av havnivåhøyder, beregning av havnivåflatens gradient og retning, plotting av strandforskyvningskurver, eller datering av MG-lokaliteter.

I datamaskiner med separat grafisk hukommelse må det finnes egne moduler som forbereder plottingen av kartene. For det første er det nødvendig med en modul for definering av kartets geografiske parametre (rammekoordinater, kartmålestokk, etc.). Deretter er det nødvendig med moduler der de ulike former for tematisk informasjon (topografi, tidligere havnivå, daterte marine grenser, etc.) leses inn i datamaskinens grafiske hukommelse.

Til slutt må det finnes moduler som lager instruksjoner for plotting av de ulike kartene (topografiske kart, isokart, lokalitetskart, paleokart, etc.) på en grafisk presentasjonsenhet.

DATAMASKINPROGRAMMER

Hver enkelt modul danner et selvstendig program som benytter subrutinebibliotek for standardoperasjoner og plotting. Standard FORTRAN IV er benyttet som programmeringsspråk først og fremst på grunn av standardiseringen, men også på grunn av forfatterens mangelfulle erfaring i bruken av andre mer avanserte programmeringsspråk. FORTRAN er på tross av sine svakheter standardspråk på de fleste datamaskinanlegg og har på grunn av den store utbredelsen et stort utvalg av subrutinebibliotek. Programmene er tilpasset og implementert på to svært ulike datamaskiner.

Den ene maskinen er en mikrodatamaskin (CROMEMCO-II) med liten primærhukommelse og liten regnekapasitet. Maskinen er utstyrt med ekstra grafisk hukommelse som gjør det mulig å framstille de grafiske produktene som rasterbilder (fargepunkter satt sammen til bilder på en fargemonitor).

Den andre maskinen er en stor datamaskin (DEC-10) med stor primærhukommelse, stor regnekapasitet og et flerbukeroperativsystem. Det tilgjengelige grafiske periferiutstyret gjør det mulig å framstille de grafiske produktene som vektorbilder (strektegninger på en fargeplotter eller vektor-skjerm).

Programsystemet er implementert på to såpass forskjellige maskiner for å kunne vurdere maskinstørrelsens innvirkning på beregningsarbeidet og sammenholde egenskapene hos de to grafiske framstillingsmåtene. Valg av maskintype er bestemt av det maskinutstyr som opprinnelig kunne skaffes til veie. DEC-10 er Universitetets hoveddatamaskin og sto til rådighet ved prosjektets begynnelse. CROMEMCO-II er finansiert av NAVF-midler og anskaffet etter nøye sondering av tilgjengelig

utstyr først og fremst med tanke på dette formålet. Oppbygningen av programmene er nokså forskjellig i de to systemene. Det skyldes dels at programmene er skrevet på forskjellig tidspunkt i utviklingen av modellene og dels en nødvendig tilpasning til maskinstørrelse og grafisk periferiutstyr. De to systemene inneholder likevel stort sett de samme hovedmodulene.

De programmer som foretar beregninger i samband med estimering av parametrene i de beskrivende havnivåmodellene gjør stort sett matriseoperasjoner etter de formler som er angitt i appendix i artikkel nr. III og IV og i deBoor (1978, kap. XIV). I tillegg til rutiner for elementære matriseoperasjonene er det derfor nødvendig å ha tilgang til rutiner for invertering av kvadratiske matriser, minstekvadrats invertering av ikke-kvadratiske matriser og matriseoperasjoner i samband med beregning av glatt "kubisk spline". På DEC-10 utføres disse rutinene direkte i subrutiner fra subrutinepakken IMSL (IMSL 1982), mens det for CROMEMCO-II har vært nødvendig å skrive egne rutiner etter kjente algoritmer.

Som algoritme for matriseinvertering er det valgt en enkel LU-dekomposisjon med iterativ forbedring (Steward 1973). Algoritmen er ikke større enn at den får plass i en mikromaskin med middels stor primærhukommelse, og den er enkel å programmere. Algoritmen er rask og stabil ved små matriser, men bryter dessverre fort sammen ved store eller dårlig kondisjonerte matriser.

Som algoritme for minste kvadrats invertering av en ikke-kvadratisk matrise benyttes den direkte formelen for beregning av den pseudoinverse til en ikke-kvadratisk matrise (Draper & Smith 1981). Dette er en enkel algoritme som bare består av vanlig matriseinvertering og matrisemultiplisering. Etersom invertering av kvadratiske matriser inngår i algoritmen, bryter også denne fort sammen ved store eller dårlig kondisjonerte matriser. Dette gjelder f. eks. ved regresjonstilpasningen av flater hvor det er nødvendig å invertere store kvadratiske matriser. Regressjonstilpasning av flater kan derfor ikke utføres på mikromaskinen. Tilpasning av flater har derfor foregått på DEC-10 og parameterfilen er så overført via datanettverket til CROMEMCO-II. Ulempene ved en slik framgangsmåte er minimale ettersom flatetilpasning er den mest kurante delen av modelltilpasningen.

For å finne løsningen på de matriseligningene som inngår i beregningen av glattet "kubisk spline"-tilpasning av en strandforskyvningskurve er det benyttet en kopi av den rutinen som står listet opp i deBoor (1978). Ligningene og løsningsmetoden er forøvrig beskrevet i detalj samme sted. Originalalgoritmen har vist seg å være stabil. For å komme fram til en løsning som tilfredsstillende vilkårlig valgt verdi av "stivhetsparameteren" benyttes en iterativ søketeknikk som overbygning på rutinen fra deBoor (op. cit.). I visse tilfeller oppstår det imidlertid vansker med å få

løsningen til å ligge nært nok opp til den valgte verdien av "stivhetsparameteren". Dette skyldes formen på den funksjonen som er involvert, og medfører at muligheten til å velge løsning reduseres betraktelig.

De moduler som brukes i beregninger for den direkte anvendelser av havnivåmodellen, benytter stort sett enkel matrisemultiplikasjon. Beregningen av flatehøyder, flategradienter og flateretninger samt datering av strandlinjer utføres i interaktive dialogprogram. Under plottingen av strandforskyvningskurver foretas de samme beregningene, men disse operasjonene er separert ut i egne program av hensyn til plasskrevende grafiske rutiner.

Kartplotterrutinene for CROMEMCO-II krever egne forberedelsesprogrammer. For det første er det laget et eget program for formatering av den grafiske hukommelsen til områdets geografiske koordinater og for formatering av den grafiske hukommelsen til den kartoperasjonen som skal utføres. Formateringen vil senere bli beskrevet i detalj. For det andre er det laget programmer som beregner verdien av ulike tema og leser verdien inn på riktig plass i den grafiske hukommelsen. Det er bl. a. laget programmer for innlesning av topografi, havnivå, breoverflate og en flatetilpasningen til lokaliteter for daterte marine grenser. I DEC-10-versjonen er disse operasjonene lagt inn i kartplotteprogrammene.

Kartplotteprogrammene setter sammen tallfestede tema i matriseform og overfører det endelige temabildet til den grafiske periferienheten. På CROMEMCO-II transformeres tema-verdimatrisen til en fargekodematrise, mens på DEC-10 finnes det en egen grafisk rutine som tilpasser glatte isolinjer til temaverdimatrisen.

Alle kartplotteprogrammene leser topografiske høydeverdier fra en høydedatabase med et kvadratisk nettverk av datapunkter og med en vilkårlig oppløsning. Oppløsningen angir avstanden mellom to nabodatapunkter. De topografiske dataene benyttes både til å få fram stedfesting av tematisk informasjon og til å få fram topografiens innvirkning på de paleogeografiske forholdene. Hittil har det bare vært benyttet en høydedatabase med oppløsning på 1x1 km. Koordinatene for de enkelte høydepunktene er knyttet til UTM-systemet, og databasen er derfor delt opp i 4 enkeltfiler som hver er knyttet til en av de 4 UTM-sonen som dekker Norges fastland. Datafilen BASE1.DAT dekker hele Sør-Norge opp til den nordlige delen av Nord-Trøndelag fylke. BASE2.DAT dekker området videre nordover i Nordland fylke og tar med deler av Troms fylke. BASE3.DAT dekker resten av Troms fylke og deler av Vest-Finnmark, mens BASE4.DAT dekker resten av Finnmark. Databasen ble opprinnelig laget på Institutt for geologi ved Universitetet i Oslo.

Navnekonvensjonen for de ulike program- og datafilene er som følger: Programfilene på DEC-10 har fått navnet

("nnnntt.FOR"), der "nnnn" angir navnet på den operasjonen som programmet utfører, mens "tt" angir om det dreier seg om et beregningsprogram ("tt" = "BE") eller om et plottprogram ("tt" = "PL"). På CROMEMCO-II har programfilene fått navnet ("nnnnnpp.FOR"), der "nnnnnn" angir navnet på den operasjonen som programmet utfører, mens "pp" navngir den programpakken som programmet tilhører. Grunnlagsdataene er lagt inn på sekvensielle ASCII-filer ("nnnnnn.DAT"-filer) der hver linje representerer data fra en observasjon. Overføringen av data fra et program til et annet skjer enten ved lagring av parametre i ASCII-matrisefiler ("nnnnnn.MAT"-filer eller "nnnnnn.SPL"-filer) eller ved at data ligger lagret i maskinens eventuelle billedlager. Programparametre eller temporære data overføres ved hjelp av temporære filer ("nnnnnn.TMP"-filer). For data knyttet til strandforskyvningskurver angir filnavnet ("nnnnnn") stedsnavnet for kurven, mens for morfologiske data er filnavnet gitt ved konvensjonen "nnnnnn" = "ttxxmm", der "tt" angir lokalitetstype (HL = Hovedlinje-lokaliteter, MG = MG-lokaliteter), "xx" angir foredlingsgrad (XX = rådata, YY = foredlede data), mens "mm" angir et nummer for undersøkelsesområdet.

