

## GIS som værktøj til paleomiljø-rekonstruktion

– Et eksempel fra den danske Stenalder i Nordvestsjælland

Niels Skytte Christensen, Geologisk Institut, Geologisk Museum

*Der har ikke været tradition for at benytte GIS programmer ved Geologisk Institut (KU), men i de seneste år har GIS vundet indpas primært blandt studerende, og nu også indenfor forskningen. I forbindelse med projektet 'Transition' finansieret af Carlsbergfonden, er GIS inddraget både som databehandlingsværktøj og egentlig modelleringsværktøj. Til projektet er der udarbejdet en GIS model over havniveauændringernes indvirkning på landskabet, sammenholdt med placeringen af kendte bopladser fra stenalderen. Modellen skal udvikles yderligere og inddrage flere parametre såsom isostasi (jordskorpebevægelse), erosion, aflejring og hydrologi.*

Resultater og data bliver sjældent anvendt i forbindelse med tværfaglige projekter indenfor naturvidenskab. Dette skyldes dels tilgængeligheden/kendskabet til data, men også at resultater fra forskellige discipliner rent teknisk sjældent er nemme at få integreret i undersøgelserne.

Arbejdet med dataintegration kan, specielt indenfor geovidenskab, ofte gøres ved hjælp af GIS (geografiske informations systemer), der tillader både import af egentlige geodata og georeferering af analogt kortmateriale. I GIS kan resultater fra forskellige undersøgelser derved sammenholdes, og i visse tilfælde indgå i fælles geografiske analyser. Det er derved muligt at sammenstille resultater ikke blot fra en fagdisciplin, men også fra andre forskningsområder.

Udviklingen indenfor GIS (specielt ArcGIS 9.x fra ESRI) har betydet, at der er kommet funktionalitet til opbygges af egentlige geomodeller, hvori det er muligt at variere flere forskellige parametre. Det er derved blevet muligt at foretage flere gennem-

løb af komplekse processor evt. med små ændringer fra gang til gang. Der åbnes derved mulighed for at foretage en egentlig modellering, hvor modellen efterhånden tilpasses så den opfylder de kendte data bedst muligt.

Til dette projekt arbejdes der med ændringer i landskabet, primært som funktion af relative havniveauændringer. Desuden sammenholdes landskabet til forskellige tider med oplysninger omkring fund af bopladser fra Stenalderen.

### Datagrundlaget

Det primære datagrundlag for projektet er en DTM (digital terræn model) for området. Til dette formål er valgt KMS' højdemodel i et 25 m grid fra TOP10DK. Denne højdemodel er forbundet med visse usikkerheder og fejl, men kan med forbehold benyttes til formålet (Larsen et al, 2000). Der indgår også andre data i projektet bl.a. generelle vektortemaer fra KMS, AIS, GEUS og data fra Kulturarvsstyrelsen.

Der arbejdes på at integrere tidligere undersøgelser både

indenfor geologi, arkæologi og hydrologi. Mange naturvidenskabelige undersøgelser har geografisk relaterede data og resultater, og der foreligger derfor som ofte enten data eller resultater, der kan importeres eller georefereres. Det primære datagrundlag er af geologisk natur, herunder forskellige geokemiske data fra borekerner, udarbejdede kort og geologiske temaer. Data indenfor arkæologi trækkes primært fra Fund- og Fortidsminde databasen fra Kulturarvsstyrelsen. Denne database indeholder data omkring samtlige registrerede fund i Danmark, herunder sted og datering. Der er på nuværende tidspunkt ikke inddraget hydrologiske data, men det håbes at egentlige hydrologiske modeller for grundvandsændringer kan inkorporeres i modellen.

