11. Geologisk Modellering

1. Formål

Formålet er at opstille geologiske modeller, der kan anvendes som arbejdsredskab til at dokumentere de geologiske forhold i et kortlægningsområde, samt at levere input til grundvandsmodellering og sårbarhedskortlægning.

De geologiske modeller har relation til:

- Vurdering af datadækning og -kvalitet, herunder identifikation af områder, hvor der skal indsamles mere viden, hvis der ikke findes tilstrækkelig datadækning i forhold til at kortlægge området med tilstrækkelig stor sikkerhed
- Udarbejdelse af fladedækkende gridbaseret rasterkotekort repræsenterende geologiske og hydrostratigrafiske laggrænser
- Udarbejdelse af isopachkort som magasintykkelse og lertykkelse over magasiner samt opsummering af akkumuleret lertykkelse
- Beregning af indvindingsoplande, BNBO og grundvandsdannende oplande
- Justering af sårbarhed, nitratfølsomme indvindingsområder og indsatsområder

2. Opgaver

De enkelte delopgaver fremgår af skema herunder og den efterfølgende beskrivelse.

Planlægning af geologisk modellering	Leverance
Problemformulering og udarbejdelse af projektbeskrivelse herunder formål og anvendelse af det geologiske modelarbejde, vurdering af datagrundlag og vurdering af projektgrundlag. Plan for kvalitetssikring og kommunikation.	Notat/rapport Møde
Geologisk forståelsesmodel	Leverance
Udarbejdelse af geologisk forståelsesmodel på grundlag af geologiske beskrivelser, principskitser og kort	Rapport Møde
Rumlig digital geologisk model	
Digital geologisk model	64-bit GeoScene3D projekt
Dokumentation af modelopstilling inklusive usikkerhedsvurderinger og kvalitetssikring og formidling af modelresultater	Rapport Møde
Dokumentation af modelopstillingsforløbet	Logbog/rapport
Indlæsning af model i pågældende national database inklusiv dokumentation ifølge gældende kravspecifikation	Upload af model
Hydrostratigrafisk digital model	Leverance
Digital hydrostratigrafisk model	64-bit GeoScene3D projekt

Dokumentation af modelopstilling inklusive usikkerhedsvurderinger og kvalitetssikring og formidling af modelresultater	Rapport Møde
Dokumentation af modelopstillingsforløbet	Logbog/rapport
Indlæsning af model i GEUS database inklusiv dokumentation ifølge gældende kravspecifikation	Upload af model

2.1. Planlægning af geologisk modellering

I opstarten af en geologisk modellering indsamles viden om allerede eksisterende geologiske modeller i kortlægningsområdet, og kvaliteten af data og tolkningen af disse vurderes. Dette sker til dels i Opstarts-fasen i kortlægningsprojektet og igen i arbejdet med selve den geologiske modellering.

Ved opstilling af nye geologiske modeller og genanvendelse af eksisterende, skal der tænkes i iterative processer, hvor ny oparbejdet viden som fx geokemi og hydrologi løbende anvendes til at opdatere tidligere beslutninger taget under arbejdet med den geologiske model. De geologiske modeller og de data, som de er baseret på, bør derfor igennem kortlægningsforløbet gøres til genstand for revurderinger for at opnå fuldt udbytte, indtil alle problemstillinger er besvaret tilfredsstillende.

Opstartsrapporten og/eller projektbeskrivelsen for geologisk modellering omfatter grundig vurdering af hele det geologiske datagrundlag, som omhandler bl.a. boringer, geofysik, eksisterende geologiske og hydrostratigrafiske modeller (både lokal- og regionalmodeller samt FOHM (Jyllandsmodellen), Fyn- og Sjællandsmodellen), jordartskort og landskabsanalyser og geologisk historie og dannelsesmiljø. Desuden skal kemiske og hydrologiske data, der kan have betydning for den geologiske/hydrostratigrafiske forståelse og tolkning, vurderes med henblik på inddragelse, hvor det er relevant i modeludarbejdelsen.
Det er vigtigt at inkorporere viden fra andre fagligheder såsom geofysik, grundvandskemi og hydrologi, for at sikre det bedst mulige overblik over hvor, og hvordan den geologiske model skal opdateres.

Der skal inden arbejdet igangsætte med den geologiske model foreligge konkrete anbefalinger til arbejdet.