Programmene er blitt justert og forbedret etterhvert som feil har oppstått, men det har ikke vært foretatt noen systematisk testing for å luke bort mest mulig av potensielle feilsituasjoner.

PROGRAMMER FOR DEC-10

Til framstilling av grafiske produkter på DEC-10 benyttes bl. a. flerfarge vektorplottere eller vektorskjerm. Plottingen kan utføres direkte fra et FORTRAN-program ved hjelp av subrutiner i plotterutinebiblioteket GPGS (Zachrisen 1978) med en egen overbygning for flateframstilling - SURRENDER (Torgersen & Zachrisen 1979). Subrutinene i GPGS og SURRENDER er uavhengig av det grafiske periferiutstyret som benyttes, slik at det samme programmet genererer tegnekodetil enhver vektorplotter eller vektorskjerm. Spesialkonstruerte oversettelsesprogram (drivere) oversetter den genererte tegnekoden til instruksjoner som den aktiverte plotteren forstår. Kartmålestokken i DEC-10-programmene er valgfri, men oppløsningen på den tilgjengelige høydedatabasen (1x1 km) gjør at det ikke kan presse mer informasjon ut av kartene når målestokken økes ut over ca. 1:250000. De målestokkene som estetisk sett gir best resultat ligger i intervallet 1:500000 - 1:1000000. Dette forandres imidlertid ved bruk av høydedatabaser med annen oppløsning. Videre er det av praktiske årsaker valgt å konstruere programmene på DEC-10 på en slik måte at dimensjonen på kartkanten må være et multiplum av 50 ganger verdien av oppløsningen.

Programmene er skrevet som selvstendige programmer med subrutiner som er hentet fra det matematisk/statistiske sub-

rutinebiblioteket IMSL (IMSL 1982). Det er ennå ikke skrevet programmer for "spline"-kurve tilpasning for DEC-10. Følgende programmer er laget for DEC-10:

- 1) Et program for regressjonstilpasning av strandforskyvningskurver (KURVBE) med tilhørende plotteprogram (KURVPL).
- 2) Et program for regressjonstilpasning av trendflater (FLATBE) med tilhørende plotteprogram (FLATPL). En annen versjon av plotteprogrammet (ISOAPL) lager isolinjekart for tilpasset flate for marine grenser og angir i tillegg til MG-lokaliteter og kystkontur en avgrensning av de områder som ligger under denne flaten. Dette viser de områdene som en eller annen gang har ligget under havnivå (marine områder).
- 3) Et program for sammenstilling av av grunnlagsskurver og et synkront havnivå til en beskrivende rom-tid-modell (MODEBE).
- 4) Programmer for direkteanvendelse av havnivåmodellen, så som beregning av høyden på havnivået på gitt sted og gitt tidspunkt (HOYDBE), plotting av en beregnet strandforskyvningskurve på et gitt sted (STKUPL), plotting av et isobaskart for et gitt tidspunkt (ISOBPL), og datering av et gitt havnivå på et bestemt sted (TIDXBE)
- 5) Et program for datering av lokalitetene i lokalitetsfilen for marine grenser (DEGLBE) og plotting av isocesskart på grunnlag av nettet av slike daterte lokaliteter (ISOCPL). Det er laget en algoritme som får disse linjene til best mulig å ligne på isfrontlinjer. Det kan velges om denne isolinjetrekkingen skal ta hensyn til topografien eller ikke.
- 6) Et program for uttegning av kart over dagens topografi (KARTPL), og tilsvarende paleogeografiske topografiske kart fra et gitt tidspunkt (PALEPL).

PROGRAMMER FOR CROMEMCO-II

CROMEMCO-II er en mikrodatamaskin med Z-80 prosessor og 64k primærhukommelse som går under det CP/M-kompatible operativsystemet CDOS. I tillegg er maskinen utstyrt med en separat grafisk hukommelse på 2 x 48k med direkte videoutgang til en flerfarge rastermonitor. For generering av instruksjonskoder til billedhukommelsen og som grafisk styresystem benyttes et subrutinebibliotek (SDI) som kalles opp fra FORTRAN. Diagram framstilles som høyoppløselige rasterbilder i to farger, mens kart framstilles som 16-fargers rasterkart med middels oppløsning. Dette medfører at både diagram og kart i prinsippet er rasterbilder selv om høyoppløselige strekdiagrammer kan se ut som vektorbilder.

Programmene er skrevet som selvstendige programmer, men er bygd inn i tre forskjellige overlegg for enklere håndtering av programmene i et interaktivt menysystem. Det ene menyoverlegget (type 'XX') håndterer alle programmer knyttet til estimering og direkteanvendelse i "spline"-typeversjonen av havnivåmodellen. Det andre menyoverlegget (type 'YY') håndterer alle programmer knyttet til estimering og direkteanvendelse i den enkle versjonen av havnivåmodellen, mens det tredje menyoverlegget (type 'ZZ') håndterer alle kartplotteprogrammer. Det er laget to separate biblioteker som inneholder felles subrutiner. Det ene biblioteket (FORTRLIB) er knyttet til FORTRAN-rutiner som stadig kommer tilbake, mens det andre biblioteket (KARTLIB) er knyttet til standardrutiner for kartplotting i riktig format på den grafiske hukommelsen.

Den eneste forskjellen i menyen for de to havnivåprogram-pakkene ligger i angivelsen av programnavnene. Den ene menyen henviser til "XX"-programmer og den andre til "YY"-programmer. De to menyene styrer følgende program:

| Menyprogram | MENYPRXX | MENYPRYY |
|---|----------|-----------|
| 1: Kurvetilpasning | KURVBEXX | KURVB EYY |
| 2: Plotting av temporærfile | KURVPLXX | KURVPLY Y |
| 3: Rom-modell-beregning | MODEBEXX | MODEBEYY |
| 4: Beregning av flatehøyder | FLATBEXX | FLATBEYY |
| 5: Beregning av gradienter og retninger | GRADIEXX | GRADIEYY |
| 6: Datering av MG-lokaliteter | MGCALCXX | MGCALCY Y |

KURVBE inneholder algoritmen for regressjonstilpasning av strandforskyvningkurver til innleste strandforskyvningsdata. "XX"-versjonen benytter "spline"-kurve tilpasningen fra artikkel nr. IV, mens "YY"-versjonen benytter den enkle tilpasningen fra artikkel nr. III. Programmene skriver ut parameterfiler som enten får navnet "kurvenavn.TMP", "kurvenavn.SPL" eller "kurvenavn.MAT".

KURVPL inneholder program for plotting av strandforskyvningskurver med valgfri z-akseskala på grunnlag av parameterfilene "kurvenavn.TMP" eller "kurvenavn.SPL". Programmet er ordnet slik at hele eller deler av flere ulike kurver eller kan plottes i samme diagrammet. Kurver kan plottes med eller uten usikkerhetsintervall.

MODEBE foretar endelig beregning av en integrert havnivåmodell på grunnlag av parameterfiler fra de strandforskyvningskurvene som inngår i modellen, og på grunnlag av parameterfilen fra programmet på DEC-10 som foretar flatetilpasning av det synkrone havnivået. Programmet inneholder i tillegg mulighet for direkte høydeberegning av z som funksjon av x, y og t, datering av t som funksjon av x, y og z, samt

utskrift av parameterfil for plotting av strandforskyvningskurve fra et vilkårlig sted ved hjelp av plotteprogrammet KURVPL.

FLATBE foretar ikke regressjonstilpasning av flater, slik navnet skulle tilsi. Programmet gjør det derimot mulig å foreta direkteberegninger av flatehøyder (f. eks. i det synkron havnivået) på grunnlag av den parameterfilen som overføres fra DEC-10. "XX"-versjon og "YY"-versjon er derfor identisk.

GRADIE foretar beregning av gradienten og retningen hos den havnivåflaten som defineres av den integrerte havnivåmodellen for et gitt sted og et gitt tidspunkt. Dette kan brukes til å påvise eventuelle dreininger i isobasretningen eller eventuelle uregelmessigheter i forløpet av gradienten som funksjon av tiden.

MGCALÃ foretar datering av MG-lokaliteter på grunnlag av den integrerte havnivåmodellen. Data leses sekvensielt inn fra datafilen MGXX?.DAT og resultatene legges sekvensielt på resultatfilen MGY??.DAT.

