

# Geologisk modellering

I disse år arbejdes der intenst på at samle brikkerne i et geologisk puslespil over den danske undergrund. Der opbygges et 3D modelunivers med viden om grundvandsreserverne og deres beskyttelse. Modellørerne arbejder med fælles spilleregler og benytter samme computerprogram. Det geologiske puslespil skal gå op på tværs af kortlægningsområdegrænser og sidste brik skal være på plads i 2015.

LISBETH ULSØE LAURITSEN &  
FLEMMING JØRGENSEN

## Hvorfor opstille geologiske modeller?

Undervejs i grundvandskortlægningen opbygges geologiske modeller over kortlægningsområdet. Modellerne har flere formål.

En af de ting geologiske modeller benyttes til er fremstilling af kort over udbredelsen af grundvandsforekomster. Grundvandsforekomster skal forstås som større sammenhængende områder med geologiske vandførende lag, typisk sand, grus og kalk. Udbredelsen af grundvandsforekomster er et tema, der vises i den afsluttende rapport - færdiggørelsesrapporten.

I færdiggørelsesrapporten vises også "lertykkelser over grundvandsforekomster", et tema der ligeledes er baseret på udtræk fra de geologiske modeller. Jo mere ler, der ligger over en grundvandsforekomst, des bedre forventer man generelt, at forekomsten er beskyttet mod nedsivende forurening. Oplysning-

ger om grundvandsforekomster og lertykkelser inddrages aktivt i udpegnings af nitratsfølsomme indvindingsområder.

Et tredje vigtigt formål med de geologiske modeller er, at de udgør selve fundamentet for det videre arbejde i grundvandsmodelleringen. De geologiske modeller er via grundvandsmodellerne med til at sikre udpegnings af indvindingsområder for vandværker og udpegnings af områder med stor grundvandsdannelse.

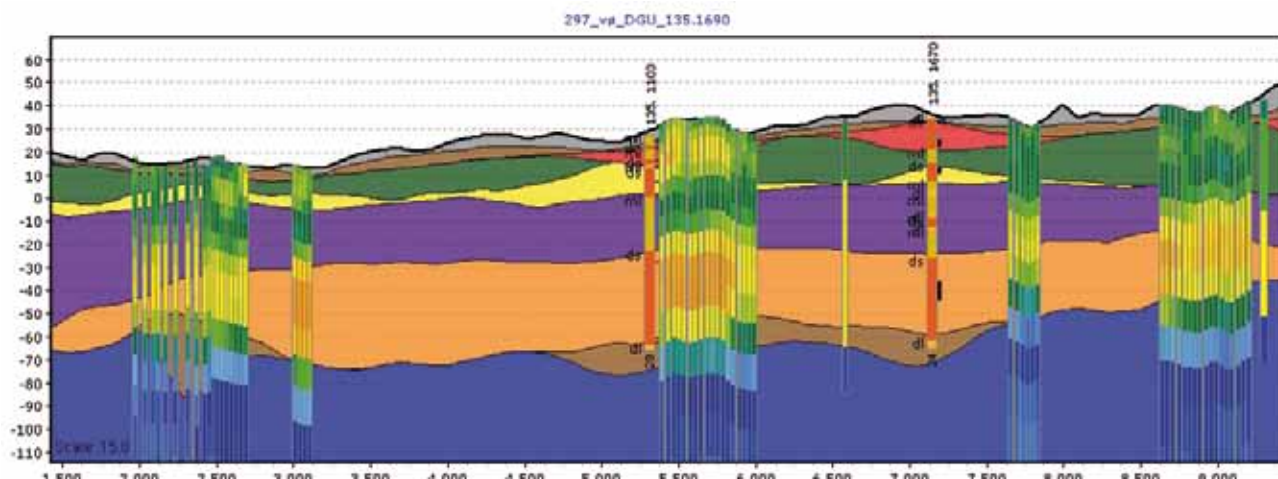
De geologiske modeller, skal dog også ses som et produkt i sig selv. Det er et opslagsværk, der giver overblik og forståelse for sammenhængen mellem data og undersøgelser i kortlægningsområdet. Grundvandsforekomsterne ændrer sig ikke over tid og modellerne kan derfor anvendes langt ud i fremtiden.

