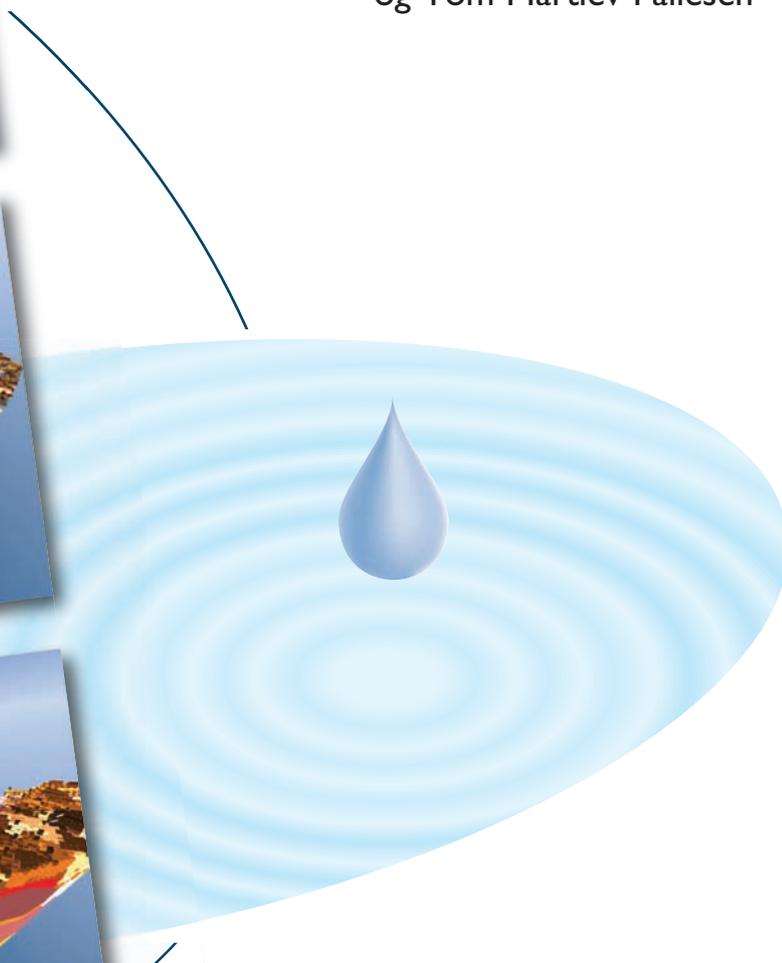
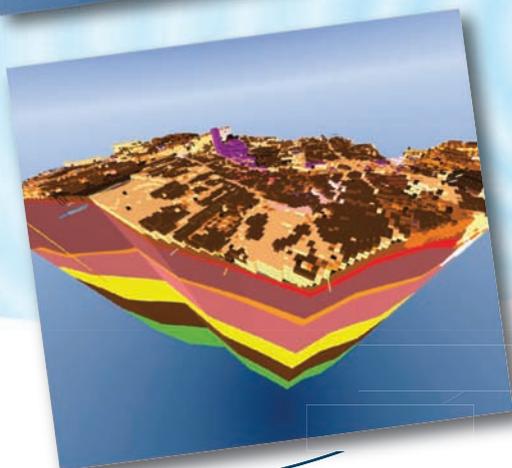


# Udvikling af en 3D geologisk/ hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb

## Syntese rapport

Susie Mielby, Carsten Emil Jespersen, Christian Ammitsøe, Gert Laursen, Jan Jeppesen, Johan Linderberg, Knud Søndergaard, Margrethe Kristensen, Martin Hansen, Niels-Peter Jensen, Peter Sandersen og Tom Martlev Pallesen





# Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb

## Syntese rapport

Susie Mielby  
Carsten Emil Jespersen  
Christian Ammitsøe  
Gert Laursen  
Jan Jeppesen  
Johan Linderberg  
Knud Søndergaard  
Margrethe Kristensen  
Martin Hansen  
Niels-Peter Jensen  
Peter Sandersen  
Tom Martlev Pallesen



## **Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb Synteserapport**

Forfattere: Susie Mielby, Carsten Emil Jespersen, Christian Ammitsøe, Gert Laursen, Jan Jeppesen, Johan Linderberg, Knud Søndergaard, Margrethe Kristensen, Martin Hansen, Niels-Peter Jensen, Peter Sandersen og Tom Martlev Pallesen

Forside model: Tom Martlev Pallesen

Særudgivelse

Omslag: Henrik Klinge

Repro: GEUS

Oplag: 20

September 2015

Rapporten kan hentes på nettet: [www.geus.dk](http://www.geus.dk)

© De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS  
Øster Voldgade 10  
DK-1350 København K  
Telefon: 38 14 20 00  
E-post: [geus@geus.dk](mailto:geus@geus.dk)

Projektet er baseret på midler fra Vandsektorens Teknologiuudviklingsfond (VTU) og er udført i samarbejde med Odense Kommune, VandCenter Syd, I-GIS og Alectia A/S.

# Forord

Odense Kommune, VandCenter Syd og GEUS indgik i 2012 et samarbejde om at få udviklet en 3D geologisk/hydrogeologisk model af undergrunden i Odense Kommune.

Der blev som følge heraf i 2013 søgt og igangsat et 2-årigt projekt baseret på midler fra Vandsektorens Teknologiudviklingsfond (VTU) med deltagelse af Odense Kommune, VandCenter Syd, I-GIS, Alectia A/S og GEUS.

Til gennemførelsen af projektet har der været nedsat en projektgruppe og en styregruppe.

Projektgruppen har bestået af

- Susie Mielby Projektleder, hydrogeolog, GEUS
- Carsten Emil Jespersen Klimatilpasningsansvarlig, Odense Kommune
- Christian Ammitsøe Projektchef, VandCenter Syd
- Gert Laursen Hydrogeolog, klimatilpasning i Odense Kommune
- Jan Jeppesen Markeds- og udviklingschef, klimatilpasning, Alectia A/S
- Johan Linderberg Hydrogeolog, VandCenter Syd
- Knud Søndergaard Kontorchef, Odense Kommune
- Margrethe Kristensen Ekspert i GeoScene3D, GIS og data, GEUS
- Martin Hansen Sektionschef for GEUS´ databasesektion
- Niels-Peter Jensen Daglig leder af I•GIS A/S, specialist i IT/GIS
- Peter Sandersen Ekspert i geologisk modellering, GEUS

Styregruppen har bestået af

- Christian Ammitsøe Projektchef, VandCenter Syd
- Knud Søndergaard Kontorchef, Odense Kommune og
- Thomas Vangkilde-Pedersen Statsgeolog, GEUS.