Alt efter opgavens formål vil der være forskellige krav til den færdige models detaljeringsgrad og dermed også til det tilgængelige datamateriale, som derfor skal beskrives og vurderes. Problemformuleringen og den indledende vurdering af data munder ud i en samlet beskrivelse af projektgrundlaget, hvor formål og datagrundlag holdes op mod hinanden. Det besluttes og begrundes også, om der både opstilles en rumlig geologisk model og en hydrostratigrafisk model, hvor der skal lægges fokus på vigtigheden af at kende detaljerne, før man evt. simplificerer modellen. For alle modeller gælder det, at de skal kunne indarbejdes sømløst i de større sammenhængende områder (modeller/tolkningsdatabaser) i hele Danmark, der vil være gældende på tidspunktet for arbejdet.

Kort og data der med fordel kan indgå i modelleringsarbejdet omfatter, jf. Geovejledningen /1/:

- Geologiske data og kort: Boredata, jordart og -type, stratigrafiske data, tolkede geologiske kort over f.eks. prækvartærets overflade og begravede dale
- Geomorfologiske data: Højdemodel og bathymetri, landskabselementer, flyfotos

- Hydrologiske data: Pejledata, prøvepumpningsdata, tolkede hydrologiske kort f.eks. potentialekort, data vedr. overfladevand, viden om oppumpede mængder ift. betragtninger om magasinstørrelse
- Kemiske data: Grundvands- og sedimentanalyser, tolkede kemiske kort fx nitratfrontens beliggenhed
- Geofysiske data: TEM, PACES, MEP og DC-sonderinger, seismiske linjer, borehulslogs, tolkede geofysiske kort f.eks. kote til gode leder og middelmodstandskort
- Geologiske modelflader: DK-modellen, regionale modeller, detailmodeller fra forureningsundersøgelser, ressourceundersøgelser f.eks. udført af vandværker
- Administrative data: OSD, NFI, arealanvendelse, kommunegrænser mfl. fra offentlige informationssystemer, som bl.a. Miljøportalen
- Specielt for geologisk modellering i områder inkorporeret i FOHM skal der indhentes eksisterende kvalitetsvurderinger af eksisterende modeller samt anbefalinger til opdateringer i området (se /2/).

Der udarbejdes en projektbeskrivelse for den geologiske modellering, hvor der er fokus på problemformulering af udfordringer, formål, anvendelse, kvalitetskrav og –sikring, jf. Miljøstyrelsens kvalitetssikringsprocedure /5/, og dækning af det geologiske modelarbejde, herunder:

- At opnå en høj nøjagtighed og detaljeringsgrad så den hydrostratigrafiske model honorerer filtersætning i de almene vandværkers indvindingsboringer tilfredsstillende. Det dokumenteres ved at anvende GeoScene3D Screen Analysis værktøj
- At klarlægge, om der er særlige krav til modellen og måden, som denne opgave skal løses på
- At klarlægge modelområdets størrelse
- At give en oversigt over modelområdet med de eksisterende data (inklusive modeller), der skal med, eller som med fordel vil kunne inddrages i modelopstillingen
- At vurdere om datagrundlaget er tilstrækkeligt Hvis ikke, hvad der skal til for at datagrundlaget bliver tilstrækkeligt fx. indsamling af supplerende data eller evt. redefinering af modelformål

Dele af ovenstående kan være allerede beskrevet grundigt i Opstart af kortlægningsprojektet, hvorfor indholdet af denne projektbeskrivelse kan variere fra projekt til projekt. Indholdet og niveauet aftales med Miljøstyrelsen.

Inden igangsættelse af modelleringsarbejdet afholdes et møde, hvor planen for arbejdet præsenteres og specificeres yderligere.

3. Opbygning af geologisk forståelsesmodel

Den geologiske forståelsesmodel består hovedsageligt af beskrivelser, principskitser, en overordnet stratigrafi og dannelsesmodel for området, og har til hensigt at give et overblik over den geologiske opbygning og historie, som den fremgår af eksisterende materiale til hjælp for opstillingen af den rumlige geologiske model. Det er vigtigt at fx påpege problemstillinger som fx begrænset baggrundsviden og særlige geologiske forhold, der kan have betydning for arbejdsgangen og slutproduktet.

Formålet er:

- At skabe overblik over de geologiske forhold og problemstillinger, så den digitale model kan opbygges hensigtsmæssigt
- At påpege problemstillinger som f.eks. begrænset baggrundsviden og særlige geologiske forhold, der kan have betydning for arbejdsgangen og slutproduktet

- At kunne raffinere projektbeskrivelsen indeholdende kravspecifikationer til modellen mht. dataforberedelse og dataanvendelse, modelkonstruktion og tolkningsmåde, kvalitetssikring af data, af modeller og af det udførte arbejde, usikkerhedsvurderinger og dokumentationsniveau samt afrapportering

Den geologiske forståelsesmodel beskrives i den endelige rapport for geologisk modellering.