## Udvikling af fælles modelkoncept.

Geologisk modellering blev startet op af amterne. Der var stor erfaringsudveksling med hvordan tolkningerne skulle udføres, og der blev anvendt forskellige tolkningsprogrammer.

Miljøministeriet ønskede efter overtagelsen af grundvandskortlægningen i 2007 en fælles tilgang til opstilling af geologiske modeller. GEUS fik til opgave sammen med repræsentanter fra Miljøministeriet og geologer fra rådgivende firmaer at udfærdige en vejledning i opstilling af geologiske modeller. GEO-VEJLEDNING 3 "Opstilling af geologiske modeller til grundvandsmodellering" udkom i 2008 /1/.

I 2009 blev det besluttet, at man i grundvandskortlægningen skulle benytte programmet GeoScene3D som værktøj til opstilling og tolkning af geologiske modeller. GeoScene3D var god til at håndtere de enorme datamængder, som de nye SkyTEM kortlægninger bidrog med. GeoScene3D er udviklet af firmaet I•GIS til tolkning, visualisering og formidling af geodata. Programmet er udviklet til danske forhold og er opbygget, så det er kompatibelt med boringsdatabasen Jupiter og geofysikdatabasen GERDA, og så kan indlæse kort og grids fra geofysikprogrammet Workbench. Det har også den fordel at det kan indlæse kort fra GIS-programmerne MapInfo som ArcGIS.



Figur 1. Tværsnit fra en hydrostratigrafisk model. I områder, hvor den geologiske opbygning ikke er lagdelt, kan man lade lag tynde ud og have en afgrænset udbredelse. På profilet ses også datagrundlaget for modeltolkningerne: SkyTEM sonderinger samt borer.

**Boks 1 Lagmodeller og voxelmodeller**

**Lagmodel:** Her tolkes med lag. Typisk vil man have op til 9-11 lag som de øverste hundrede meter af jorden deles ind i. Det betyder, at der i modellen kan være op til 4-5 vandførende lag og tilsvarende antal svært gennemtrængelige lerlag. Grænserne mellem vandførende og vandstandsende lag tegnes ofte skarpt op.

**Voxelmodel:** Her opdeles rummet i et regulært grid af små kasser - såkaldte "voxler". Man kan tildele en gruppe voxler samme geologiske eller hydrologiske egenskab eller lade egenskaben gradvis ændre sig. Voxel-modellering er velegnet i områder som ikke er tilnærmelsesvist lagdelte, f.eks. i områder med begravede dale eller kraftige forstyrrelser.

**Indsamling af eksisterende viden til den geologiske model**

Det er blevet almen praksis tidligt i kortlægningsforløbet at samle data og viden fra kortlægningsområdet ind i et tredimensionelt projekt i GeoScene3D. I programmet præsenteres det i en geografisk sammenhæng.

Boringer fra den nationale boringsdatabase JUPITER hentes ind i det digitale modelprojekt. Boringerne vises som stave, med vekslende farver, hvor hver farve symboliserer en jordart (se Figur 1). Med boringer følger også oplysninger om filterniveau (sort firkant), og det er muligt at visualisere vandspejlsniveau (sort trekant) og eventuelle vandkemiprøver ud for de enkelte boringer.

Resultater fra tidligere geofysiske undersøgelser udført i området kan indlæses i projektet. Der kan eksempelvis være tolkninger fra ældre geoelektriske undersøgelser, der har været udført i forbindelse fra råstofkortlægning eller forureningsundersøgelser.

I GeoScene3D kan geofysikresultater vises på forskellig vis. For nogle typer af geofysiske undersøgelser, f.eks. SkyTEM (se anden artikel i dette blad) vises resultaterne af de elektriske undersøgelser som lodrette stave (se Figur 1 og 3) med lag af forskellige farver, hvor hver farve præsenterer en målt elektrisk modstand. I programmet kan man interpolere

sine data til kontinuerte 3D-grids, så hele modelrummet under jordoverfladen bliver dækket (se Figur 3b).