En af udfordringerne indenfor anvendelse af tid i GIS i dette projekt, er de forskellige typer af dateringer. Ofte indsamles tidsinformation fra en GPS eller det angives som f.eks. dag, måned eller år. Indenfor geologi arbejdes der som regel med tid i hundrede,

tusinde og millioner af år, og med generelle tidsinddelinger der dækker en mere eller mindre veldefineret tidsperiode. Der er som regel også en stor usikkerhed på tiden. I dette projekt er tiden sammenholdt med information om havniveauet indhentet fra forskellige kilder bl.a. Christensen et al (1997). Disse data er sammensat til en tabel/graf over havniveauet i 100 års intervaller startende fra 9000 før vor tids regning til i dag (Figur 1).

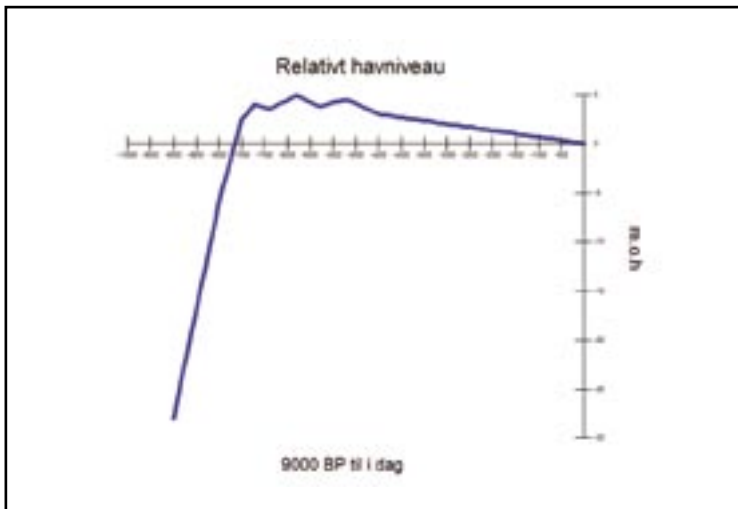
dækkende nordvestsjælland og omegn. Denne DTM bruges derefter som grundlag for havniveaumodelleringen. Der er ikke forsøgt anvendt hydrologiske beregninger på modellen som f.eks. opfyldning af 'sinks' eller beregning af vandskel.

Den eksisterende DTM beskriver landskabet på nuværende tidspunkt. Vi er som bekendt interesseret i landskabet som det så ud i perioden mellem

tidlige versioner af modellen, primært baseret på jordartskortet og borerige fra JUPITER boringsarkivet (GEUS).

### GIS modellen

Modelleringen af tid i GIS har været forbundet med visse problemer, idet systemerne generelt ikke har haft indbygget funktionalitet til behandling af temporale data. Endvidere har det været forbundet med et større arbejde at opstille processeringsmodeller i GIS, der automatisk udførte forskellige sammenhængende analyser på ens datasæt med mulighed for nemt at ændre de involverede parametre. I ArcGIS 9.0 fra ESRI blev der indført et egentlig model værktøj kaldet 'Modelbuilder'. Dette værktøj gør det muligt via et grafisk interface at samle eksisterende værktøjer i en samlet model, og bruge 'output' fra en proces som 'input' til andre. Det er derved muligt at gennemføre modelberegninger, hvor der kan ændres en enkelt eller flere parametre ved hvert gennemløb. Det er endvidere relativt simpelt at udbygge modellerne til at omfatte flere processer og parametre. Ved at eksportere modellen som script, kan modellen gennemløbes flere gange. I næste version af 'Modelbuilder' (ArcGIS 9.2) vil denne 'loop' funktion være indbygget direkte, og det vil således ikke være nødvendigt at bruge scripting miljøet, for at opbygge og udføre denne type modeller. Der vil desuden være mulighed for 2D animation som 'film'



Figur 1. Graf over et relativt havniveau for området. Kurven er kun gældende for nordsjælland, men er her anvendt for hele modelleringsområdet.