Kartplottemenyprogrammet styrer følgende programmer:

| Menyprogram | MENYPRZZ |
|---|----------|
| 1: Nye kartparametre | INITIAZZ |
| 2: Lesing av kart fra topobase | TOPPUTZZ |
| 3: Uttegning av topografisk kart | KARPUTZZ |
| 4: Uttegning av lokaliteter | LOKALIZZ |
| 5: Innlesning av høydeflate | FLALESZZ |
| 6: Innlesning av havflate | HAVLESZZ |
| 7: Innlesning av tidflate | TIDLESZZ |
| 8: Glatting av flate | RUTMIDZZ |
| 9: Uttegning av hav-paleokart | HAVTOPZZ |
| 10: Uttegning av isobaskart | ISOBASZZ |
| 11: Uttegning av kart over marine områder | MARINEZZ |
| 12: Transformasjon til paleotopobase | KARPALZZ |
| 13: Uttegning av is-paleokart | ISPALEZZ |

Det siste programmet (ISPALEZZ) består egentlig av tre separate program (ISPALEZZ, ISFMIDZZ og ISKARTZZ) med direkte lenking mellom hvert av delprogrammene.

INITIAZZ foretar definering av kartrammekoordinater for arbeidsområdet og nødvendig formatering av den grafiske hukommelsen.

Den grafiske hukommelsen er delt inn i to billedplan, hver på 360 x 240 pixler (billedpunkter). Hver pixel kan representeres ved hjelp av et binærtall med en lengde på 4 "bits".

Dette gjør det mulig å representere en heltallsskala bestående av 16 tallverdier (en av tallverdiene fra 0 til 15) for hver pixel i billedlageret. En egen separat videoutgang gjør det videre mulig å representere hver pixel som et fargepunkt på monitoren med en fritt valgt farge for hver av de 16 heltallverdiene i billedlageret. Et av de grafiske billedplanene er til en hver tid synlig på monitoren. Det ene bildet brukes til presentasjon av ferdige kartbilder ("presentasjonslageret"), mens det andre benyttes til lagring av temporære bilde-data ("arbeidslageret"). For dette formålet er begge billedplan delt på midten i fire separate deler på en slik måte at det til enhver tid kan arbeides med et område som tilsvarer 1/4-del av monitorskjermens størrelse. For de temaene som det her arbeides med, er det nødvendig å kunne representere et intervall som består av flere heltallsverdier enn de 16 som billedlageret egentlig er laget for. Tallrepresentasjon ved hjelp av binærtall med en lengde på 8 "bits" gjør det mulig å representere en heltallsskala bestående av 256 ulike tallverdier (fra 0 til 255). Dette ser i mange tilfeller ut til å være en passende oppløsning for de temaene det arbeides med. For å representere et 8-"bits" binærtall i et 4-"bits" billedlager, trengs det to pixler i arbeidslageret. Det er derfor ikke plass til mer enn to temaer samtidig i arbeidslagerets fire delområder. Den ene av disse temaområdene er til enhver tid reservert for topografiske data, mens den andre er reservert for det tema som det for øyeblikket arbeides med. Firedelingen av presentasjonslageret gjør det mulig enten å presentere 4 ulike temaer på det samme bildet, eller eventuelt å sette sammen 4 naboområder til et område som fyller hele skjermen.

Målestokken hos de kartene som presenteres på CROMEMCO-II kunne i prinsippet velges fritt. Ettersom monitoren primær-oppløsning står i et entydig forhold til lageradressene i den grafiske hukommelsen, vil kartmålestokken i praksis stå i et entydig forhold til høydedatabasens oppløsning. CROMEMCO-II har i nåværende konfigurasjon ikke innebygget system for direkte zooming mellom grafisk hukommelse og monitor, og det må derfor hele tiden arbeides med den samme målestokken. I praksis er dette ikke noen ulempe ettersom uforstørrede kart vanligvis gir estetisk sett best resultat. Målestokken på monitorkartene er derfor gitt straks det leses inn topografiske data med en gitt oppløsning. Den tilgjengelige høydedatabasen har en oppløsning på 1x1 km, og alle kart vil derfor for øyeblikket komme ut i målestokken 1:1470000. For spesielle formål kunne det være mulig å generalisere høydedatabasen til en grovere oppløsning for eventuelt å få med et større geografisk område. Dimensjonen på kartrammen må av praktiske årsaker være et multiplum av 10 pixler.

TOPPUTZZ leser inn de topografiske dataene fra en diskfil og inn på arbeidslagerets topografidel.
KARPUTZZ lager et kart over dagens topografi med valgfri ekvidistanse.

LOKALIZZ plotter stedangivelsen for lokaliteter fra en av datafilene (f. eks. MG-lokaliteter).

FLALESZZ beregner høyder for en parameterframstilt flate innenfor et område på grunnlag av matrisefilen fra estimeringsprogrammet på DEC-10 og leser resultatet inn på arbeidslagerets temadel.

HAVLESZZ beregner høyder for havnivåflaten på et gitt tidspunkt innenfor et område på grunnlag av en integrert havnivåmodell og leser resultatet inn på arbeidslagerets temadel.

TIDLESZZ leser lokalitetsfilen for daterte marine grenser og beregner en regulær matrise av isavsmeltingstidspunkt basert på en flatemodellalgoritme som beregner gjennomsnittet av alderen av de 2 nærmeste MG-lokalitetene i hver av de 4 omkringliggende kvadranter (Omre 1979). Denne algoritmen har vist seg å gi best resultat etter forsøk med en lang rekke potensielle algoritmer. Den ferdige verdimatrisen leses inn på arbeidslagerets temadel.

Alle de tre siste programmene utfører en rekke numeriske beregninger for hvert eneste beregningspunkt. Hvis beregningen skulle utføres på alle elementærpunktene (pixlene) i arbeidslagerets temadel, ville beregningstiden bli svært lang. En prosedyre der det utføres en beregning pr. 10×10 - rute med påfølgende glatting ved veiet interpolering for hver 1×1 - rute (pixel), har vist seg å gi like bra resultat ved den nøyaktighetsgrad som her benyttes. Prosesseringstiden er også vesentlig kortere.

RUTMIDZZ foretar glatting i arbeidslagerets temadel etter en flatemodellalgoritme for veiet interpolasjon på grunnlag av verdien i 4 omkringliggende 10×10 - ruter (Omre op. cit.).

HAVTOPZZ plotter et paleogeografisk kart fra et pøstglasialt tidspunkt hvor bare endret havnivå inngår som rekonstruert naturelement. Kartet tegnes ut på presentasjonslageret ved å koble dataene i arbeidslagerets topografidel med havnivådata fra arbeidslagerets temadel.

ISOBASZZ plotter et isolinjekart på presentasjonslageret på grunnlag av de dataene som ligger i arbeidslagerets temadel. Programmet plotter først et topografisk grunnlagskart på presentasjonslageret. Isolinjene kan representere ulike temaer, så som høyden på havnivå på et bestemt tidspunkt, høyden på en annen tilpasset flate eller alderslinjer på en tilpasset isrecessjonsflate. Isolinjene tegnes ut på grunnlag av en algoritme som leter seg fram til nivåkurver i flaten ved hjelp av et kjedekodesystem (Freeman 1961).

MARINEZZ plotter et topografisk kart med fargelegging av de områdene som ligger under den flaten som ligger arbeidslagerets temadel. Hvis f. eks. arbeidslagerets temadel inne-

holder en MG-flate, så vil programmet fargelegge de områdene som en eller annen gang har ligget under havnivå (marine områder).

KARPALZZ foretar en transformasjon av dagens topografiske høydeverdier i arbeidslagerets topografidel til topografiske høydeverdier for et valgt tidspunkt. Denne transformasjonen frigjør arbeidslagerets temadel til arbeid med rekonstruksjon av breen. For å spare tid kan det i dette programmet arbeides med uglattede verdier for havnivå uten at det går ut over presisjonen i den oppløsningen det hittil har vært arbeidet med.

ISPALEZZ består som tidligere nevnt av tre separate program (ISPALEZZ, ISFMIDZZ og ISKARTZZ) med direkte lenking mellom hver av delene. Før disse programmene settes i gang må topografidelen i arbeidslageret inneholde de justerte topografiske høydeverdier som er resultatet av programmet KARPALZZ. Temadelen i arbeidslageret må inneholde en isrecessjonsflate fra programmet TIDLESZZ slik at isfrontens posisjon kan bestemmes entydig.

Den første delen (ISPALEZZ) beregner isbreens overflateform etter en algoritme som regner ut isbreens høyde innenfor en 10 x 10 - pixelrute trinnvis fra isfronten og innover etter den enkle framgangsmåten som er skissert i et tidligere kapittel. Rekonstruksjonsalgoritmen identifiserer først isfrontens posisjon på det angitte tidspunktet etter isrecessjonskronologien som er beregnet i programmet TIDLESZZ. Deretter beregnes høyden på alle punkter som ligger umiddelbart proksimalt for frontpunktene etter "steady-state"-ligningen for en plastisk isbre på et flatt underlag. Samme prosedyre gjentas for suksessive sett av proksimalpunkter, inntil hele kartflaten er fylt av høydeverdier. Høydeverdiene lagres på arbeidslagerets temadel.

ISFMIDZZ foretar glatting av hver pixel i denne isflaten etter en lettere modifisert utgave av den generelle glattingsalgoritmen i programmet RUTMIDZZ.

ISKARTZZ plotter det ferdige paleogeografiske kartet på presentasjonslageret ved å sammenligne paleotopografien i arbeidslagerets topografidel med iskroppens overflateform i arbeidslagerets temadel. Ettersom isbreens overflateform egentlig beregnes for 10 x 10 - pixleruter, introduseres en ekstra glatting av isfrontens posisjon i forhold til isrecessjonskronologien. Det kan derfor være et avvik på inntil 10 km mellom disse to frontposisjonsangivelser. Dette er tolererbart med det presisjonsnivået som det hittil har vært arbeidet med.