I projektrummet indlæses en terrænmodel, der angiver beliggenheden af jordoverfladen. Ofte indlæses også andre relevante kort. Eksempelvis kan GEUS' s jordartskort, der viser jordarten i en meters dybde, hentes ind som en flade der følger terrænoverfladen.

I GeoScene3D kan man se på jordens opbygning fra flere sider, og bevæge sig frit rundt i modelrummet, men ofte vælger man at se på området via udvalgte tværsnitprofiler eller fra oven. Hvis man vælger at se på området fra oven kan der fokuseres på terrænoverfladen eller på geologien i bestemte koter.

På baggrund af den eksisterende viden, vil der ofte i forbindelse med opstart af kortlægningen i et område, blive udarbejdet en slags forståelsesmodel skrevet i ord. Her kan profiler fra GeoScene3D projektet indgå som en visualisering af forståelsesmodellen.

Samlingen og præsentationen af eksisterende data i et fælles projektrum tidligt i kortlægningsforløbet er med til at synliggøre, hvor i området, der er behov for mere dataindsamling. Projektrummet kan være det oplagte værksted for planlægning af omfanget af Trin 2 kortlægninger. Eksempelvis til afgrænsning af supplerende geofysikundersøgelser eller

det kan bruges til udvælgelse af boringer, der ønskes udtaget vandprøver fra til bestemmelse af grundvandskemi.

**Opbygningen af den geologiske model med nye kortlægningsdata**

Når overordnede tolkninger af data er klar, er det normalt tid for opstart af den egentlige geologiske modellering af området. Oftest er modelleringsarbejdet udbudt til konsulentfirmaer, som i samråd med Naturstyrelsen udfører tolkningsopgaven.

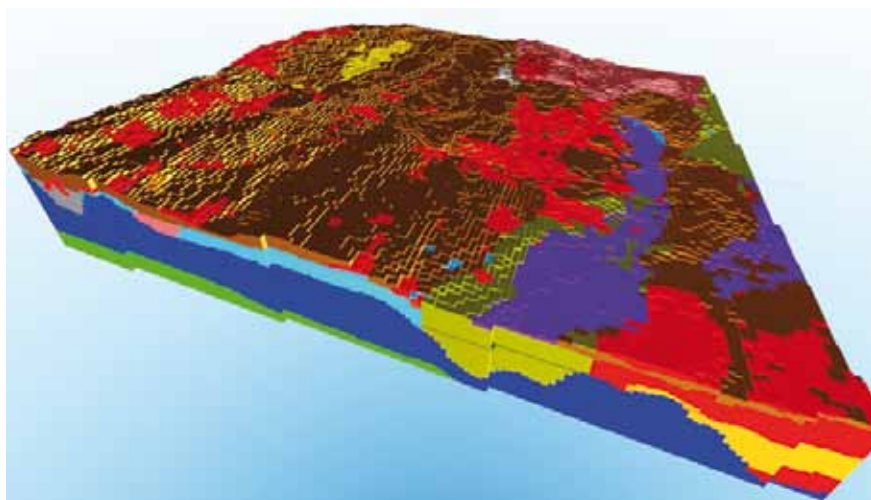
Inden for geologisk modellering findes to fremgangsmåder: modellering med lag og modellering med voxler (se Boks 1 og Figur 1 og 2). Der er fordele og ulemper med begge metoder. Naturstyrelsen har valgt at grundvandskortlægningen primært skal udføres som lagmodellering.

Geologisk tolkning er en lang arbejdsproces, som kræver overblik. Når man tolker geologien med lag, er det vigtigt tidligt i forløbet, at danne sig et overblik over lagene i området, og hvordan jordlagene er tolket og indlagt i naboområdets model. Når tolkningsarbejdet er færdigt skal man eksempelvis nødtigt stå i den situation, at man har placeret et gennemgående sandlag i 5. lag fra oven, mens det samme lag i en nabokortlægning er lagt ind i 7. lag. Den geologiske tolkning ønskes udført sømløst, således at det ikke efterfølgende af modellerne kan ses, hvor kortlægningsområderne grænser op til hinanden.