### Databehandling

DTM'er (digital terræn model) for henholdsvis de indre danske farvande, under det nuværende havspejl (AIS data) og den nuværende topografi (KMS data) er samlet i et 25 m grid. Eksisterende huller er udfyldt ved en simpel interpolation. Dernæst er der udklippet et område

9000 år før nu til i dag. Det er derfor ønskeligt at genskabe landskabet til en given tid, således at den udførte hydrologiske modellering er korrekt. Dette er dog forbundet med mange problemer, og der er i den første regionale model ikke taget højde for fænomener som erosion og aflejring. Dette vil blive forsøgt i frem-

og understøttelse af NetCDF raster formatet (<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>). NetCDF er meget udbredt indenfor f.eks. klimatisk modellering, idet det understøtter muligheden for at lagre egentlige tidsserier af rasterdata.

Der er opbygget en forholdsvis simpel model for at afprøve funktionerne og se den primære interaktion mellem havniveauændringer og landskabet. Modellen udregner et grid, der repræsenterer det område, der ville blive oversvømmet, hvis havniveauet steg en given værdi. Dette grid bruges derefter til at trække værdier ud fra den eksisterende højdemodel, hvorefter der fås et nyt grid repræsenterende havets udbredelse og dybde til det valgte tidspunkt (Figur 2).

Denne model er derefter eksporteret fra ArcGis som et Python script, hvorefter der er tilføjet funktionalitet til at gennemkøre modellen med input fra tabellen over det relative havniveau. Modellen genererer derved et grid for hvert enkelt tidsskridt, og der udregnes desuden en simpel statistik for de enkelte grids, således at der kan udregnes areal og volumenforøgelse af havet for hvert enkelt tidsskridt. Disse grids vises sammen med den eksisterende højdemodel og kan eksporteres som JPEG filer, der derefter sammensættes til en animation.

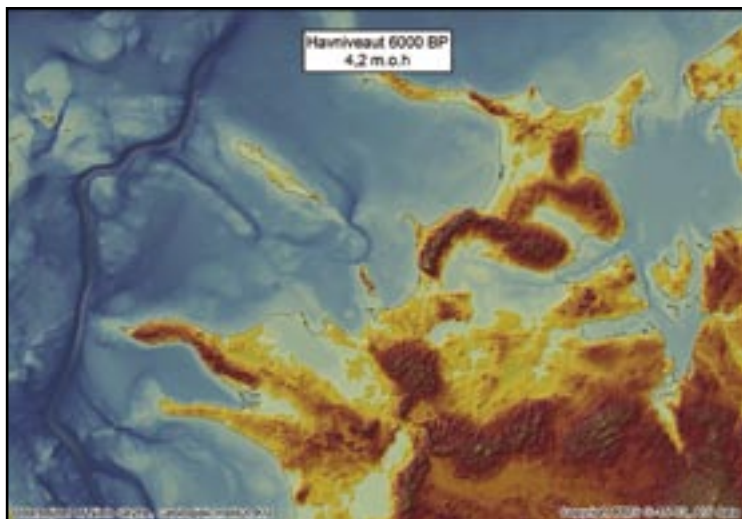
Den nuværende model giver altså en simpel havniveauøgning, hvor størrelsen på havniveauændringen til en given tid er den eneste variabel. Fremtidige modeller skal inkludere flere variable, her-

under erosion, aflejring og jordskorpebevægelser (isostasi) samt forhåbentlig hydrologiske parametre som f.eks. grundvandsspejlet og dannelsen af vådområder.

### Feltlokaliteter og GIS modellen

I forbindelse med et igangværende forskningsprojekt finansieret af Carlsbergfonden ('Transition' projektet), er der blandt andet undersøgt to lokaliteter, Tengslemark og Dragsholm, i Nordvestsjælland. Disse lokaliteter har begge været influeret af marine forhold i stenalderen, og der er begge steder udført forskellige typer af sedimentologiske og geokemiske analyser. Der findes blandt andet oplysninger om tidspunktet for den marine indflydelse, hvilket gør lokaliteterne egnede til at undersøge validiteten af modellen. Der er mange usikkerheder ved både modellen og datagrundlaget, men det antages at der selv på dette grundlag burde være en vis overensstemmelse mellem modellen og de observerede data i feltet.