## Rationalet ved samarbejdet

Håndteringen af det urbane vandmiljø kræver viden om overfladehydrologi, afløbssystemer, geologi og grundvandsforhold. En forudsætning herfor er opbygning af en detaljeret overfladenær model i tre dimensioner med systematisk anvendelse af eksisterende og nye data.

På kommuneniveau foreligger der ikke en tradition for systematisk opsamling og opdatering af geologiske/hydrogeologiske kortlægninger. De eksisterende kortlægningsresultater udgør fragmenter af en helhed, og der foreligger ofte flere geologiske/hydrostratigrafiske modeller. Disse kan være udført med forskellige formål, med års mellemrum og på baggrund

af forskellige datasæt. Det er derfor nødvendigt at tage stilling til, hvilke af de tidligere modeltolkninger der kan anvendes, og om der er behov for indsamling af nye data.

Oftestarter man forfra med modelopbygning, når ny viden eller behov opstår, og det er et stort og tidskrævende arbejde, hver gang der skal tilvejebringes et nyt grundlag for beslutninger.

Et bedre kendskab til byens geologi og en forbedret anvendelse af data vil medføre et forbedret beslutningsgrundlag til brug for bl.a. tilpasning til fremtidens klima. Derved vil klimatilpasningen kunne gennemføres med større effekt og væsentlige besparelser i forhold til de efterfølgende rigtigt omkostningstunge beslutninger, når planlægningen i sidste ende skal omsættes til bygværker, kloaker, veje og faskiner mv.

En behovsorienteret, systematisk vedligeholdelse og udbygning af en grundlæggende geologisk/hydrogeologisk model vil for en kommune eller et forsyningsselskab betyde hurtigere, bedre og mere robuste beslutninger.

En fælles 3D geologisk/hydrogeologisk model/GIS-system til håndtering af kortlægningsresultaterne vil desuden kunne udgøre fundamentet for en mere ensartet arbejdsgang, og at kommunens forskellige forvaltninger har adgang til det samme, opdaterede beslutningsgrundlag – hele tiden.

### **Internationalt samarbejde**

Danmark står ikke alene med behovet for viden og modellering af undergrunden under byerne. GEUS og Odense Kommune har parallelt med dette projekt deltaget i et EU COST-projekt, hvis formål det er at opbygge viden på et internationalt plan ("SUB-URBAN: A European network to improve the understanding and use of the subsurface beneath our cities"), og VTU-projektet og SUB-URBAN har på forbilledlig vis understøttet hinanden.

Parløbet mellem de to projekter har været til gavn for både deltagelsen i COST-projektet og VTU-projektet.

### **Formidling af resultater**

Projektet er undervejs formidlet ved en lang række præsentationer på konferencer, faglige møder og ved møder med potentielle brugere.

Foruden den etablerede 3D model udgør det opbyggede modelkoncept med tilhørende anbefalinger et nyttigt foregangseksempel til brug for opstilling af andre kommende kommunemodeller for andre offentlige myndigheder.

Der er gjort en lang række forskellige erfaringer, udviklet metoder og samlet relevant viden for modelleringen af undergrunden undervejs i projektet. Denne viden er opsamlet i en række delrapporter, der alle har samme overordnede projekttitel.

Delrapporterne har følgende undertitler:

- **3D-modellen som basis for håndtering af det urbane vandkredsløb**
- **Indsamling og vurdering af data**
- **Geotekniske data til planlægning og administration**
- **3D geologisk/hydrostratigrafisk modellering**
- **Interaktiv modellering af antropogene lag**
- **Teknisk håndtering og lagring af bygeologiske data og modeller**

Hver af delrapporterne afsluttes med en række anbefalinger, som er opsamlet i denne synteserapport.



## Indhold

<b>1.</b>	<b>Indledning</b>	<b>11</b>
1.1	Baggrund og formål.....	11
1.2	Behovsanalyse .....	12
1.3	Metodeovervejelser.....	13
1.4	Af rapportering.....	14
<b>2.</b>	<b>Projektets hovedresultater</b>	<b>15</b>
2.1	Modellering.....	15
2.2	Model- og dataværktøjer .....	19
2.3	Administrationspraksis og beslutningsgrundlag.....	21
2.4	Samlede resultater og anbefalinger fra hele projektet.....	21
2.5	Formidling af resultater .....	22
2.6	Hvad nåede vi ikke - omprioriteringer .....	23
<b>3.</b>	<b>Modellen som planlægningsgrundlag</b>	<b>24</b>
3.1	Modellens nytteværdi - byens vand .....	24
3.2	Modellens nytteværdi - andre brugere i kommunen .....	25
3.3	Nødvendig forbedring af data og model.....	26
3.4	Perspektiver for modellen .....	27
<b>4.</b>	<b>Den tekniske håndtering og vedligeholdelse</b>	<b>28</b>
4.1	Styring af det videre forløb .....	28
4.2	Nye kortlægninger i kommunen .....	29
4.3	Vedligehold af kommunemodellen.....	29
4.4	Lagring af modelresultater .....	30
<b>5.</b>	<b>Økonomi</b>	<b>31</b>
5.1	Opdatering kontra ny model.....	31
5.2	Konsekvens af manglende viden – Eksempel fra Odense .....	31
<b>6.</b>	<b>Internationalt samarbejde og erfaringer</b>	<b>34</b>
6.1	Formål .....	34
6.2	Hvor er vi i forhold til data? .....	35
6.3	Hvor er vi i forhold til modellering?.....	35
6.4	Hvor er vi i forhold til planlægning?.....	36
6.5	Generelle betragtninger fra SUB-URBAN.....	36
<b>7.</b>	<b>Landsdækkende perspektiv</b>	<b>38</b>
<b>8.</b>	<b>Referencer</b>	<b>39</b>

<b>9.</b>	<b>Bilag – Samlede anbefalinger</b>	<b>41</b>
9.1	Synteserapport.....	42
9.2	3D-modellen som basis for håndtering af det urbane vandkredsløb.....	43
9.3	Indsamling og vurdering af data.....	44
9.4	Geotekniske data til planlægning og administration.....	45
9.5	3D geologisk/hydrostratigrafisk modellering.....	46
9.6	Interaktiv modellering af antropogene lag.....	47
9.7	Teknisk håndtering og lagring af bygeologiske data og modeller .....	50

# 1. Indledning

Denne rapport indeholder hovedresultaterne af VTU-projektet og de bagvedliggende overvejelser omkring den opbyggede 3D geologiske/hydrogeologiske model, når den og de tilhørende data skal fungere som et redskab til brug for forvaltning og administration af det urbane vandkredsløb.