SAMMENLIGNING AV PROGRAMSYSTEMENE

Når de to systemene skal sammenlignes er det særlig to forhold som det er aktuelt å se nærmere på. For det første skiller de to grafiske framstillingsmåtene (rastergrafikk og vektorgrafikk) seg sterkt fra hverandre. Det er derfor nødvendig å se på fordeler og ulemper ved bruken i hver av dem. For det andre er det nødvendig å se på maskinstørrelsens innvirkning på programmerings- og beregningsarbeidet.

De to programsystemene er skrevet på ulike stadier i arbeidet med utarbeidelsen av modellene. Det er derfor vanskelig å sammenligne programmene direkte. Da det siste programsystemet (for CROMEMCO-II) ble laget, kunne erfaringer fra tidligere arbeidet tas inn i det videre programmeringsarbeidet. Dette gir sterkest utslag i utformingen av mer brukervennlige menysystemer og at valgmuligheter er bedre tilpasset de konkrete oppgaver som systemene er satt til å løse.

Lesbarhet og estetisk utsende hos grafiske produkt er avhengig av den type informasjon som produktet inneholder. For å gjengi den 2-dimensjonale areelle strukturen hos av en informasjonstype egner rasterformatet seg best, mens informasjon med lineær utstrekning eller informasjon knyttet til punkter gjengis best på vektorformat. Bruk av farger eller symboler gir mulighet for å samle flere type informasjon i det samme bildet uten at det går ut over lesbarhet og estetikk. 3-dimensjonale forhold kan representeres i begge de to systemene ved å projisere flaten ned i billedplanet, og deretter representere den siste dimensjonen enten ved hjelp av isolinjeteknikker i vektorformatet, eller ved gråtone- eller fargerepresentasjon i rasterformatet. Blokkdiagram i perspektivframstilling kan i visse tilfeller være et brukbart alternativ.

Det meste av grunnlagsinformasjonen i paleogeografisk rekonstruksjon er punktinformasjon, mens rekonstruksjonsmodellene i det vesentlige genererer romlige 3-dimensjonale flater. Topografiske kart og paleogeografiske kart er estetisk sett klart best representert i rasterformatet ved at høydeforhold trer mye klarere fram enn hos tilsvarende kart i vektorformat. Isobaskart kan framstilles med bra resultat i begge formatene. Rasterformatet får imidlertid fram topografien bedre og gir derfor tydeligere stedfesting av linjene. Strandforyskyvningsdiagram framstilles klart best i vektorformatet, men også et tofargedidiagram på en høyoppløselig rasterskjerm er godt nok. Totalt sett er rasterformatet derfor best egnet som presentasjonsformat for resultatene av denne typen rekonstruksjoner.

I prinsippet kan bilder i begge formatene plottes både på dataskjerm og på papirkopi. Tilfredsstillende muligheter for plotting av papirkopier på rasterformat er ennå ikke særlig utbredt. Alternativet er å benytte linjeskriver med tildels dårlig gjengivelse av bildet, eller å fotografere skjerm-bildet direkte. Erfaringene fra dette arbeidet tilsier derfor at vektorformatet egner seg best for plotting av kart til skriftlig dokumentasjon, mens rasterformatet klart egner seg best for framstilling av kart til muntlig dokumentasjon, f. eks. som fargedias til foredragsbruk. Ved bedre utbygging av muligheten for direkte flerfargekopiering av skjermbilder vil rasterformatet også i reproduksjonssammenhengen være å foretrekke.

Programmeringsarbeidet for de to metodene avhenger av hvor stor del av instruksjonene som allerede ligger i tilgjengelige subrutinebibliotek. I dette tilfelle inneholder IMSL og GPGS/SURRENDER bibliotekene på DEC-10 subrutiner for matri-semanipulasjon og karttegning på et betydelig høyere brukernivå enn tilsvarende bibliotek på CROMEMCO-II. På mikro-maskinen måtte det derfor skrives egne subrutinebibliotek før det egentlige programmeringsarbeidet kunne starte. Resten av programmeringsarbeidet tar i prinsippet like lang tid på de to systemene.

Arbeidshastigheten hos de ulike programmene avhenger først og fremst av prosessoren i regnemaskinen, og generelt er store maskiner betydelig raskere enn små maskiner. Det må utføres betydelig flere regneoperasjoner ved bruk av vektorgrafikk enn ved rastergrafikk. Dette kommer av at modellen beregner matriser av høydeverdier og har derfor i utgangspunktet rasterformat. Transformasjonen fra rasterdata til vektorrepresentasjon krever egne linjefølgingsalgoritmer og ofte egne spline-algoritmer for glatting av linjer. Dette er algoritmer som krever mye regnearbeid. Selv på den store DEC-10-maskinen kan plottingen av et middels stort kartbilde ta flere minutter. Det er derfor tvilsomt om slike algoritmer i praksis kan utføres på generelle mikroprosessorbaserte systemer.

Når en stor maskin skal sammenlignes med en liten maskin, er det flere ulike forhold som må vurderes.

Prosessoren i maskinen virker inn på hastigheten av de beregninger som utføres. Det er i denne sammenheng vanskelig å sammenligne de to maskinene direkte ettersom algoritmene i programmene på DEC-10-maskinen utfører langt flere operasjoner enn de tilsvarende algoritmene på CROMEMCO-II-maskinen. Generelt har DEC-10-maskinen regnehastigheter som er flere størrelsesordener høyere enn hos mikromaskinen, men ettersom DEC-10-maskinen er en flerbrukermaskin vil denne forskjellen reduseres betraktelig i perioder med stor belastning. Enbrukerversjonen av CROMEMCO-II-maskinen har omtrent konstant regnehastighet, men på grunn av den langsomme Z80-prosessoren kan utførelsen av programmer ta svært lang tid.

Utførelsen av programmene TOPPUTZZ og RUTMIDZZ tar f. eks. flere minutter.

Størrelsen på maskinens primærlager er avgjørende for om program og data får plass i maskinen eller ikke. DEC-10-maskinen har mer enn nok plass til programmene, men har i nåværende konfigurasjon ikke egne billedlagre. Billeddata må derfor leses inn i primærlageret, og i programmene er det av hensyn til plassen i primærlageret valgt å segmentere kartbildene i underbilder på 50 x 50 - ruter. Dette er årsaken til at DEC-10-programmene er konstruert med kartrammer som i størrelse er et multiplum av 50. Primærlageret på CROMEMCO-II-maskinen er i snaueste laget for enkelte av programmene. Dette har resultert i at flere programmoduler er delt opp i underprogrammer for å få nok plass. Dessuten er programmeringen på flere steder uryddig av hensyn til plassmangelen. Det hadde derfor vært ønskelig med litt større primærlager enn de ca. 48k som er til rådighet for programmene på CROMEMCO-II-maskinen. Tilgang på billedlager gjør at det ikke trengs plass til billeddata i mikromaskinens primærlager. Det er derfor helt klart at en mikromaskin uten billedlager er for liten til dette formålet. Lesetiden på billedlager er ikke like rask som lesing på primærlager, men likevel betydelig raskere enn lesning på sekundærlager.

Type og størrelse på tilgjengelige sekundærlager vil være av betydning både for spørsmålet om lagerplassen er stor nok og ikke minst for lesehastigheten på lageret. Billeddata krever generelt stor datalagringsplass, men selv de minste sekundærlagertypene (5 1/4 " diskettstasjoner) har hittil vært store nok. Lagringen av topografidatabasen BASE1.DAT på CROMEMCO-II opptar imidlertid en hel diskett, slik at det generelt kunne være ønskelig med sekundærlager med større plass. DEC-10-maskinen har platelager med mer enn nok plass for dette formålet, men det er generelt en fordel med fastmonterte platelager slik at venting på operatørens montering av eventuelle monterbare plater kan unngås. CROMEMCO-II er utstyrt med et 5Må fastmontert platelager. Dette er nok for en brukers arbeid med små bilder. Lesehastigheten er betydelig større på platelager enn på diskettlager. Dette er spesielt tydelig ved utførelsen av f. eks. TOPPUTZZ-programmet. Det kan generelt sies at fastmonterte platelager er betydelig enklere å arbeide med enn diskettlager og monterbare platelager.

Det er betydelige gevinster å hente ved å arbeide på en maskin med stort utvalg av tilgjengelig programvare. Dette er spesielt nyttig under programmeringsarbeidet. Vanligvis er tilgangen på programvare større på store maskiner enn på tilsvarende små maskiner. Det som har gjort spesielt stort utslag i dette arbeidet er et mye større subrutinebibliotekstilbud på DEC-10 enn på CROMEMCO-II.

Tilgangen på grafiske periferienheter er av stor betydning i et arbeid som dette. Vanligvis må bruken av grafiske peri-

ferienheter tilpasses den typen arbeid som skal utføres. Tilbudet av periferienheter på store maskiner er vanligvis mye større enn på små maskiner. For dette formålet har det imidlertid ikke vært noen slik forskjell ettersom mikromaskinen ble innkjøpt og konfigurert spesielt med tanke på dette arbeidet.

Bruksprisen er av betydning når to anlegg skal vurderes opp mot hverandre. Det er imidlertid vanskelig å sammenligne de reelle kostnadene for bruken av to såpass ulike anlegg.