Modellen kan dels bruges som et godt visualiseringsværktøj, men også til identifikation af tærskler i landskabet og gengivelsen af kystlinjeændringer. Tærsklerne kan hjælpe til at udpege de områder, hvor der kan foretages yderligere feltundersøgelser med henblik på undersøgelsen af marine forhold. Modellen bruges derved til at forudsige hvor vi skal foretage



Figur 2. Udsnit fra modellen der viser havniveauet til 6000 BP. Store dele af landet er oversvømmet, og kystlinjen er forlænget betydeligt. Den oprindelige kystlinje er vist med sort.

vores undersøgelser, samtidig med at den bruges til at foretage en egentlig modellering af landskab og havniveau..

### Dragsholm

Mellem Lammefjorden og Sejerø bugten ligger Dragsholm slot. Umiddelbart syd for slottet er der fundet en gravhøj med 3 skeletter fra stenalderen. I forbindelse med undersøgelserne af disse grave og et forsøg på at lokalisere en evt. boplads, blev geologien i området beskrevet. Det viste sig at der har været kraftige strømforhold i området, og at der er evidens for mindst tre transgressioner (relative havniveau-stigninger) i området (Noe-Nygaard, pers.kom.). Dette synes måske ikke umiddelbart naturligt når man ser landskabet i dag, men når havniveau modellen for området anvendes, ser man tydeligt, at der har hersket marine forhold (Figur 3). Ved gennemløb af modellen ses det, at der har været marine forhold gennem længere tid, og at der givetvis har været en kraftig gennemstrømning mellem Lammefjorden og Sejerø bugten.

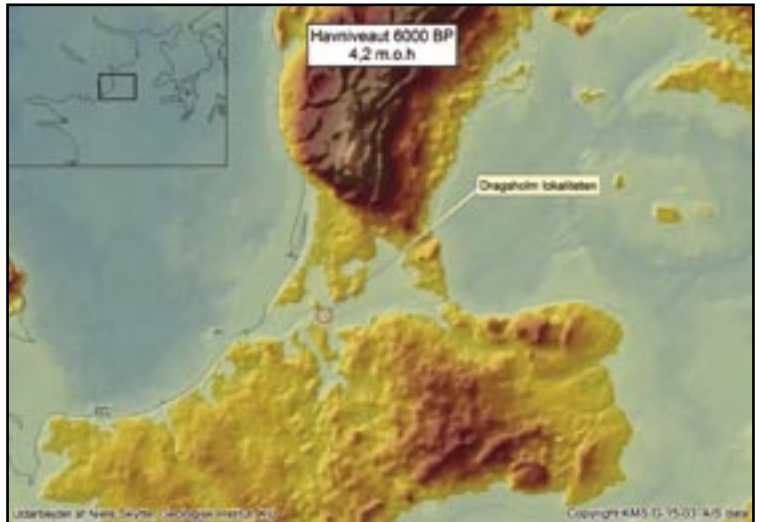
### Tengslemark

I den nordvestlige del af Sjælland nord for Højby ligger der en mindre sø ved Tengslemark, hvori der er fundet spor efter 3 marine transgressioner. Denne sø ligger forholdsvis langt fra den nuværende kystlinje, men det ses ud fra højdemodellen at der ligger et større fladt plateau nord