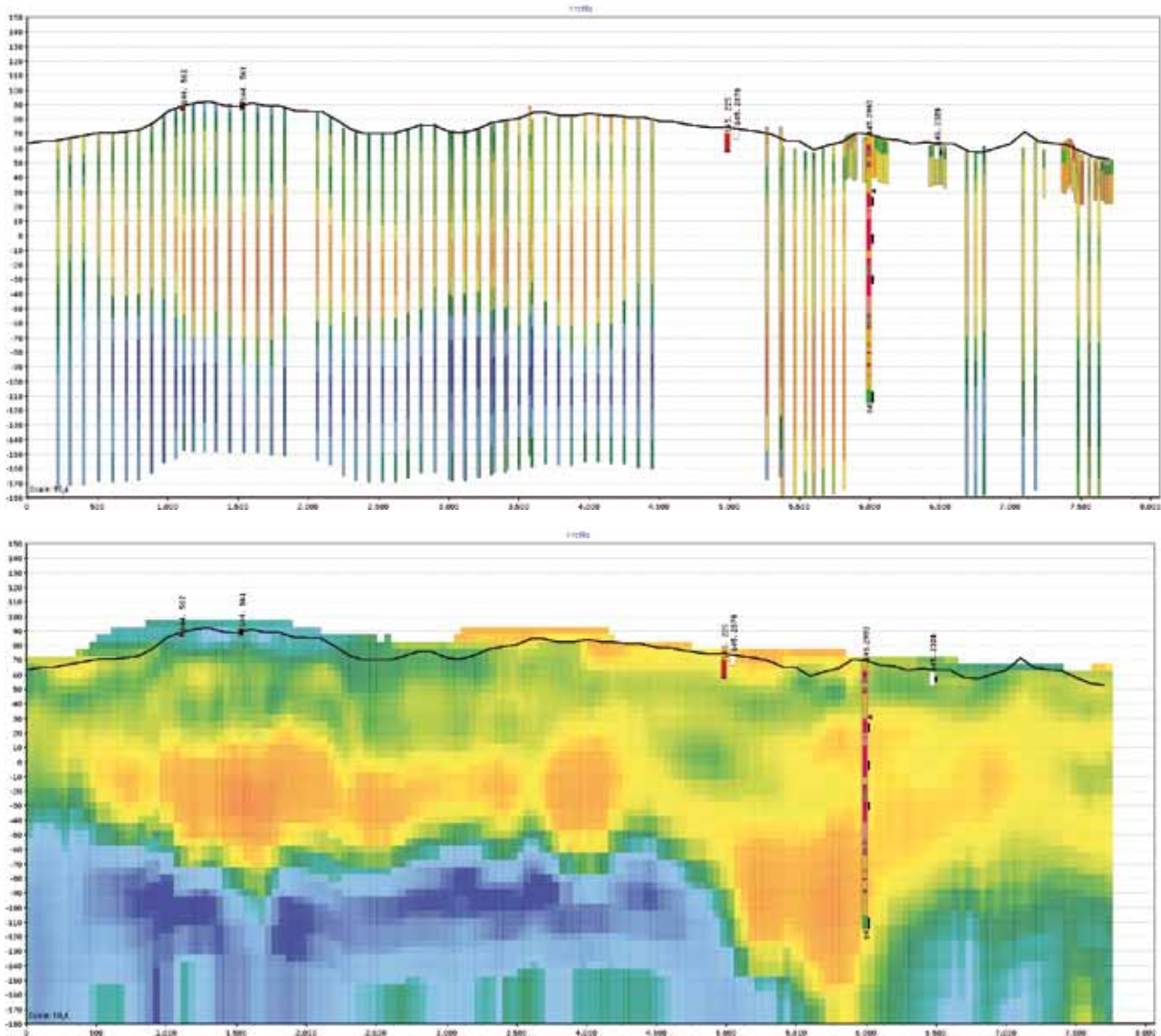
Selve modelleringsarbejdet foregår typisk ved, at man gennem området trækker et profil der går gennem mange boringer og geofysiktolkninger. På profilet indsættes tolkningspunkter langs de laggrænser man ønsker at modellere. Efter punktet er afsat, skal det tilføjes en tolkningsusikkerhed. Det skal være muligt efterfølgende at få visualiseret, i hvilke områder modellaget er veldokumenteret og i hvilke områder modellen er mere usikker. Tolkningsarbejdet fortsættes ved at tegne tolkningspunkter ind på nye nærliggende profiler således, at laggrænserne bliver rumligt sammenhængende.