Rapporten og de tilknyttede delrapporter udgør dokumentation for VTU-projektet og dets anbefalinger, og skal fungere som støtte til den videre vedligeholdelse og udvikling af modellen. Et væsentligt formål er, at erfaringerne og resultaterne skal kunne komme andre til gode. Rapporten indeholder en kort beskrivelse af de produkter, der konkret er opnået i projektet, og hvilke justeringer der er gjort i forhold til de oprindelige tanker i projektplanen.

Endvidere indeholder rapporten en redegørelse for 3D modellens (og de opbyggede datas) nytteværdi i forhold til planlægning og administration inden for kommunens område, både inden for det urbane vandområde, men også i andre sammenhænge. Herudover er der beskrevet faglige overvejelser i forhold til mulige fremtidige forbedringer og vedligehold af modellen (med diverse tilhørende data), for at den fortsat kan fungere som et forvaltningsredskab.

Det skal sikres, at modellens integritet som administrationsgrundlag for kommunen bibeholdes. Derfor indeholder rapporten en beskrivelse af, hvad der teknologisk set skal til for at vedligeholde en sådan kommunemodel. Ligeledes indeholder rapporten forskellige økonomiske overvejelser og overslag, som kan være nyttige at have for øje.

Afslutningsvis sammenlignes og beskrives den teknologiske udvikling i udlandet i forhold til Danmark. Erfaringerne fra udlandet er baseret på et EU COST-projekt, hvori flere af projektets partnere samtidig har deltaget.

## 1.1 Baggrund og formål

Der har ikke siden 70'erne, hvor Ellen Louise Mertz foretog en geoteknisk kortlægning af en række større danske byer (Mertz, 1974), været udført en systematisk kortlægning af byerne. På strategisk plan mellem Odense Kommune, VandCenter Syd og GEUS blev det derfor vurderet, at der var behov for en sådan kortlægning af undergrunden, og at den med fordel kunne foretages i Odense.

Der blev søgt og bevilliget - med Odense som eksempel – et VTU-projekt, der har haft det overordnede formål at udføre en 3D-modellering, hvor der etableres:

- En 3D geologisk/hydrogeologisk kommunemodel, som skal bidrage til kortlægning af geologien og det urbane vandkredsløb under storbyer
- Et bedre planlægningsgrundlag for arbejdet med nedsivning og afledning af vand i fremtiden

- Anbefalinger til et landsdækkende værktøj, der muliggør etablering af detaljerede geologiske/hydrogeologiske kommunemodeller for andre områder.

I forbindelse med klimatilpasning er der brug for detaljeret viden om, hvor der specifikt er behov for at håndtere regnvand uden for kloaksystemet, og i disse områder klarlægge specifikt, hvor der er mulighed for at nedsive overfladevand. Endelig er der behov for at beregne, hvor nedsivning specifikt vil skabe en effekt i form af ændret vandstand og dermed risiko for vand i kældre eller øget fugtighed i disse.

En samlet modellering er afgørende nødvendig for at kunne overskue konsekvenserne af indgreb i det urbane vandkredsløb. Det er indlysende, at denne opgave stiller meget store krav til modellens nøjagtighed på lille skala, samtidig med at der skal kunne opereres på oplandsskala; det vil sige over større arealer.

Selvom opgaven blev iværksat for en relativ begrænset kreds af brugere, har det hele tiden været hensigten, at det fremtidige produkt skulle have størst mulig anvendelse og udbredelse. Dette gælder inden for kommunen, hvor der vil kunne opnås et større og fælles datagrundlag for de forskellige forvaltninger, men også uden for kommunen, hvor det ønskes at flere vil kunne få gavn af de opnåede erfaringer – og at der således på landsplan vil kunne samarbejdes om fælles løsninger.

Gennem tiderne er der etableret flere geologiske/hydrogeologiske modeller, som efter færdiggørelsen har ligget inaktive hen, og så efterhånden er blevet mere og mere uaktuelle, fordi modelejerne ikke har gjort sig overvejelser om, hvorvidt det har et formål og kan betale sig at vedligeholde modellen. Erfaringen har derfor været, at man ofte starter forfra.

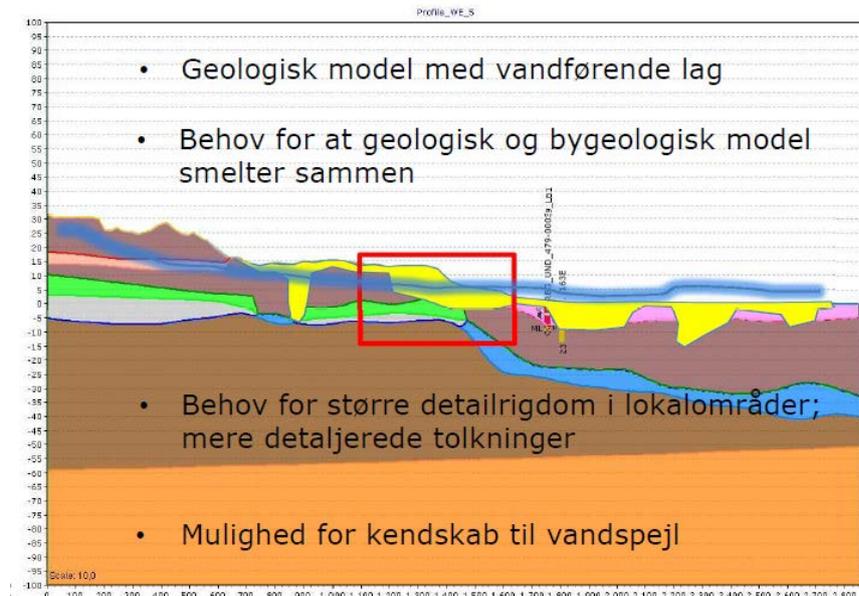
I dette projekt er det et selvstændigt formål at overveje, hvordan modelkonceptet kan opdateres og vedligeholdes. Derfor indeholder denne rapport overvejelser om, hvordan en kommunemodel vedligeholdes, og hvad et sådant vedligehold koster. Denne indsats skal naturligvis ses i sammenhæng med nytteværdien.