Arbeidet på en mikromaskin er nokså forskjellig fra arbeidet på en flerbruker stormaskin. På en stormaskin kan brukeren nyte godt av service fra en egen operatør og et stort operativsystem, mens på en mikromaskin har brukeren selv ansvar for operativsystemet og de nødvendige sikkerhetsrutiner.

Følgende konklusjoner kan trekkes ut av sammenligningen. For dette arbeidet er rasterformatet best egnet som presentasjonsformat. Selv typiske vektorbilder kan med fordel framstilles på høyoppløselige rasterskjermer. Store velutbygde maskiner har på de fleste områder klare fortrinn framfor tilsvarende små maskiner. Arbeidet hadde vært betydelig enklere med tilgang til en lokal rastergrafisk arbeidsstasjon med direkte høyhastighets overføringslinje til en stor velutbygget maskin. En slik arbeidsstasjonen bør være utstyrt med stor lokal billedlagerkapasitet, mulighet for rask manipulering av bilder i hardware og mulighet for direkte fargekopiering av skjermbildet.

DIMENSJONERING AV RASTERGRAFISKE ARBEIDSSTASJONER FOR BEREGNING OG PRESENTASJON AV PALEOGEOGRAFI

I det følgende belyses forholdet mellom dimensjoneringen av rastergrafiske arbeidsstasjoner og arbeidet med beregning og presentasjon av paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller. På den måten kan det bestemmes en optimal størrelse på arbeidsstasjonen for det aktuelle formålet.

Representasjon av kontinuerlige geometriske strukturer ved hjelp av rastergrafikk gjør det nødvendig å gjøre kontinuerlige funksjonssammenhenger diskrete i alle dimensjoner. Størrelsen på en slik diskret minsteenheter kalles for oppløsningen.

Ved beregning og presentasjon av kartfestede data i rasterformat er lagerplass og regnetid ofte begrensende faktorer. På grunn av rasterdataenes areelle struktur øker behovet for lagerplass proporsjonalt med kvadratet av oppløsningen og kartformatet langs en akse. Valg av oppløsning og kartformat influerer derfor sterkt på utstyrspris og regnehastighet.

Dimensjoneringen av utstyret må derfor settes opp mot de kravene som stilles til det endelige resultatet.

Det er hovedsakelig tre faktorer som bestemmer dimensjoneringen. I hver av de tre euklidske akseretningene ($i=x,y,z$) kan forholdet mellom størrelsen på arbeidsintervallet langs en akse ("aksestørrelsen") (d_i), antallet diskrete enkeltverdier langs den samme akse ("akseenhetsantallet") (a_i) og størrelsen på en diskret minsteenhets ("akseoppløsningen") (e_i) i skjermdimensjoner skrives som:

$$d_i = a_i * e_i \quad \text{der } i = x, y, z \quad (1)$$

En rasterskjerm må rent fysisk betraktes som en todimensjonal representasjon. z-retningen representeres derfor ikke som fysiske avstander, men som tallverdier. Akseoppløsningen e_z er derfor størrelsen på minsteenhets i det tallsystemet som representerer disse tallverdiene, mens aksestørrelsen d_z er størrelsen på det totale intervallet som disse tallverdiene spenner over.

Akseoppløsningen (e_i) på en rasterskjerm er bestemt av den tekniske oppbygningen av arbeidsstasjonen. På noen systemer kan størrelsen på oppløsningen (e_i) forandres ved "zooming" inntil en nedre grense som bestemmes av skjermens tekniske minsteoppløsning og øyets elementæroppløsningsevne. Denne grenseverdien kan i beste fall presses ned til ca. 0.2 mm. De fleste systemer opererer med heltallsrepresentasjon av z-aksen, og på slike systemer settes derfor e_z lik 1.

Aksestørrelsen (d_i) begrenses i x- og y-retningen av rasterskjermens fysiske størrelse. På systemer med mulighet for "panning" kan aksestørrelsen øke ut over skjermens fysiske størrelse ved at skjermbildet flyttes rundt på et større bilde i maskinens billedlager. I de tilfellene der e_z settes lik 1, bestemmes størrelsen på d_z av antallet diskrete nivå som kan representeres i z-retningen på billedlageret.

Akseenhetsantallet (a_i) for de tre aksene bestemmes entydig ut fra størrelsen og konfigurasjonen av billedlagrene i regnemaskinen. Produktet av akseenhetsantallene på x- og y-aksen angir den totale størrelsen (L) på et av billedlagrene i antall "ord" ("bytes"), mens a_z angir antallet diskrete nivå som et slikt "ord" kan representere.

$$L = a_x * a_y \quad (2)$$

For å kunne arbeide effektivt er det nødvendig med minst to parallelle billedlagre. Tilgang på et par ekstra billedlagre gjør at mange arbeidsoperasjoner kan utføres på en betraktelig enklere måte.

Både x-, y- og z-verdi er representert i billedlageret som binære tall (x- og y-verdi som adresse og z-verdi som lagerverdi). Størrelsen på akseenhetstallet a_i kan alterna-

tivt angis ved hjelp av tallets "ordlengde" (b_i) (antall "bits"). Sambandet mellom a_i og b_i er i så fall:

$$a_i = 2^{b_i} \quad \text{og} \quad b_i = \ln(a_i) / \ln(2) \quad (3)$$

Forholdet mellom aksestørrelser på skjermen og de tilsvarende aksestørrelser i det reelle rommet bestemmes av kartmålestokken i x - og y -retningen og av høydemålestokken i z -retningen. Forholdet er definert ved målestokkstallet M_i (Store bokstaver angir reelle dimensjoner og små bokstaver angir skjermdimensjoner):

$$D_i = M_i * d_i \quad \text{hvor } i = x, y, z \quad (4)$$

For akseenhetsantallet gjelder et tilsvarende forhold og forholdstallet kan benevnes "komprimeringstallet" K_i :

$$A_i = K_i * a_i \quad \text{hvor } i = x, y, z \quad (5)$$

Vanligvis er det ønskelig med en entydig relasjon mellom de diskrete minsteenheter i det reelle rommet og på skjermen. Dette oppnås ved å sette $K_i = 1$. Andre ganger kan det av ulike årsaker være nødvendig å velge andre K_i -verdier. Dette medfører enten at datapunkter går tapt eller at det opprettes nye interpolerte datapunkter.

For det reelle euklidske rommet gjelder den analoge formelen til formel (1).

$$D_i = A_i * E_i \quad \text{hvor } i = x, y, z \quad (6)$$

Verdiene for D_i og A_i fra formel (4) og (5) innsatt i formel (6) med påfølgende bruk av formel (1), gir følgende samband mellom oppløsningene E_i og e_i :

$$E_i = (M_i / K_i) * e_i \quad \text{hvor } i = x, y, z \quad (7)$$

Det nødvendige begreps- og formel-grunnlag er nå utviklet for å kunne se på ulike situasjoner som kan oppstå. Ligningene (1), (4), (5) og (7) danner et ligningssystem av 4 uavhengige ligninger med 8 ukjente størrelser.

$$d_i = a_i * e_i \quad (1)$$

$$D_i = M_i * d_i \quad (4)$$

$$A_i = K_i * a_i \quad (5)$$

$$E_i = (M_i / K_i) * e_i \quad (7)$$

I en bestemt situasjon må 4 av størrelsene være gitt som uavhengige variable, mens de resterende 4 er entydig gitt av ligningssystemet som avhengige variable. Å diskutere ulike konkrete situasjoner som kan oppstå går derfor ut på å avgjøre hvilke 4 av størrelsene som skal være gitt som uavhengige variable, enten imperativt eller som valg.

En aktuell situasjon er tilfellet der maskinutstyret er gitt i utgangspunktet. Dette medfører f. eks. at a_i og e_i er gitt som uavhengige variable, noe som gjør at d_i er gitt som en avhengig variabel av ligning (1). I mange situasjoner er størrelsen på M_i og A_i uten betydning, og disse kan derfor betraktes som avhengige variable. Av de gjenstående 3 variable (D_i , K_i og E_i) må derfor to velges som uavhengige, mens den siste er avhengig og bestemmes av ligning (9). Ligningssystemet kan da omskrives til:

$$d_i = a_i * e_i \quad (1)$$

$$M_i = D_i / (a_i * e_i) \quad (8)$$

$$A_i = K_i * a_i \quad (5)$$

$$E_i = D_i / (K_i * a_i) \quad (9)$$

CROMEMCO-II med et av arbeidslagerets 4 kvadranter kan brukes som eksempel. Størrelsen på a_i og e_i er gitt av utstyrsspesifikasjonen, og verdien på d_i beregnes ved hjelp av ligning (1).

$$\begin{aligned} a_x=180 \quad e_x=0.68 \text{ mm} & \implies d_x=12.24 \text{ cm} \\ a_y=120 \quad e_y=0.68 \text{ mm} & \implies d_y= 8.16 \text{ cm} \\ a_z=16 \quad e_z=1 & \implies d_z=16 \end{aligned}$$