I projekterne starter tolkningen op med en såkaldt "Rumlig geologisk model". Det er en model hvor der kun tolkes i de områder, hvor man har et relativt sikkert datagrundlag. I den rumlige geologiske model skelnes der mellem lag, hvis de har forskellig geologisk oprindelse, også selv om de i deres fysiske sammensætning er ens og dermed kan have samme hydrauliske egenskaber.

Til det videre brug i grundvandsmodellen skal der udarbejdes en model, som dækker hele området. Det er den såkaldte "hydrostratigrafiske model". Her skal områder med spar-



**Figur 2.** 3D billede af en voxelmodel. Voxelmodellering er velegnet i områder, hvor den geologiske opbygning er kompleks og ikke består af gennemgående lag.



**Figur 3a.** Tværsnitsprofil med SkyTEM som farvelagte stave. Den dybe boring er en kortlægningsboring. Hvor boringen viser en detaljeret opløsning med ca. 20 jordlag kan geofysikken kun opløse større strukturer. Ud fra de elektriske modstande forventer man typisk, at de grønne farver afspejler moræneler, de rødgule sand, mens de blå farver svarer til fed ler eller kalk med saltholdig grundvand.

**Figur 3b.** SkyTEM data interpoleret til 3D grid.

som datadækning også tolkes. Her indsættes tolkningspunkter, med en høj tildelt tolkningsusikkerhed.

Lagene i den hydrostratigrafiske model skal afspejle grundvandets hydrauliske strømningsveje og her afsættes tolkningspunkter typisk

### Boks 2 Modeldatabasen

Modeldatabasen er en fælles offentlig data til lagring af geologiske modeller. Den bestyres af GEUS Modeldatabasen kan tilgås fra internettet og rummer følgende modeltyper:

- Geologiske forståelsesmodeller
- Rumlige geologiske modeller
- Hydrostratigrafiske modeller
- Lagmodeller for grundvandsforekomster udviklet til lagring
- Grundvandsmodeller som Zip-filer

svarende til større regionale vandførende lag. Se figur 3, hvor der er vist tværprofiler med henholdsvis geologiske og hydrostratigrafiske lagtolkninger.

I visse kortlægningsområder vælger man kun at lade opstille en hydrostratigrafisk model og springe mellemløbet, den rumlige geologiske model, over.

Efter endt arbejde vil tolkningspunkter og lagflader blive indrapporteret til Modeldatabasen på GEUS. Se Boks 2