## 1.2 Behovsanalyse

Projektet har mange vinkler og er i højeste grad tværfagligt. Derfor har det fra starten været vigtigt at bruge tid på en behovsanalyse, hvor behov og teknologiske muligheder kunne afstemmes (Mielby, 2013).

Behovsanalysen har for det første afdækket hvilke krav, der skal stilles til en modellering af det urbane vandkredsløb i bredeste forstand, herunder også andre brugeres behov for en model og tilhørende data (se Figur 1).

For det andet har behovsanalysen rummet en systematisk gennemgang af dels projektets faser, dels hvilke metoder der kan anvendes til at tilvejebringe bedre adgang til data og modellering, med henblik på at sikre et opdateret og mere sikkert beslutningsgrundlag.



**Figur 1. Centrale behov i forhold til modellering af hydrostratigrafiske og antropogene lag (gult). Teksten angiver de 4 centrale behov, som modellen skal kunne honorere, for at kunne fungere som basis for byens vandkredsløb. Den blå linje illustrerer vandspejlet.**

Behovsanalysen har afdækket et behov hos interessenterne for at kunne udføre langt flere opgaver, end det har været muligt at gennemføre i VTU-projektet, men den har – i gennem hele processen - givet mulighed for at prioritere og pege på de vigtigste fokusområder.

Behovsanalysen har peget på at der er centralt behov for at etablere:

- En geologisk (kommune-)model med vandførende lag
- En model, der indeholder informationer om såvel geologi som menneskeskabte lag og objekter (fyld og infrastruktur)
- En model, der (samtidig) kan rumme så meget som mulig information i detailområder
- En model, der også indeholder oplysninger om grundvandsspejl

### 1.3 Metodeovervejelser

VandCenter Syd og det tidligere Fyns Amt har haft en mangeårig tradition for indsamling af hydrogeologiske data. Der foreligger således inden for kommunen en unik samling af data, som ikke foreligger i samme grad i andre byer og inden for andre kommuner, hvilket gør Odense velegnet som fokus for et udviklingsprojekt som dette.

Fra starten har det været besluttet, at modelleringen skulle opbygges i 3D, og at den skulle tage udgangspunkt i de allerede opbyggede data, metoder og vejledninger i den nationale grundvandskortlægning. Der skulle anvendes metoder og værktøjer, som var blevet etableret bl.a. i forbindelse med Fyns Amts ressourcekortlægning og erhvervet via internationale samarbejdsnetværk.

I udvalgte modelområder søges inddraget – i det omfang der kan tilvejebringes et nyt digitalt grundlag inden for projektets økonomiske rammer - resultater fra andre undersøgelsesområder (fx udført i forbindelse med vandforsynings-, jordforurenings- og geotekniske undersøgelser), som ikke ligger i databaser i dag. Endvidere inddrages blandt andet digitale oplysninger fra Odense Kommune og VandCenter Syd vedrørende byplandata og ledningsgrave/net mv. Eventuelle oplysninger om fyldjords beliggenhed, sand omkring tekniske anlæg og huse, befæstede arealer mv. søges også inddraget. Det undersøges desuden, hvordan data vedrørende organogene aflejringer kan inddrages. Det kan f.eks. være potentialekort og vådområde kort (mulighed for vandlidende områder), der ud over de geologiske lag og strukturer også kan have betydning for vandets strømning såvel nede i jorden som på overfladen.

Målet med at organisere og anvendeliggøre "utrusionelle" data i sammenhæng med modellering er, at udvikle et nyt og bedre vidensgrundlag for de øverste fyld- og jordlag under vores byer, og dermed medvirke til et bedre planlægnings- og beslutningsgrundlag for den suburbane forvaltning og håndtering af vores undergrund og grundvand etc.

Resultatet af det geologiske/hydrogeologiske modelprojekt er GIS-kort og 3D-modeller til brug for den rumlige visualisering og administration. Den resulterende 3D modellering skal fokusere på en stor detaljeringsgrad og behovet for et ensartet hydrogeologisk grundlag, især i de overfladenære lag.

Med test udført i detailområder søges sikret, at den udarbejdede model og det udviklede koncept tilgodeser de ønskede behov.

Da problemstillingerne i mange tilfælde forventes at være generelt kendte i andre dele af landet, skal resultaterne fra dette projekt søges formuleret som anbefalinger - til udvikling af et fælles modelkoncept og vedligehold - til gavn for andre kommuner, vandselskaber og vandværker.

## **1.4 Afrapportering**

Som nævnt i forordet er der undervejs i projektet gjort forskellige erfaringer, udviklet metoder og samlet relevant viden for modelleringen af undergrunden. Denne viden er opsamlet i denne hovedrapport samt i en række tekniske rapporter

Det bemærkes specielt, at der foreligger en uddybende beskrivelse af anvendelsen af geotekniske data til planlægning og administration, og en beskrivelse af 3D-modellen som basis for håndteringen af det urbane vandkredsløb. Disse to rapporter forholder sig til den forvaltningsmæssige del af modelkonceptet.

De øvrige, mere tekniske rapporter, omhandler dataindsamling og håndtering, modellering af antropogene og geologiske lag samt lagring af data.

## 2. Projektets hovedresultater

I dette afsnit præsenteres VTU-projektets hovedprodukter. Afsnittet indeholder korte resuméer med en beskrivelse af resultaterne af arbejdet med modellering, data, værktøjer samt uddybede anbefalinger til såvel forvaltning af geotekniske data som anvendelse af den 3D geologiske/hydrogeologiske model som basis for det hydrologiske kredsløb.

Herefter gennemgås de formidlingsaktiviteter, der har været i forbindelse med projektet.

Afslutningsvis kommenteres de ændringer, der har været en nødvendig konsekvens af de undervejs indhøstede erfaringer i projektet.

### 2.1 Modellering

Den geologiske modellering er beskrevet i Delrapport 4 (Sandersen m.fl., 2015), den antropogene modellering er beskrevet i Delrapport 5 (Pallesen & Jensen, 2015), og sammenhængen mellem disse er beskrevet i Delrapport 1 (Mielby m.fl., 2015).

Da den ønskede detaljeringsgrad er afhængig af formålet med modelleringen, er der i VTU-projektet arbejdet med en kommunemodel og detailmodeller, som i begge tilfælde er baseret på samme grundlæggende data (tolkningspunkter).