Som tidligere nevnt er to av arbeidslagerets kvadranter brukt sammen for å øke b_z fra 4 til 8 "bits". I så fall forandres den siste ligningen til:

$$a_z=256 \quad e_z=1 \quad \implies d_z=256$$

I den topografiske databasen det hittil har vært arbeidet med, er E_i gitt entydig. Samtidig har det vært ønskelig å arbeide med $K_i = 1$ for de topografiske dataene. Med E_i og K_i som uavhengige variable forandres ligningssystemet til:

$$d_i = a_i * e_i \quad (1)$$

$$M_i = (E_i * K_i) / e_i \quad (10)$$

$$A_i = K_i * a_i \quad (5)$$

$$D_i = E_i * K_i * a_i \quad (11)$$

Dette gir følgende verdier for de avhengige variable M_i , A_i og D_i :

$$\begin{aligned} E_x=1 \text{ km}, \quad K_x=1 & \implies M_x=1470000, \quad A_x=180, \quad D_x=180 \text{ km} \\ E_y=1 \text{ km}, \quad K_y=1 & \implies M_y=1470000, \quad A_y=120, \quad D_y=120 \text{ km} \\ E_z=10 \text{ m}, \quad K_z=1 & \implies M_z=10 \text{ m}, \quad A_z=256, \quad D_z=2560 \text{ m} \end{aligned}$$

Med den nåværende konfigurasjonen av CROMEMCO-II kan det med andre ord arbeides på områder med en størrelse på 180×120 km i flatemålestokken 1:1470000. De topografiske høydeverdiene kan spenne over et intervall på 2560 m med høydemålestokken 1:10 m. Med en 4 "bits" versjon av a_z ville $D_z=160$ m. Dette er alt for lite for norske forhold. For å få et tilstrekkelig stort z -akseintervall måtte E_z derfor ha vært økt til 160 m, noe som gir en vesentlig dårligere presisjon. Dette er grun-

nen til at det i denne sammenhengen er valgt en 8 "bits" representasjon av az.

Programmet TIDLESZZ som lager en rutenettsrepresentasjon av dateringsverdier for isrecessjonen, kan brukes som et tilsvarende eksempel. Det beregnes en dateringsverdi for hver 10x10-rute. Di er i dette tilfellet en uavhengige variabel ettersom områdestørrelse er gitt og spennvidden på dateringene er gitt som avstanden mellom eldste og yngste datering (f. eks. 3000 år). Ettersom det beregnes en dateringsverdi for hver 10x10-rute på skjermen komprimeres antallet variable. Kx og Ky settes derfor lik 0.1 som uavhengig variabel. Det er fremdeles ønskelig med en entydig representasjon av alle dataene langs z-aksen. Kz settes derfor lik 1 som uavhengig variabel. Ligningene (5), (8) og (9) gir verdien på de avhengige variablene som følger:

$$\begin{aligned} Dx=180 \text{ km,} & \quad Kx=0.1 \quad ==> \quad Mx=1470000, \quad Ax=18, \quad Ex=10 \text{ km} \\ Dy=120 \text{ km,} & \quad Ky=0.1 \quad ==> \quad My=1470000, \quad Ay=12, \quad Ey=10 \text{ km} \\ Dz=3000 \text{ år,} & \quad Kz=1 \quad ==> \quad Mz=11.7 \text{ år,} \quad Az=256, \quad Ez=11.7 \text{ år} \end{aligned}$$

Dette gir som ventet en flateoppløsning på 10 km og en tidsoppløsning på 11.7 år. Med en 4-"bits" versjon av az ville Ez blitt 187 år, noe som er litt for dårlig for den presisjonen det hittil har vært operert med.

Tilfelle der det skal velges maskinutstyr til en bestemt arbeidsoppgave er et mer interessant eksempel. Det er da realistisk å betrakte ei, Di, Ei og Ki som uavhengige variable. Ligningssystemet kan omskrives til:

$$a_i = D_i / (K_i * E_i) \quad (12)$$

$$d_i = (D_i * e_i) / (K_i * E_i) \quad (13)$$

$$M_i = (K_i * E_i) / e_i \quad (14)$$

$$A_i = D_i / E_i \quad (15)$$

Den viktigste avhengige variable er i dette tilfellet ai som alene bestemmer dimensjoneringen av billedlagrene. Av ligningssettet går det fram at ai i sin helhet bestemmes ut fra forholdet i ligning (12). I de tilfeller der Ki settes lik 1, vil forholdet Di / Ei entydig bestemme dimensjonering.

I tabell 1 er størrelsen (L oppgitt i antall bytes) av et billedlager vist som funksjon av Di og Ei. For enkelhets skyld er det antatt at Dx=Dy og Ex=Ey, og det er regnet med hele 2-er potenser av både Di og Ei på en slik måte at:

$$D_i = 2 ** F_i \quad \text{og} \quad E_i = 2 ** G_i \quad (16)$$

I siste linje i tabell 1 er det vist et anslag på målestokkstallet under forutsetning av en middels skjermoppløsningen (0.64 mm).

```
!!=====!!
!! L !      Gi !! 7 ! 8 ! 9 ! 10 ! 11 ! 12 ! 13 !!
!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!
!!      !      Ei !! 128 ! 256 ! 512 ! 1 ! 2 ! 4 ! 8 !!
!! Fi ! Di      !! m ! m ! m ! km ! km ! km ! km !!
!!=====!!=====!!=====!!=====!!=====!!=====!!=====!!
!! 13 !      8 km !!      4K!      1K! 256 ! 64 ! 16 ! 4 ! 1 !!
!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!
!! 14 !     16 km !!     16K!      4K!      1K! 256 ! 64 ! 16 ! 4 !!
!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!
!! 15 !     33 km !!     64K!     16K!      4K!      1K! 256 ! 64 ! 16 !!
!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!
!! 16 !     66 km !!    256K!     64K!     16K!      4K!      1K! 256 ! 64 !!
!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!
!! 17 !    131 km !!      1M! 256K!     64K!     16K!      4K!      1K! 256 !!
!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!
!! 18 !    262 km !!      4M!      1M! 256K!     64K!     16K!      4K!      1K!!
!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!
!! 19 !    524 km !!     16M!      4M!      1M! 256K!     64K!     16K!      4K!!
!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!-----!!
!! 20 !  1049 km !!     64M!     16M!      4M!      1M! 256K!     64K!     16K!!
!!=====!!=====!!=====!!=====!!=====!!=====!!=====!!
!! Mi                !! 0.2M! 0.4M! 0.8M! 1.6M! 3.2M! 6.4M!12.8M!!
!!=====!!
```

Tabell 1: Størrelsen (L) på et billedlager i antall ord ("bytes") vist som funksjon av "aksestørrelsen" Di og "akseoppløsningen" Ei. Det er antatt at $D_x=D_y$ og $E_x=E_y$. Det er regnet med verdier for Di og Ei slik at $D_i = 2^{*}F_i$ og $E_i = 2^{*}G_i$. Siste linje viser målestokkstallet under forutsetning av at skjermoppløsningen er 0.64 mm.

Tabell 1 viser en stor spennvidde i den nødvendig lagerkapasitet. For lagerbehov på under 10K er det ikke nødvendig med egne billedlagre. Det er vel så praktisk å benytte maskinens vanlige primærlager. Lagerbehov på mellom 10K og 100K kan tilfredsstilles med mikromaskinbaserte grafiske systemer. Intervallet mellom 100K og 1M kan tilfredsstilles med grafiske terminaler knyttet til større maskiner, mens lagerbehov over 1M krever store billedbehandlingsanlegg. Det presiseres at tallene angir plassbehovet pr. billedlager, og at det må 2-4 slike billedlagre til for å kunne arbeide på en rasjonell måte.

De erfaringer som hittil er gjort tilsier at en oppløsning på 1 km ofte er for dårlig. Det antas imidlertid at oppløsninger i intervallet fra 250m til 500 m er tilstrekkelig for dette formålet. Et område på 262x262 km er nok for å dekke en stor region, mens et område på 524x524 km er nok for å dekke store deler av Sør-Norge. Av tabell 1 går det fram at behandlingen av slike billeddata krever en rastergrafisk arbeidsstasjon med 3-4 billedlagre hver på ca. 1M. Dette betraktes ennå som et relativt stort anlegg.

```
!!=====!!
!! bz !      Gz !! 0 ! 1 ! 2 ! 3 ! 4 ! 5 ! 6 !!
!!----!-----!!----!-----!-----!-----!-----!-----!!
!!      !      Ez !! 1 ! 2 ! 4 ! 8 ! 16 ! 32 ! 64 !!
!! Fz ! Dz      !! m ! m ! m ! m ! m ! m ! m !!
!!====!=====!!====!=====!!====!=====!!====!=====!!
!! 6 !      64 m !! 6 ! 5 ! 4 ! 3 ! 2 ! 1 ! 0 !!
!!----!-----!!----!-----!-----!-----!-----!-----!!
!! 7 !      128 m !! 7 ! 6 ! 5 ! 4 ! 3 ! 2 ! 1 !!
!!----!-----!!----!-----!-----!-----!-----!-----!!
!! 8 !      256 m !! 8 ! 7 ! 6 ! 5 ! 4 ! 3 ! 2 !!
!!----!-----!!----!-----!-----!-----!-----!-----!!
!! 9 !      512 m !! 9 ! 8 ! 7 ! 6 ! 5 ! 4 ! 3 !!
!!----!-----!!----!-----!-----!-----!-----!-----!!
!! 10 !     1024 m !! 10 ! 9 ! 8 ! 7 ! 6 ! 5 ! 4 !!
!!----!-----!!----!-----!-----!-----!-----!-----!!
!! 11 !     2048 m !! 11 ! 10 ! 9 ! 8 ! 7 ! 6 ! 5 !!
!!----!-----!!----!-----!-----!-----!-----!-----!!
!! 12 !     4096 m !! 12 ! 11 ! 10 ! 9 ! 8 ! 7 ! 6 !!
!!----!-----!!----!-----!-----!-----!-----!-----!!
!! 13 !     8192 m !! 13 ! 12 ! 11 ! 10 ! 9 ! 8 ! 7 !!
!!=====!!
```

Tabell 2: Antall diskrete nivå (az) oppgitt i antall "bits" ordlengde (bz) som skal til for å representere et tema på et billedlager, gitt som funksjon av "spennvidden" (Dz) og "oppløsningen" (Ez) på temaet. Det er regnet med verdier for Di og Ei slik at $D_i = 2^{*F_i}$ og $E_i = 2^{*G_i}$.