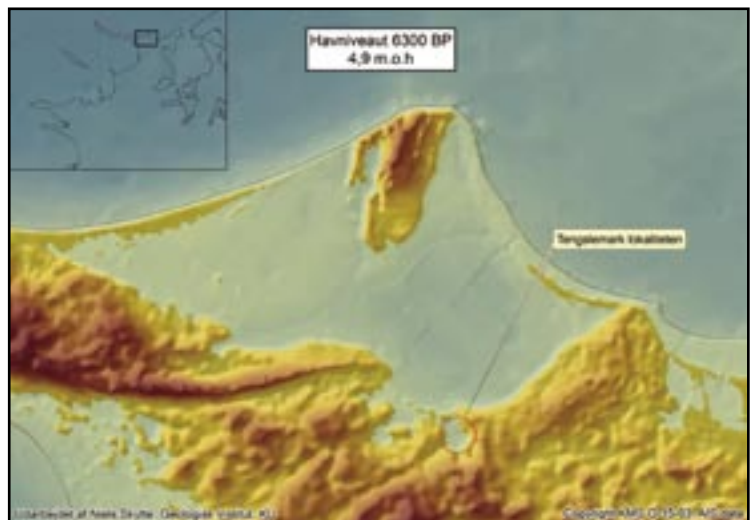
for området. Ud fra modellen kan det tydeligt ses hvorledes havet relativt hurtig oversvømmer plateauet, men der er kun en enkelt oversvøm-

melse i selve søen i 6300 BP (Figur 4).

Sedimentologien og de geokemiske analyser viser minimum tre marine indslag. Det



Figur 3. Der har for 6000 BP været marine forhold i området mellem Sejerøbugten og Lammefjorden. I dag ses der i aflejringerne tydelig evidens for kraftige strømforhold, hvilket kan tilskrives relative havniveau-stigninger fra stenalderen.



Figur 4. Området ved Tengslemark til tiden 6300 BP. Dette er det eneste tidspunkt i modellen, hvor selve søen bliver oversvømmet.

er derfor tydeligt, at enten modellen eller datagrundlaget ikke er tilstrækkelig. På baggrund af jordartskortet fra GEUS ses det, at der eksisterer strandvoldsaflejringer umiddelbart nord for søen. Dette må formodes at være aflejret i forbindelse med de marine indslag fra stenalderen. Disse strandvolde bør derfor 'fjernes' for at opnå en mere korrekt modellering.

### Beboelsesmønstre i stenalderen

Der findes mange tegn på, at der skete et klart kulturskift ved overgangen fra Ertebøllekulturen til Tragtbægerkulturen (Jørgensen, 2004). Dette kulturskifte var overgangen fra jægerkultur til agerkultur, der betød et skift i beboelsesmønstret fra at være udpræget kystorienteret til at være mere indlandsbetonet.

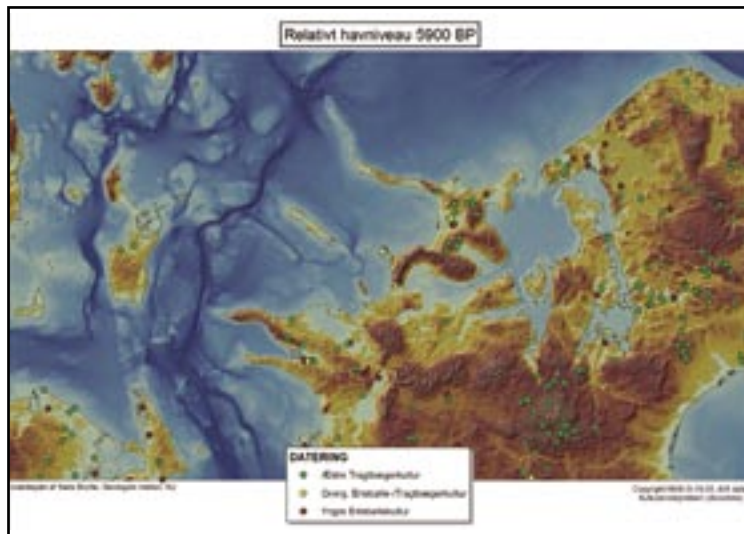
Dette er undersøgt nærmere i GIS modellen for at se om landskabet og bopladsplaceringerne i denne periode viser et skift fra kyst til indlands beboelse (Figur 5). Selvom der findes mange fund klassificeret som bopladser, er mange af disse 'løs-fund' (f.eks. et enkelt potteskår eller et redskab), og kan derfor ikke med sikkerhed angives som bopladser. I forbindelse med 'Transition' projektet vil der blive inddraget arkæologisk ekspertise, hvilket blandt andet skal hjælpe med til at stedfæste og tidsfæste de aktuelle fund.