#### Rumlig geologisk modellering

Der er med udgangspunkt i de omkringliggende modeller fra Den nationale Grundvandskortlægning udarbejdet en rumlig geologisk model, der anvender de til rådighed værende borer og geofysik. Modellen har sin ydre afgrænsning lige uden for kommunegrænsen (se Figur 2).

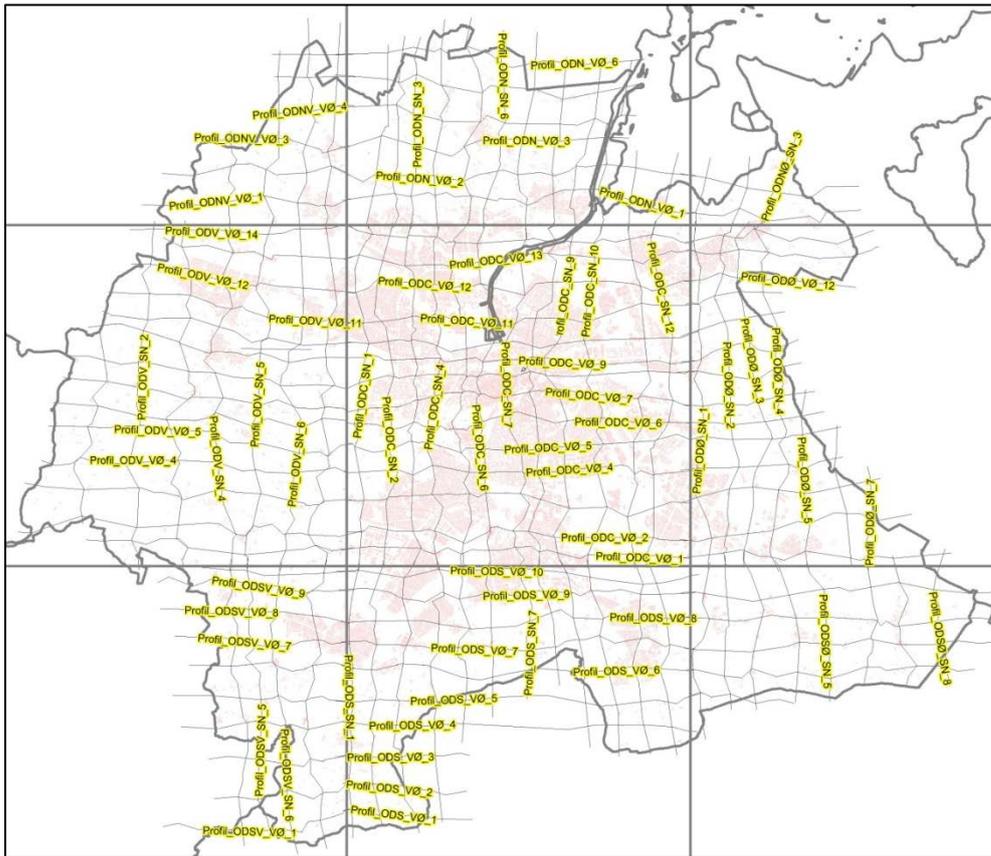
På detailniveau er afgrænsningen af de postglaciale lag forfinet ved hjælp af terrænstudier i den centrale bykerne.

#### Hydrostratigrafisk modellering

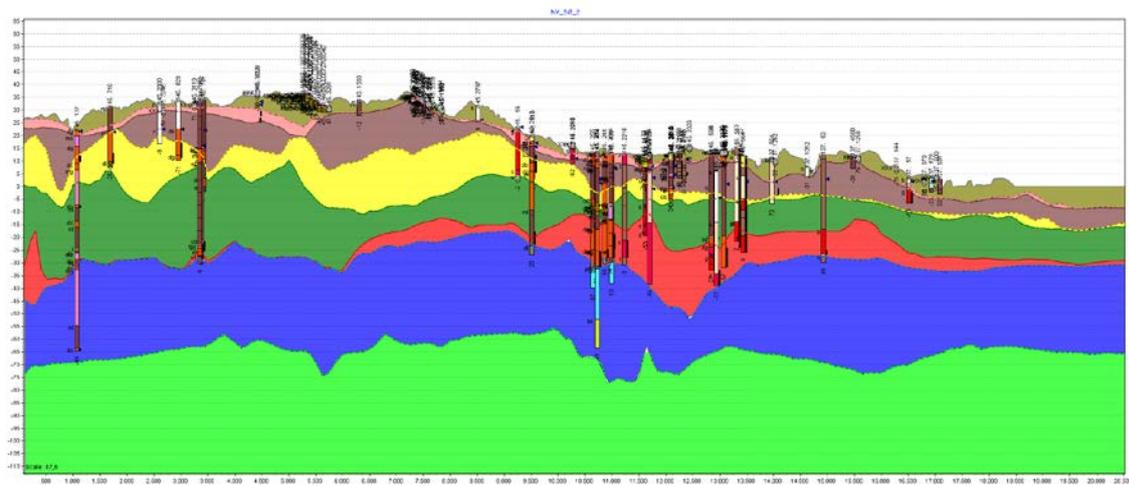
På baggrund af den geologiske tolkning er der som udgangspunkt udarbejdet en hydrostratigrafisk model med gridceller på 100 x 100 m. Modellen tager sit udgangspunkt i den rumlige geologiske modellering og er opbygget med et antal lag svarende til DK-modellens, se Figur 3.