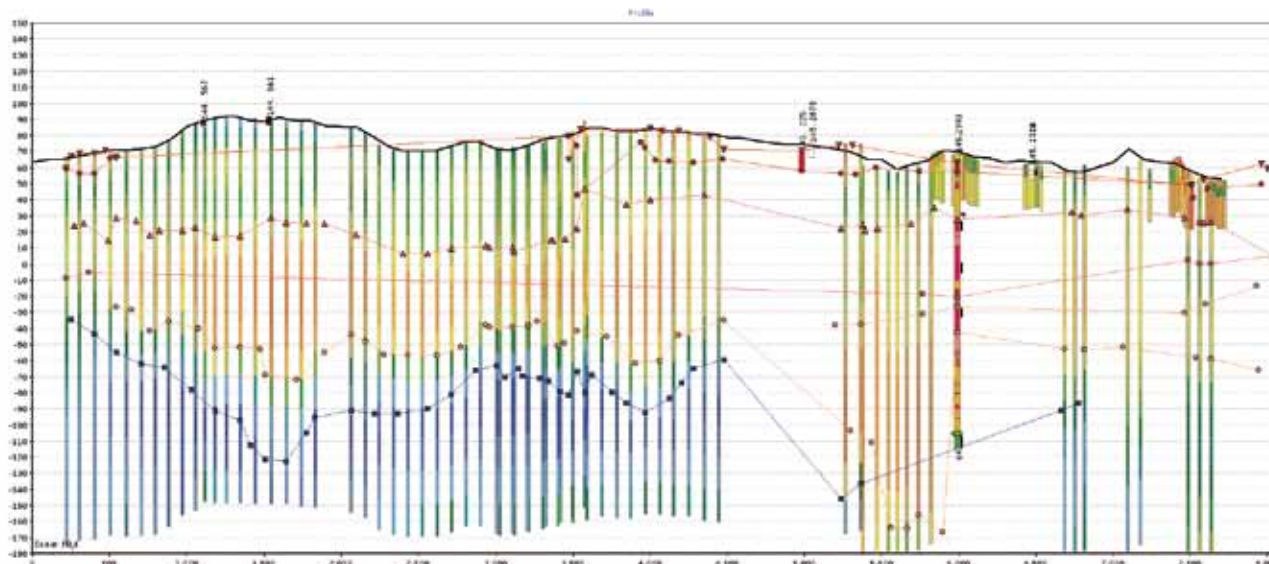
### Geologisk model udleveres til kommunen

Når Naturstyrelsen afslutter et grundvandskortlægning i et område og afleverer resultaterne til kommunen, vil der normalt følge en geologisk model med for området. Der afleveres typisk et samlet digitalt projekt, der kan indlæses og arbejdes videre med i program-

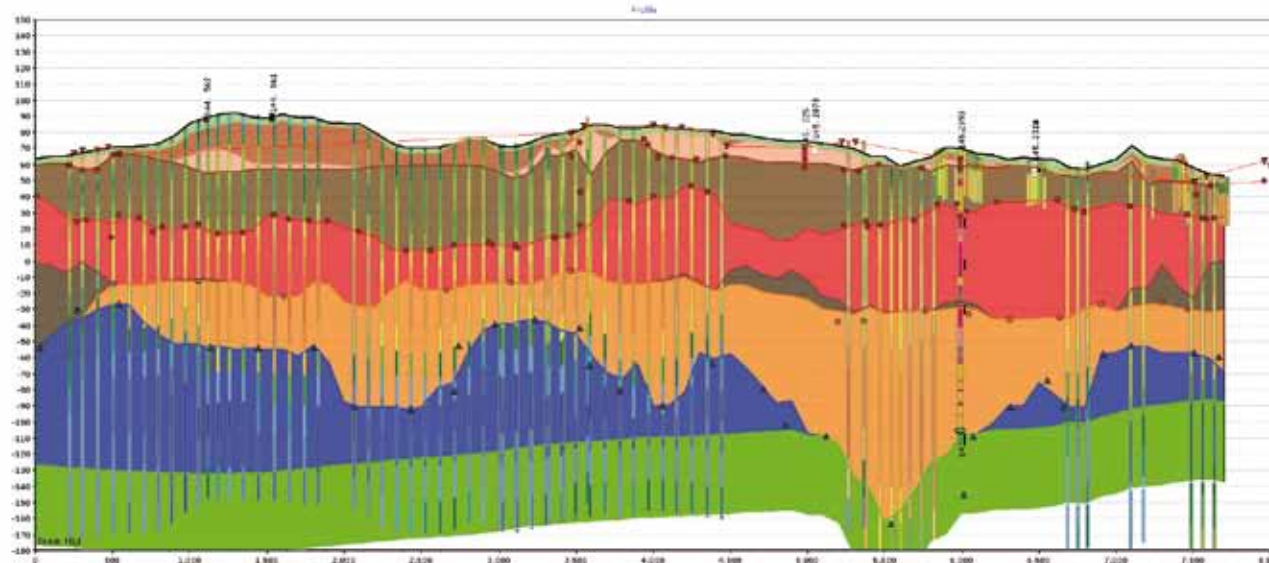
met GeoScene3D. I projektet er det muligt at se de tolkede tolkningspunkter og lagflader i modellen. Projektet indeholder typisk også alle de data og kort, der ligger til grund for modellen. Herudover kan der være indlæst resultater fra den senere grundvandsmodellering, eksempelvis afgrænsningen af indvindingsoplande for vandværker og partikelbaner for vandets vej fra overfladen til det indvindes i vandværksboringer.