4. Rumlig digital geologisk model

Den rumlige digitale geologiske model er baseret på den geologiske forståelses-model samt en detaljeret og integreret geologisk tolkning af alle tilgængelige data; primært boredata og geofysiske data. Modelarbejdet indebærer en rumlig opbygning af tolkede geologiske enheder. Den rumlige geologiske model udgør modellørens tolkninger af den rumlige geologiske opbygning ud fra alle data.

Formålet er:

- At udarbejde en rumlig digital model af jordlagenes udbredelse og strukturelle opbygning i et modelområde i den detaljeringsgrad, som i det aktuelle tilfælde er påkrævet, og som datagrundlaget kan understøtte. Modellen består af såvel vertikale som horisontale geologiske elementer, som er defineret ved tolkningspunkter, profiler, rasterflader og tekst
- At modellere lithologiske og stratigrafiske lagflader og andre enheder, der er vigtige for forståelsen af områdets dannelseshistorie og opbygning
- At indarbejde dannelsesmiljø og dannelseshistorie i tolkningsprocessen og i modellen
- At sammentolke data; primært geologiske, geokemiske, geomorfologiske, lithologiske, stratigrafiske, hydrologiske og geofysiske data

Den rumlige digitale geologiske model, herunder eventuelt log af arbejdet undervejs, beskrives i den endelige rapport for geologisk modellering. Det er vigtigt at kunne dokumentere tolkninger af de forskellige geologiske elementer og forhold, der findes inden for modelområdet. For tolkningsmetodik m.m. henvises til Geovejledning for opstilling af geologiske modeller /1/ og eventuelle afvigelser her fra aftales i planlægningen af arbejdet med modellen.

Såfremt der både udføres en rumlig geologiske model og en hydrostratigrafisk model, hvor der er forskel, og den rumlige geologiske model anses som væsentlig at få dokumenteret, uploades denne iht. gældende vejledninger og aftaler med Miljøstyrelsen.

5. Hydrostratigrafisk digital model

Som beskrevet ovenfor besluttes det i planlægningen af arbejdet med geologisk modellering, om der både opstilles en rumlig geologisk digital model og en hydrostratigrafisk, eller om arbejdet fokuserer på den hydrostratigrafiske model.
Den hydrostratigrafiske digitale model illustrerer jordens hydrauliske egenskaber og inddeler jorden i hydrostratigrafiske enheder baseret på tolkningerne i den rumlige geologiske model, og vil langt hen af vejen være identisk med den rumlige geologiske model. I den hydrostratigrafiske modellering sammenstilles den rumlige geologiske model med de hydrologiske og kemiske data, hvor der er fokus på grundvandsmagasiner og mellemliggende lag både akviferer og akvitarder.
I den hydrostratigrafiske model vil det være muligt evt. at slå flere geologiske lag sammen til ét hydrostratigrafisk lag (magasinlag eller lerdæklag), eller zonere lag, såfremt geologien er så kompleks, at den ikke opløses tilfredsstillende ift. de hydrologiske egenskaber i geologien i den rumlige geologiske model. Dette foretages i tæt samarbejde med en grundvandsmodellør, der skal opstille grundvandsmodellen for området. Modellen udgør det geologiske grundlag for den efterfølgende strømningsmodellering

Formålet er:

- At modellere med fokus på de hydrostratigrafiske enheder i modelområdet, som skal udgøre grundlaget for input i den hydrologiske model. Herunder skal der tidligt i det geologiske modelarbejde tages stilling til modellens vertikale og horisontale diskretisering.
- Leverer datainput til efterfølgende sårbarhedskortlægningen i form af lertykkelses- og magasintykkelseskort
- At skabe en veldokumenteret tolkningsdatabase hvori tolkninger og tolkningspunkter gemmes og kan genanvendes ved senere opdateringer. Tolkningspunkttype og deres kvalitet skal beskrives efter værdier fra lister fra FOHM standarden.
- At dokumentere hvilke lag der er modelleret og evt. hvilke afgrænsningspolygoner, der er anvendt i tolkningsarbejdet
- At afrapportere arbejdsproces, interpolationsrutiner og -indstillinger også med henblik på genanvendelse af modellen
- At sikre optimal udnyttelse af data
- At overføre model til relevant national model (fx FOHM, Fyn eller Sjællandsmodellen)

Arbejdet med den hydrostratigrafiske model beskrives i den endelige rapport for geologisk modellering. Hvis der, efter aftale, udelukkende opstilles en hydrostratigrafisk model i et konkret projekt, skal diverse overvejelser angående rumlig geologisk digital model, som beskrevet i Geovejledningen /1/ tages til efterretning.