#### Antropogen modellering

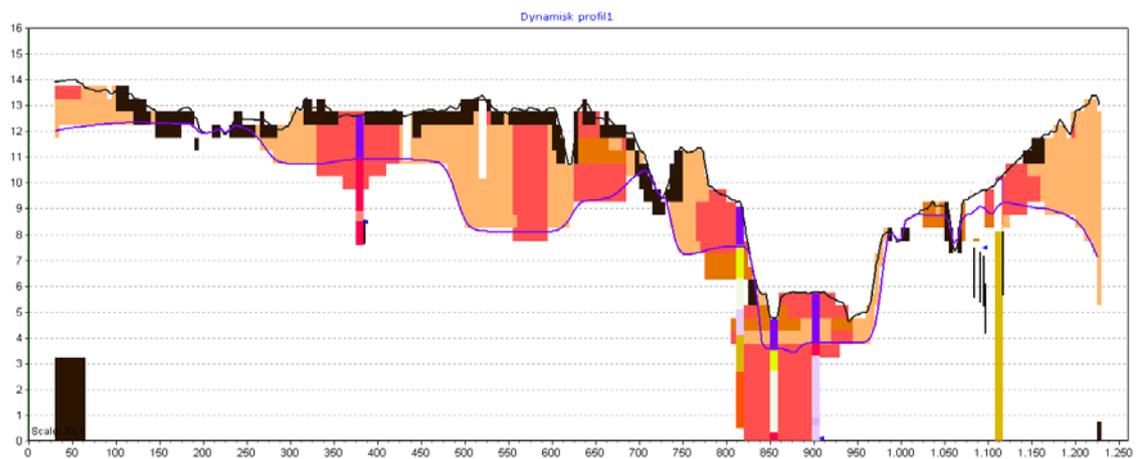
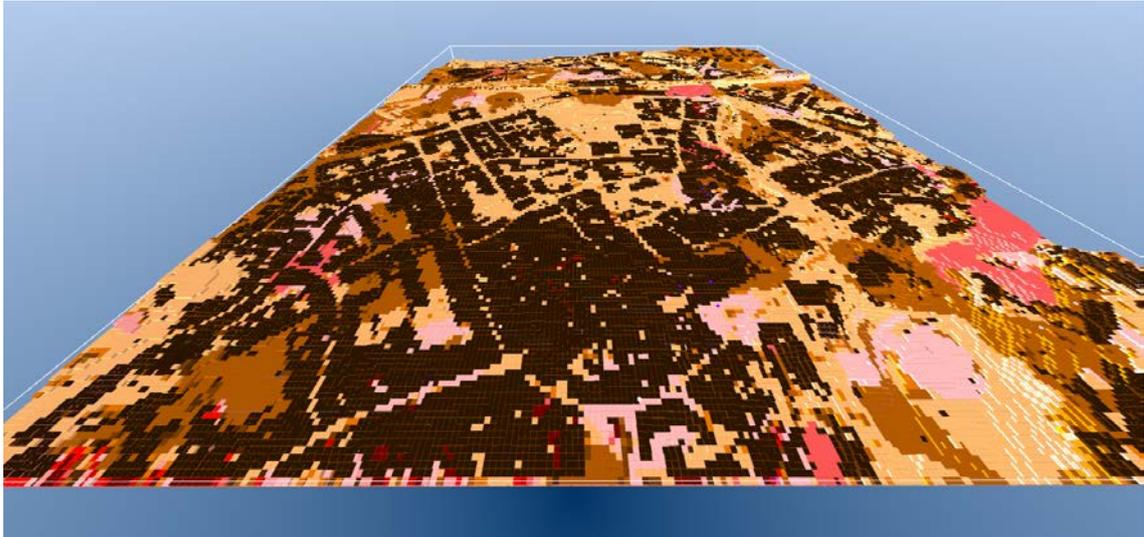
De antropogene aflejringer udgøres af fyldlaget samt huskældre, rørledninger, tunneller mv.) der visse steder erstatter eller stikker under fyldlaget. Inden for et detailområde ved Thomas B. Thriges Gade i Odense er der sket en detailtolkning af såvel fyldlag som infrastrukturen (se Figur 4).



Figur 2. Illustration af modelområdet med etablerede faste tolkningsprofiler oprettet i 3D programmet GeoScene 3D. Figur fra Delrapport 4 (Sandersen m.fl., 2015).



Figur 3. Profil SV-NØ gennem VTU modellen for Odense Kommune. Magasin Lag 3 (lyserød), magasin Lag 5 (gul) og magasin Lag 7 (rød). Eksempel fra Delrapport 4 (Sandersen m.fl., 2015).