Sidst, men ikke mindst, kan projektet indeholde de afsluttende udpegninger. Det kan være lertykkelser over grundvandsmagasiner og nitratfølsomme områder.

Kommunen vil kunne bruge modellen som et arbejdsredskab til i detaljer at kunne planlægge og prioritere de grundvandsbeskyttende tiltag til den indsatsplan, de efter kortlægningens afslutning skal i gang med at udarbejde for området. GeoScene3D projek-



Figur 3c. Rumlig geologisk tolkning af samme profil. Der sættes kun tolkningspunkter, hvor tolkningen er forholdsvis sikker.



Figur 3d. Hydrostratigrafisk tolkning af samme profil. Her er tolkningspunkter også indsat i datatomme områder. Eksempelvis ses tre blå trekantede områder for bund af sandlag omkring  $x = 5000\text{m}$ . Det bemærkes, at der nederst i den rumlige geologiske model (Figur 3c) er tolket moræneler over fed tertiært ler. I den hydrostratigrafiske model er de to lag slået sammen. De anses som et samlet lag, der ikke er vandførende.

tet giver kommunerne mulighed for at se datagrundlag, tolkninger og områdeudpegninger i sammenhæng.

### Anden anvendelse af geologiske modeller

I Naturstyrelsen bruges resultaterne af grundvandskortlægningen også internt til andre opgaver. Eksempelvis vil viden om grundvandsforekomsternes beliggenhed og grundvandskemi blive brugt til at forbedre datagrundlaget for opdateringer af vandplaner.

Inden for de typer sagsbehandlinger i det offentlige, der vedrører jorden og dens anvendelse vil man let og hurtigt kunne danne sig indtryk af geologien, hvor som helst inden for de kortlagte områder ved f.eks. at optegne profiler. Viden om geologiske forhold kan eksempelvis være vigtige i forbindelse med behandling af ansøgninger om råstofindvinding,

vurdering af tilladelser til vandindvinding, til at finde optimale placeringer af nye indvindingsboringer. Modellerne vil også kunne bruges til at forudsige og visualisere, hvorledes en forurening fra eksempelvis gamle lossepladser vil kunne sprede sig i grundvandsforekomsterne.

I disse år er der fokus på, hvorledes byområder fremover skal kunne håndtere større og hyppigere nedbørsbegivenheder som klimamodeller forudsiger. Her kan geologiske modeller med visualisering af jordlag og grundvandsstand være et vigtigt værktøj i planlægningen.

Da datagrundlaget ofte er sparsomt i byområder, hvor elektriske og elektromagnetiske geofysiske målinger bliver forvrænget af forstyrrelser fra elektriske installationer, vil der her i fremtiden være udfordringer i at skaffe flere data til de geologiske modeller.

Til sidst skal nævnes, at Naturstyrelsen stiller kortlægningdata og geologiske modeller til rådighed for offentligheden. Lagfladerne fra de geologiske modeller bliver lagt ind den åbne Modeldatabase hos GEUS, hvorfra alle, der har interesse i at benytte dem, kan downloade dem gratis og bruge resultaterne i deres egen planlægning.

### Referencer:

/1/ Jørgensen, F., Kristensen, M., Højberg A.L., Klint, K.E.S, Hansen, C., Jordt, B.E. Richardt, N og Sandersen, P. 2008. Opstilling af geologiske modeller til grundvandsmodellering. Geo-Vejledning 3. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland - GEUS. 176 pp.

LISBETH ULSOE LAURITSEN har arbejdet som geolog hos Naturstyrelsen Odense. E-mail: lisbeth@dyrn.dk

FLEMMING JØRGENSEN er geolog og arbejder som seniorforsker hos GEUS. E-mail: flj@geus.dk