### Modelleringsproblematikker

Selve modelleringen af de enkelte trin er forholdsvis simpel. De næste variabler, der ønskes indført, er også forholdsvis simple at indføre så-

fremt størrelsen er kendt, hvilket den dog ofte ikke vil være. Erosion og aflejring kan estimeres ud fra kendte aflejringsrater i lignende miljøer, og der kan således angives et estimat for størrelsen af disse fænomener gennem tid. En første approksimation opnås ved at undersøge jordartskortet fra GEUS i 1:25.000 og identificere områder med relation til det marine miljø. Dernæst undersøges området for boringer i JUPITER borningsarkivet, der kan hjælpe med at identificere tykkelsen af aflejringerne. På den måde kan området 'genskabes' til tiden før området blev oversvømmet. Der er mange usikkerheder forbundet med denne metode, og et stort problem er manglen af boringer indenfor mange af de marine aflejringer. Indenfor disse områder må tykkelsen estimeres ud fra aflejringsrater, hvilket er behæftet med en meget stor usikkerhed.

Modellering af isostasi der både er sted- og tidsafhængigt er meget kompleks, og er ikke tidligere udført på denne skala. Isostasien er resultatet af aflastningen af jordskorpene efter afsmeltningen af iskappen fra sidste istid. Jorden hæver sig med forskellig hastighed afhængigt af jordens egenskaber og tidspunktet for afsmeltningen. Generelt er der en tendens til at nordøstlige områder i Danmark har hævet sig mere end de sydøstlige. Størrelsen på denne isostasi er derfor afhængig af hvor i Danmark





man befinder sig. Indenfor et lille område kan isostasi- en antages at være konstant, men det i modellen benyttede område er for stort til denne antagelse. Den nuværende model antager alligevel at den benyttede relative havniveaukurve, der netop er en funktion af samspillet mellem isostasi og global havniveaustigning, er gældende for hele området. Dette gøres fordi det endnu ikke er lykkedes at modellere den isostatisk effekt.

En modellering af isostasi- en kunne tænkes at foregå ved at udregne en flade for hvert enkelt tidsskridt, der beskriver størrelsen på isostasien. Sådanne grids kunne påføres den eksisterende højdemodel, hvorefter havniveaustigningen i modellen skulle påføres i form af den eustatiske model (globale vandstand). Udfordringen i modellen er altså modelleringen af dette isostatisk tidsgrid. Datagrundlaget vil være et antal punkter med højde over nuværende havniveau til forskellige tider. Udregningen af en flade ud fra disse parametre vil indbefatte en vægtning af datapunkterne afhængigt både af tid og sted (xyzt). Der er en forholdsvis stor usikkerhed på z komponenten, og i mange tilfælde vil dateringen (t) enten være ikke eksisterende eller også påhæftet med stor usikkerhed. Det vil derfor være en stor udfordring at udføre en tilfredsstillende beregning af disse grids.