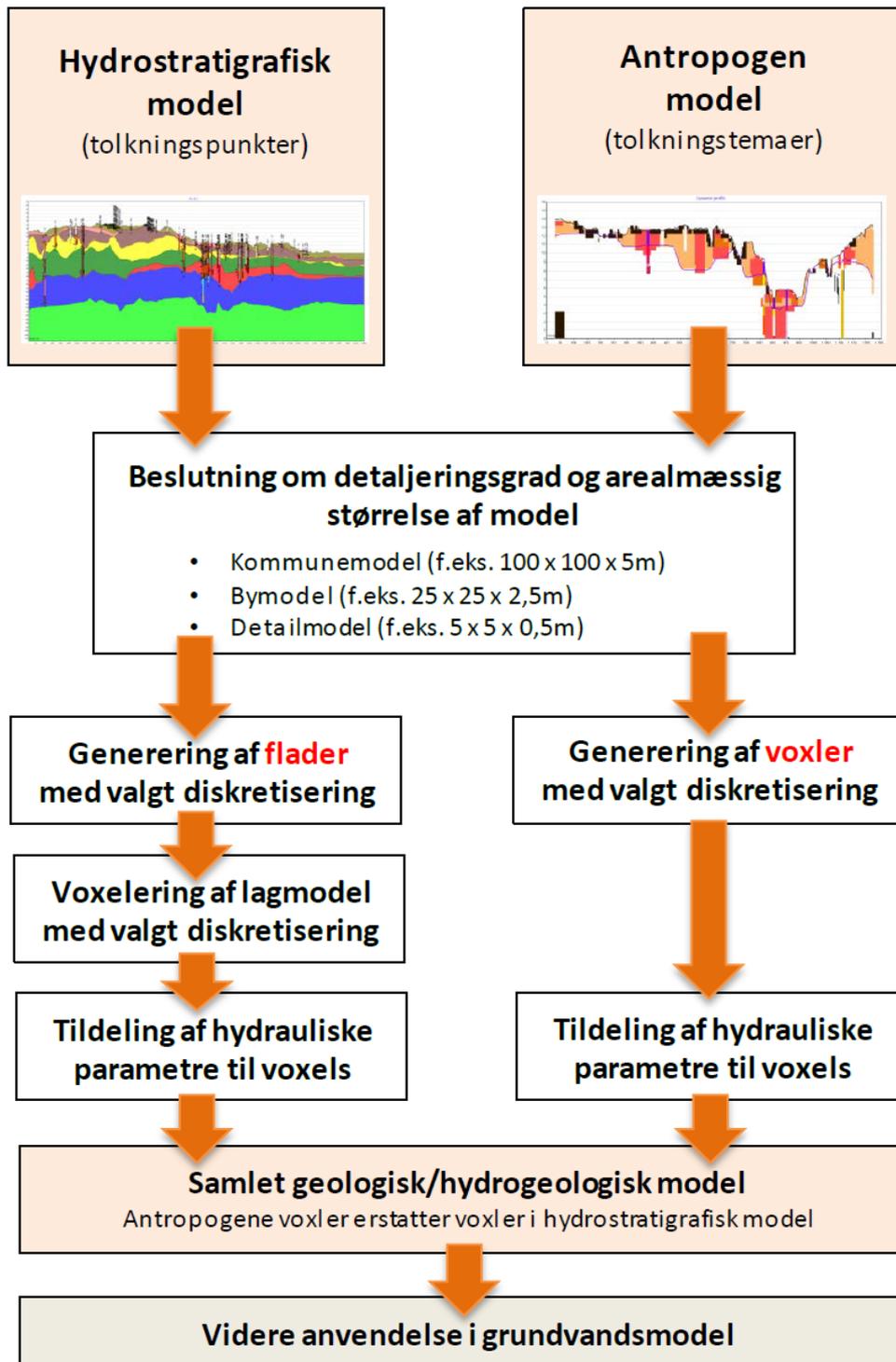


**Figur 4. Antropogen modellering med indarbejdelse af kældre m.m. De brune farver er ler, røde er sand og sortbrune svarer til hydraulisk set uigennemtrængelige lag (fx bygningskældre og fundamenter). Eksempel fra Delrapport 5 (Pallesen & Jensen, 2015).**

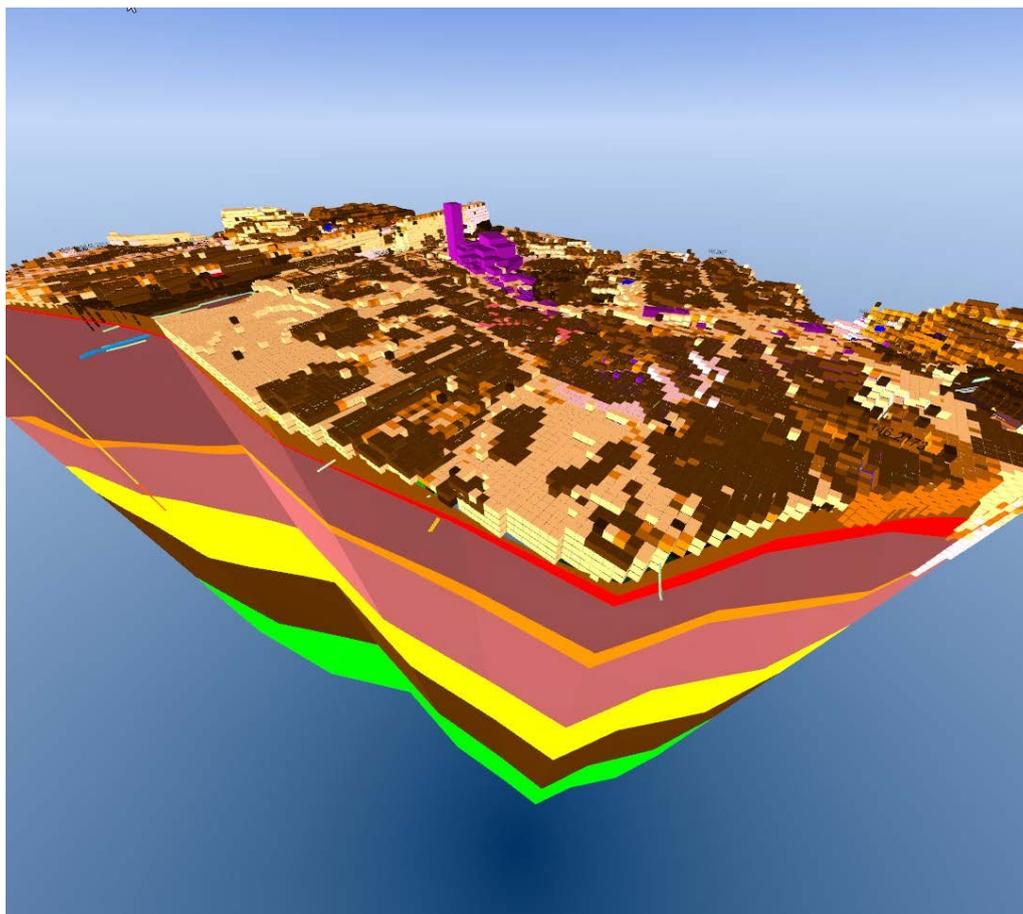
### Anvendelse af forskellig skala og koncepter

Som et resultat af behovsanalysen er der ønske om, at der kun skal opbygges én model, og at den udarbejdede model skal kunne anvendes i forskellig skala. Som følge heraf er der i Delrapport 4 udarbejdet koncepter for håndtering af større detalje (flere lag i den hydrostratigrafiske model), ligesom der i Delrapport 5 er udarbejdet metoder til digital håndtering af de detaljerede oplysninger om fyldlag og infrastruktur. Modelkonceptet kan således – med samme grundlag – anvendes i både stor og lille detaljeringsgrad – se Figur 5. Det er pt. computerens arbejdshukommelse, der sætter begrænsningen for modellens størrelse.

Figur 6 viser et eksempel på en samling af den antropogene og den geologiske model fra detailmodelleringen af Thomas B. Thriges Gade.



Figur 5. Flowdiagram for sammenkobling af hydrostratigrafisk model og antropogen model. Illustration fra Delrapport 1 (Mielby m.fl., 2015).



Figur 6. Eksempel på en samling af den geologiske og antropogene detailmodellering af Thomas B. Thriges Gade (se Figur 3 og 4).