Modellen uploades iht. gældende vejledninger og aftaler med Miljøstyrelsen.

6. Afrapportering

Der afleveres en rapport i forbindelse med færdiggørelsen af den geologiske modellering, der dækker Geologisk forståelsesmodel, Rumlig digital geologiske model og Hydrostratigrafisk digital model til det omfang, det er besluttet i projektbeskrivelsen for arbejdet
Rapporten skal vha. tekst og figurer dokumentere modelopstilling, usikkerhedsvurderinger og kvalitetssikring samt formidle modelresultater (jf. Geovejledningen /1/). Der skal afleveres logbog, der dokumenter tekniske detaljer igennem modelopstillingsforløbet, i form/med indhold som aftalt i starten af modelleringsfasen. Det er vigtigt, at dokumentere væsentlige geologiske tolkninger i en repræsentativ mængde ift. geologiens kompleksitet og områdets størrelse. Desuden er det vigtigt at tydeliggøre arbejdet hen mod den hydrostratigrafiske model, især ift. hvilke data og datatyper (kemiske og hydrologiske), der er blevet inddraget i tolkningsprocessen og hvordan.

Desuden skal der afleveres en tolkningsdatabase, der dokumenterer tekniske detaljer i modelleringsarbejdet. Den rumlige digitale geologiske og den hydrostratigrafiske model skal udarbejdes i GeoScene3D 64-bit og også afleveres som et GeoScene3D 64-bit projekt.

De geologiske modeller beliggende i Jylland skal integreres i FOHM tolkningsdatabase, og for og Fyn og Sjælland i hhv. Fyn- og Sjællandsmodellen. På sigt har Miljøstyrelsen intentioner for at FOHM tolkningsdatabasen dækker hele landet, hvorfor retningslinjerne med tiden kan ændre sig. Rapporter skal indlægges i GEUS rapportdatabase.

Data, der skal indsendes til Miljøstyrelsen ifm. afrapportering af den geologiske modellering, skal afleveres i GRUKOS-skabelonfiler iht. pågældende vejledningen.

Møder afholdes undervejs ved definerede milepæle og afslutningsvist efter aftale med Miljøstyrelsen, hvor den ønskede faglighed, koordinering og fremdrift skal sikres.

7. Krav til arbejdsgang

Opgaven skal løses i overensstemmelse med nyeste gældende version af Geovejledning /1/.

Miljøstyrelsen gør opmærksom på, at der i nogle tilfælde kan afviges fra Geo-vejledningen grundet et projekts specifikke formål. Kortlægninger tager udgangspunkt i FOHM, Fyn-modellen og Sjællandsmodellen.

Der skal benyttes GeoScene3D i 64-bit udgaven til den rumlige tolkning af geologiske/hydrostratigrafisk modeller herunder GeoScene3D's Screen Analysis værktøj. Alle tilgængelige geologiske, geofysiske og hydrologiske data såvel som grundvands- og sedimentkemiske data skal vurderes at indgå i datagrundlaget for tolkningen af modellen. Eksisterende modeller skal inddrages og i videst mulige omfang genbruges.

Tolkningsbeslutninger og usikkerheder skal dokumenteres digitalt i modellen jf. gældende vejledninger, KS-procedurer /5/ og kravspecifikationer. Disse findes bl.a. på GEUS' hjemmeside www.geus.dk og omfatter pt. Vejledning i anvendelse af model-databasen /3/ samt notat, maj 2009: Dokumentation af informationer om geologiske modeller til sikring af fremtidig genanvendelse /4/.

Der skal anvendes Miljøstyrelsens definitioner for boringskvalitet for placering og lithologibedømmelse. Disse udleveres som Firebird SQL scripts til afvikling på Jupiter Firebirddata hentet fra GEUS.

8. Referencer

/1/ Opstilling af geologiske modeller til grundvandsmodellering. Geovejledning 2018/1
https://www.geovejledning.dk/2018_1/

/2/ Samling af geologiske modeller i Jylland, FOHM – Fælles Offentlig Hydrologisk Model. Miljøstyrelsen 2020

/3/ Vejledning i anvendelse af modeldatabasen. GEUS, december 2005
GEUS - Geologisk Modeldatabase

/4/ Dokumentation af informationer om geologiske modeller til sikring af fremtidig genanvendelse - høringsversion. GEUS juni 2009
GEUS - Geologisk Modeldatabase

/5/ Miljøstyrelsens Kvalitetssikring af Hydrostratigrafiske Modeller.
https://mst.dk/media/121078/kvalitetssikringsprocedure-for-hydrostratigrafiske-modeller.pdf