Det er laget en tilsvarende tabell for az (tabell 2). Denne tabellen angir ordlengde (bz i antall "bits") som skal til for å kunne representere det ønskede z-intervall.

Tabell 2 viser at verdiene også her spenner over et stort intervall og verdiene kan inndeles i tre klasser. Ordlengder på 1-4 "bits" kan lagres med minimale plassbehov. Etersom mange maskiner ikke opererer med så korte ord, kan det i slike tilfeller være nødvendig å pakke dataene selv for å spare på lagerplassen (L). Intervallet 5-8 "bits" tilfredsstilles av vanlige mikromaskinbaserte systemer, mens ordlengder på over 1 "bits" krever litt større maskiner. Visse avanserte bildebehandlingssystemer tillater vilkårlig konfigurering av billedlagrene for å kunne utnytte plassen optimalt.

De erfaringene som hittil er gjort tilsier at en høydeoppløsning på 10 m og en tidsoppløsning på ca. 10 år ofte ligger innenfor usikkerhetsgrensen for de beregninger som foretas. Av tabell 2 går det fram at 8 "bits" representasjon gir en spennvidde på ca. 2000 m eller ca. 2000 år alt etter hvilket tema som lagres. 8 "bits" representasjon av tema ser derfor ut til å være tilfredsstillende for beregning og presentasjon av paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller.

Det er vanskelig å gi noen entydig konklusjon for hvordan en spesialtilpasset rastergrafisk arbeidsstasjon bør konfigureres for at den skal være nyttig for beregning og presentasjon av paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller. Anlegget må dimensjoneres etter det konkrete behovet som skal dekkes. Det ser imidlertid ut til at en i de fleste tilfeller kommer svært langt med en rastergrafisk arbeidsstasjon med 3-4 billedlagre hver på ca. 1M og med 8-"bits" ordlengde.

PALEOGEOGRAFISKE REKONSTRUKSJONSMODELLER SETT I LYS AV GENERELL INFORMASJONSBEHANDLING

Paleogeografisk rekonstruksjon dreier seg egentlig om foredling av feltinformasjon. Slik foredling er vanlig i mange sammenhenger innenfor kvartærgeologien. Foredlingsprosessen kan framstilles skjematisk i et flytskjema (fig. 1).

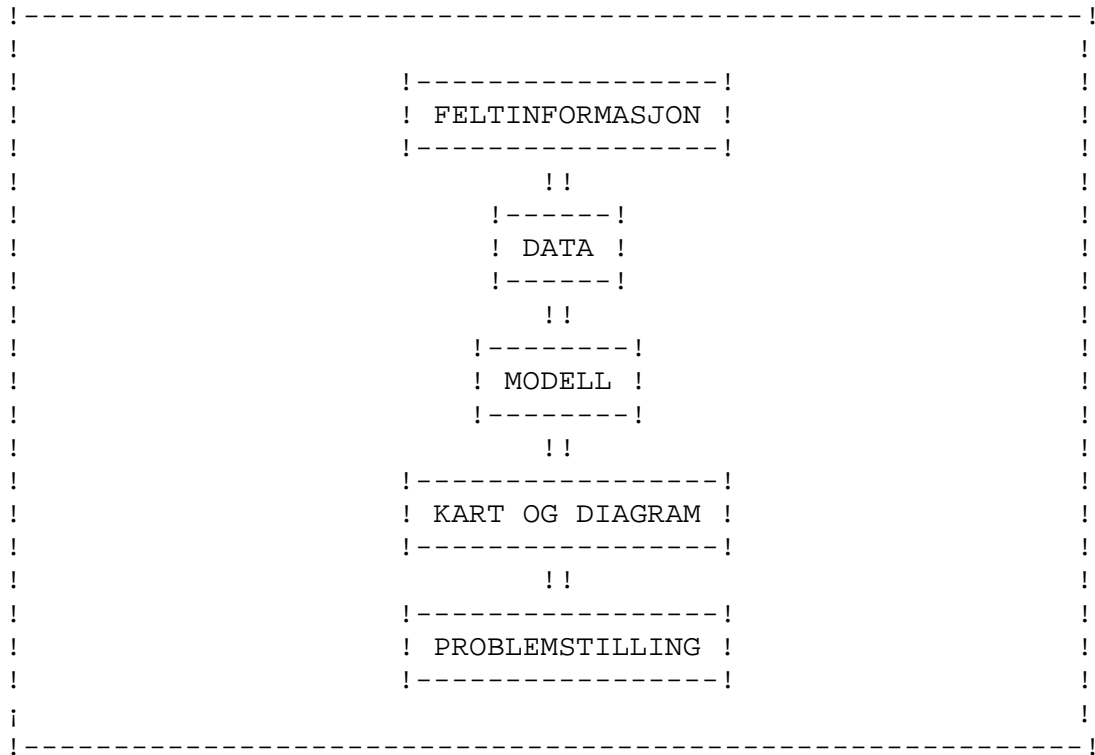


Fig. 1: Foredling av feltinformasjon

I en slik foredlingsprosess er det viktig med flyt begge veier i skjemaet. I dette ligger prinsippet om at det må være en klar gjensidig forbindelse mellom problemstilling og informasjonssanking. En slik gjensidig forbindelse er forholdsvis enkelt å få til ved begrensede problemstillinger og

innenfor små fagområder. Det blir betraktelig mer komplisert hvis problemstillingen og informasjonssankingen er representert ved hver sin fjerntliggende gren av samme fag. Et eksempel på dette er geofysiske problemstillinger som krever biostratigrafisk feltmateriale. Det samme problemet oppstår hvis mengden av feltinformasjon blir så stor at det kreves mer avanserte teknikker for å kunne verifisere problemstillingen. Når slike problem oppstår er det ikke nødvendig at en og samme person behersker hvert enkelt ledd i flyt-skjemaet. Det er imidlertid helt nødvendig at en fagmann på et ledd kan kommunisere med kollegaer i de andre leddene slik at han forstår hovedtrekkene og viktigheten av det som skjer i de andre leddene. Dette fører til to av de viktigste erfaringene som er gjort i løpet av arbeidet med paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller.

For det første må det være en klar harmonisering mellom de enkelte leddene i skjemaet. I det ligger det at hvert nabo-ledd må representere den samme virkeligheten. Dette forholdet er det spesielt viktig hvis flere fagfolk er involvert i de ulike leddene. I det følgende vises noen eksempler fra arbeidet med paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller som illustrerer dette.

Overgangen fra feltinformasjon til data krever at feltinformasjon må kvantifiseres. Harmoniseringen består da i at tallene virkelig representerer det som feltinformasjonen er ment å vise. Det er f. eks viktig at høydeangivelsen på en MG-lokalitet virkelig indikerer det høyeste havnivået på et sted rett etter at isbreen forsvant fra stedet.

Overgangen mellom data og modell krever for det første at kompleksiteten i modellen er tilpasset de dataene som inngår i kalibreringen av modellen. I rekonstruksjonen av havnivå må f. eks. stivheten i de enkelte trendtilpasningene stå i et visst forhold til mengden og karakteren av grunnlagsdataene. For det andre må dataene i modellen være kommensurable. I rekonstruksjonen av havnivå er det f. eks. galt å blande sammen pollendateringer og radiokarbondateringer.

Overgangen mellom modell og grafisk produkt krever at det grafiske produktet virkelig illustrerer det som er modellens resultat. Det grafiske produktet skal tilfredsstillende vise estetiske krav, men ikke slik at det dekker over modellens svakheter og begrensninger. Det er f. eks. galt å presentere et pent paleogeografisk kart alene uten å vise til delresultatene i de andre temakartene og diagrammene, og uten en beskrivelse av hvordan kartet er blitt laget.

I overgangen mellom grafisk produkt og problemstilling er det nødvendig at det grafiske produktet illustrerer den målsettingen som er satt for undersøkelsen. Det er f. eks. uinteressant å lage et paleogeografisk kart hvis målsettingen var å studere mantelens mekaniske egenskaper.

Den viktigste harmoniseringen ligger imidlertid i valget av modell for den problemstillingen som er valgt. Det må velges en metodisk holdbar modell som svarer på de spørsmål som er stilt.

Den andre hovederfaringen som er gjort i løpet av arbeidet med paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller og som dels henger sammen med den første, er at det på alle ledd i prosessen må foretas en kvalitetsvurdering av det som er gjort. På overføring fra et ledd til det neste må det på alt som overføres følge med en kvalitetsreferanse. Et tall er lite verdt hvis det ikke følger med et overslag over usikkerheten i tallet, en påstand er av liten verdi hvis den ikke følges av de premisene som den bygger på, og en illustrasjon er lite verdt hvis det ikke henvises til måten illustrasjonen er kommet fram på. I det følgende vises noen eksempler fra arbeidet med paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller som illustrerer dette.