En løsning på problemet kunne være udnyttelsen af inversmodellering også kaldet Monte Carlo inversion. En Monte Carlo inversion fungerer ved at afprøve mange forskellige kombinationer af modelparametre, og derefter fremkomme med en sandsynlighedsfordeling af de benyttede modelparametre. Sandsynlighedsfordeling beskriver således den mest sandsynlige model, der beskriver det observerede datasæt. I praksis vil dette betyde at der afprøves tusindevis af modeller for isostasien, hvorefter den mest sandsynlige model udvælges og benyttes. Denne type modellering kan udføres i f.eks. Math lap og inkorporeres i GIS modellen. Dette vil dog sætte betydelige krav til regnekraft, idet et simpelt model gennemløb på en standard PC tager omkring 2-3 timer. En inversmodellering vil som nævnt kræve tusindvis af gennemløb, ofte 20-30.000, hvilket vil kræve at beregningerne udføres på en form for distribueret computer opsætning, og at de eksisterende beregninger optimeres yderligere.

#### Videre udvikling

GIS modellen foreligger kun i en første version, og der planlægges som tidligere nævnt at indføre flere parametre i modellen. Der arbejdes på at få kortlagt de marine aflejringer i området således at de kan fjernes i den nuværende højdemodel. For at kunne modellere indvirkningen af havniveaustigningerne på landskabet korrekt, vil det

også være nødvendigt at inddrage egentlige hydrologiske parametre i modellen. Dette kan sammen med identifikationen af tærskler hjælpe til at udpege fremtidige feltlokalteter.

Slutresultatet kunne blive en særskilt GIS applikation, der kan vise forskellige modeller for området, og vise sammenhængen mellem undersøgelser fra feltlokalteter, arkæologiske fund og havniveauet. Det kunne også tænkes at applikationen indeholdt funktionalitet til at tilpasse modellen til nye data i takt med at de bliver indsamlet.

#### Konklusion

GIS har længe været brugt indenfor databehandling, og i nogle tilfælde også som modelleringsværktøj. Med indførelsen af værktøjer som f.eks. 'Modelbuilder' til ArcGIS 9.x er det nu muligt relativt nemt at opstille både simple og avancerede modeller uden specielt kendskab til programmering.

Den opstillede GIS model har vist sig nyttig til at opnå forståelse mellem interaktionen af landskabet og et svingende havniveau. Der er dog et stykke vej endnu før modellen beskriver feltobservationerne tilstrækkeligt, men fremtidige modeller med flere parametre og evt. et bedre datagrundlag forventes at give bedre resultater.

Til dette projekt har en model for havniveausvingninger vist sig relativt nem at opstille, og de største problemer grunder

i tilgængeligheden af data og ikke i selve modelleringsmetoden. Den fremsatte model skal udbygges yderligere med flere parametre, og der skal tilføjes en højere grad af interaktivitet i modelleringen. Generelt må det siges at GIS er et vigtigt værktøj til data-behandling, modellering og visualisering indenfor geovidenskaberne.

### Referencer

Christensen, C., Fischer, A., Mathiassen, D.R. 1997: Den store havstigning i Storebælt. I Pedersen, Fischer, A. & Aaby, B. (red.), Storebælt i 10.000 år. A/S Storebæltsforbindelsen, 45-54.

Jensen J. (2004) : Danmarks oldtid bd. 1 13000-4000 f.kr. Gyldendal, 624 sider.

Larsen, J.N., Balstrøm, T. & Jaco-

bi, O. (2000) : *Towards a second generation elevation model for Denmark*. Geografisk Tidsskrift/Danish. Journal of Geography, 99:

### Forfatter

Niels Skytte Christensen, GIS koordinator, Geologisk Institut og Geologisk Museum, København. Tidligere ansættelse: GIS administrator, Geologisk Institut, København.

Uddannelse: Cand. Scient. i Geologi, med speciale i GIS.

Det primære arbejdsområde er oprettelsen af Geocenter København's fælles GIS-database. Varetager også GIS undervisning af medarbejdere ved Geologisk Museum og Geologisk Institut, samt bidrager til den normale undervisning i det omfang hvor GIS inddrages. Han indgår desuden i en mindre forskningsgruppe omkring paleomiljø-rekonstruktion, specielt med henblik på havniveauændringer siden sidste istid samt dataintegration i GIS af forskningsresultater fra forskellige discipliner.