En del av informasjonene er hentet fra litteraturen. For en del av dataene er usikkerheten tallfestet, mens for andre mangler den helt. Det kan også inngå datatyper der usikkerheten ikke kan tallfestes. I en del tilfeller er derfor usikkerheten angitt i en subjektiv tretrinnskala (artikkel nr. III og IV). I teksten som følger dataene er det i disse tilfellene angitt hva hver klasse innebærer og omtrentlig usikkerhetstall for hver enkelt klasse.

Neste steg i foredlingsprosessen av dataene er modellrepresentasjon. Havnivåmodellen er entydig bestemt av et sett av parametre som angir formen på modellfunksjonen. Kvalitetsangivelsen er i dette tilfellet knyttet til estimeringen av standardavviket. Dette standardavvikmålet kan også uttrykkes ved et sett av parametre.

Siste steg i foredlingen av dataene er den grafiske presentasjonen. Det er her avgjørende at det grafiske bildet følges av en angivelse av kvaliteten hos det som presenteres. En beregnet strandforskyvningskurve fra Hamar (fig. 11 i artikkel nr. III) etter havnivåmodellen i artikkel nr. III viser dette på en utvetydig måte. Selve kurven har uten videre en plausibel form, men usikkerhetsestimatet viser klart at en beregnet strandforskyvningskurve som ligger så langt utenfor undersøkelsesområdet er uten verdi. På samme måte viser dateringslisten over MG-lokaliteter i artikkel nr. IV at usikkerheten i dateringen av enkelte lokaliteter er så stor at dateringen må karakteriseres som verdiløs. En slik datering kan derfor ikke brukes til å tegne et isrecessjonskart over et område.

Utdraget av eksempler fra arbeidet med paleogeografiske modeller illustrerer nødvendigheten av kjennskap til informasjonbehandling når kvartærgeologisk informasjon skal foredles. Det er særlig viktig å ha kjennskap til de problemer som er knyttet til overgangen fra en foredlingsgrad til den

neste. Skal slik foreddlingen ha faglig interesse må det være god kommunikasjon mellom beslektede fagmiljøer. Informasjonsbehandlingen må imidlertid være geologisk målrettet, slik at det hele tiden er klart hva informasjonen skal brukes til. Avslutningsvis er det derfor naturlig å presisere at arbeidet med paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller ikke må betraktes som databehandling, men som et kvartærgeologisk arbeidsredskap.

KONKLUSJON

I paleogeografiske rekonstruksjoner sammenstilles topografi, havnivå og isbre på et bestemt tidspunkt til et topografisk kartbilde.

Havnivået rekonstrueres ved hjelp av beskrivende trendmodeller som representeres matematisk ved hjelp av en trendfunksjon der havnivåhøyden (z) er gitt som en funksjon av variablene tid (t) og rom (x og y). Modellparametrene estimeres på grunnlag av feltdata fra undersøkelsesområdet samtidig som det lages et estimat på usikkerheten i trendtilpasningen. Formen på trendfunksjonen tilpasses strandforskyvningsforløpet og felldataene fra området.

Havnivåmodellen kan også benyttes til datering av isavsmeltingstidspunktet på et sted ved å datere det korresponderende havnivået. Dette havnivået representeres morfologisk ved marin grense på stedet. En samling av slike dateringer kan brukes til å lage en isavsmeltingskronologi for undersøkelsesområdet.

Isbreens overflateform rekonstrueres ved hjelp av en eller annen mekanisk isbremodell. Av mekaniske modeller for breis finnes det mange typer med ulik kompleksitet. Komplekse isbremodeller krever flere og mer nøyaktige randbetingelser enn de mer enkle isbremodellene. Randbetingelsene gjenskapes ved antagelser eller feltinformasjon. For paleoisbreer er det vanskeligere å gjenskape realistiske randbetingelser og det er derfor best å velge enkle isbremodeller. En modell som forutsetter plastisk breis er svært enkel og har vist seg i mange tilfelle å gi tilfredsstillende resultat. Denne modellen er formulert 2-dimensjonalt, men i overgangen fra isbremodell til iskropp kan den bl. a. generaliseres til 3 dimensjoner ved hjelp av en iterativ teknikk som rekonstruerer isoverflaten fra en gitt isfrontposisjon og innover breen.

I rekonstruksjonen av et paleogeografisk kart sammenlignes høyden på terrenget, havnivået og isbreen for alle punkt innenfor området. Sammenligningen bestemmer den paleogeografiske status for punktet, og mange slike punkter danner tilsammen et paleogeografisk kartbilde.

De ulike modellene estimeres og beregnes ved hjelp av en datamaskin, mens de ferdige kartbildene framstilles på datamaskinens grafiske periferiutstyr. De ulike delene av beregningene er delt opp i selvstendige moduler som hver er representert ved et eller flere datamaskinprogrammer. Programmene er implementert på en mikrodatamaskin (CROMEMCO-II) med rastergrafisk periferiutstyr, og en stor datamaskin (DEC-10) med vektorgrafisk periferiutstyr. Det konkluderes med at en arbeidsstasjon med egne billedlagre og rastergrafisk periferiutstyr knyttet til en stor datamaskin hadde vært å foretrekke for dette formålet. Ved hjelp av en slik arbeidsstasjon kan modeller testes og justeres interaktivt med en tilfredsstillende hastighet og med et tilfredsstillende grafisk resultat.

Det er vanskelig å gi noen entydig konklusjon for hvordan en slik rastergrafisk arbeidsstasjon bør se ut for at den skal være optimal for beregning og presentasjon av paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller. Anlegget må dimensjoneres etter det behovet som skal dekkes i hvert enkelt tilfelle. Det ser imidlertid ut til at det i de fleste tilfeller er tilstrekkelig med en rastergrafisk arbeidsstasjon med 3-4 billedlagre hver på ca. 1 Mbyte og med 8-"bits" ordlengde.

Paleogeografisk rekonstruksjon kan ut fra informasjonsbehandling betraktes som en form for foredling av feltinformasjon. I en slik foredlingsprosess er det nyttig å ha kjennskap til de problemer som er knyttet til overgangen fra en foredlingsgrad til den neste. For det første må det være en klar harmonisering mellom de enkelte leddene i overgangen. I det ligger at hvert naboled må representere den samme virkeligheten. For det andre må det på alle ledd i foredlingsprosessen foretas en kvalitetsvurdering av det som er gjort. På overføring fra et ledd til det neste må det alltid følge med en kvalitetsreferanse.

For at dataforedlingen skal ha faglig interesse må det være god kommunikasjon mellom beslektede fagmiljøer. I denne dialogen er det viktig at informasjonsbehandlingen er geofaglig målrettet, slik at det er klart hva informasjonen skal brukes til. På den måten vil dataforedlingen være et nyttig supplement til mer tradisjonelle arbeidsmetoder ved at hver enkelt feltinformasjon settes inn i en større sammenheng. På den måten får hver enkelt informasjon større verdi. Arbeidet med paleogeografiske rekonstruksjonsmodeller må derfor ikke betraktes som databehandling, men som et kvartærgeologisk arbeidsredskap.

REFERANSER

- DEBOOR, C. 1978: A Practical Guide to Splines. Springer-Verlag, New York. 392 pp.
- DRAPER, N. R. & SMITH, L. 1981: Applied regression analysis. 2. ed. Wiley, 709p.
- FREEMAN, H. 1961: On the Encoding of Arbitrary Geometric Figures, IEEE Trans. Elec. Comput. 10, 260-268.
- HUGHES, T. J. 1981: Numerical reconstruction of paleo-ice sheets. In Denton, G. H. & Hughes, T. J. (ed.): The last great ice sheets. Wiley, 221-261.
- IMSL 1982: IMSL Library, Reference Manual, 9. ed. IMSL, Houston.
- KJENSTAD, K. (SOLLID, J. L.) 1980: Hovedflaten (Yngre Dryas' havnivå) som basis for kvartær kronologi. Et metodeforsøk. Cand. real. avhandling, Univ. i Oslo. Upubl.
- OMRE, H. 1979: Flatemodeller: - metoder, - programpakker, - bruksområder. Norsk Regnesentral, Oslo. Publ. nr. 636.
- PATERSON, W. S. B. 1981: Physics of glaciers. 2. ed., Pergamon Press, 380 pp.
- REEH, N. 1982: A plasticity theory approach to steady-state shape of a three-dimensional ice sheet. J. Glaciol. 28, No. 100, 431-455.
- SOLLID, J. L. & KJENSTAD, K. 1980: Hovedflaten (Yngre Dryas' havnivå) som basis for kvartær kronologi. Et metodeforsøk. Norsk geogr. Tidsskr. 34, 93-96.
- STEWART, G. W. 1973: Introduction to matrix Computations. N. Y. Acad. press. 441 pp.
- TORGERSEN, J. E. & ZACHRISEN, M. 1979: SURRENDER - A Sub-routine Package For Rendering Bivariate Surfaces. RUNIT /SINTEF, Report no. STF14 A79020, Trondheim.
- ZACHRISEN, M. 1978: GPGS-F. User's Guide. 3. ed. Tapir, Trondheim.