## 2.2 Model- og dataværktøjer

### Håndtering af "ikke-digitale data"

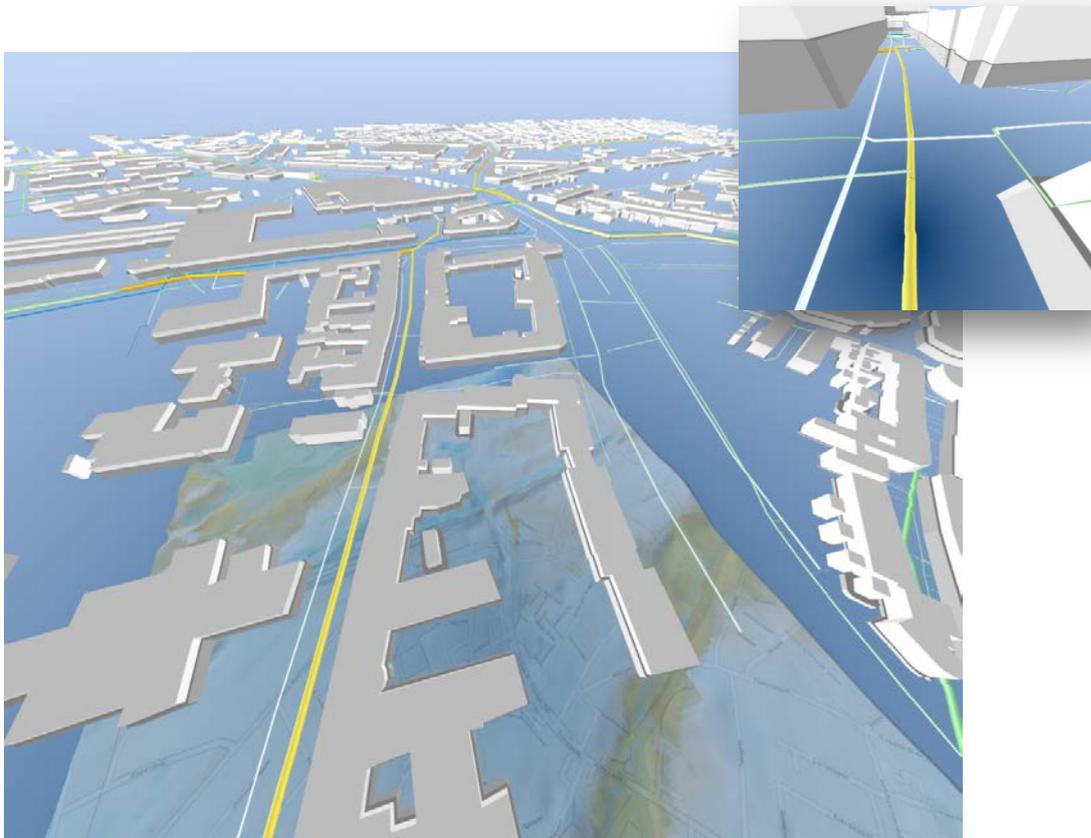
En del af de gennem tiden udførte geotekniske borerer ligger ikke som egentlige data, men som analoge oplysninger om litologi på "papir" (pdf-filer). Derfor er der i projektet udarbejdet faciliteter i modelværktøjet GeoScene3D til digitalisering af sådanne pdf-filer. Denne facilitet er blandt andet brugt til den detaljerede tolkning af fyldlagene, hvor der på borejournalen er flere oplysninger, end der normalt digitaliseres.

### Håndtering af antropogene data

De antropogene informationer hidrører fra lagbeskrivelser i geotekniske borerer og fra infrastrukturdata med oplysninger om bebyggelse, kældre, ledninger, kloakker, veje, tunneller mv, der består af dels selve datasættet for bygværk og ledningsnet, og dels oplysninger om udgravninger, som kan have betydning for vandets strømning i nærområdet, se eksemplet på Figur 7.

Da antropogene data har et tidsmæssigt hierarki, er rækkefølgen for deres anvendelse vigtig. Dels kan der være kommet nye bygningselementer, dels kan den oprindelige jord være erstattet af fyldmateriale ad flere omgange. I forbindelse med projektet er der etable-

ret et "sæt af regler" for alder og rumlig udformning af de forskellige objekter. Tilsvarende er der i GeoScene3D etableret faciliteter til håndtering af disse informationer, således at der kan etableres voxler med de ønskede data.



**Figur 7. Eksempel på ledningsnet og bygninger fra den antropogene detailmodellering af Thomas B. Thriges Gade.**

### **Lagringsfaciliteter i Jupiter**

Der har hidtil kun været mulighed for håndtering af standard boringsinformation i Jupiterdatabasen, og denne indeholder ikke faciliteter til lagring af geotekniske parametre. I forbindelse med projektet er der etableret sådanne faciliteter, således at lagring og adgang til disse data fremover muliggøres for de myndigheder, der måtte ønske det.

### **Visualisering**

Endelig er der arbejdet med forbedret visualisering af modelleringens resultater. Dels ved anvendelsen af modelleringen i GeoScene3D (se eksemplerne i Delrapport 1) og dels ved den lagrede model i Modeldatabasen ved GEUS. I begge tilfælde er vi dog ikke kommet helt i hus med opgaven, blandt andet fordi data fylder meget, der er nye datatyper, og endelig fordi voxler endnu ikke kan lagres i Modeldatabasen.

## 2.3 Administrationspraksis og beslutningsgrundlag

### Adgang til geoteknisk information

I projektet blev det oprindeligt forudsat, at der skulle tages afsæt i eksisterende digitale geotekniske borer, og at der ikke kunne anvendes midler på tilkøb af digitale data. Denne forudsætning holdt dog ikke stik, og det viste sig at være svært og kostede projektet mange arbejdstimer og forsinkelser at få adgang til de allerede foreliggende, digitale geotekniske data ved rådgivere mv.

I forbindelse med projektet er der foretaget en omfattende analyse af brugerne af geotekniske data og konstateret en udstrakt, men også ukoordineret anvendelse og håndtering af de geotekniske data. Erfaringerne med arbejdet har givet anledning til en speciel afrapportering – Delrapport 3 (Laursen m.fl., 2015), der skitserer den eksisterende håndtering af geotekniske data med en påvisning af det rationaliseringspotentiale, der vil være for dette område.

### 3D-modellen som basis for håndtering af det urbane vandkredsløb

I VTU-projektets forudsætninger er der taget udgangspunkt i, at den i gennem projektet etablerede model skal kunne håndtere det urbane vandkredsløb og i den forbindelse eksempelvis nedsivning af vand. I projektet er der undervejs skelet til de øvrige behov, der kan være for forvaltningen af byens vand. Delrapport 1 (Mielby, m.fl., 2015) tager sit udgangspunkt i en beskrivelse af de typiske påvirkninger af vandmiljøet i byområdet og har sit fokus på, hvordan man løser de hydrogeologiske opgaver og problemstillinger. Delrapporten beskriver håndteringen af forskellige skalaer, anvendelse af antropogene data mv. og indeholder desuden en påvisning af et stort potentiale for at forbedre beslutningsgrundlaget i det urbane område. Rapporten beskriver herunder den faglige og tekniske sammenhæng mellem VTU-projektets forskellige delelementer og er dermed med til at beskrive, hvordan VTU-projektet er bundet sammen i en helhed.

## 2.4 Samlede resultater og anbefalinger fra hele projektet

Der er etableret en række generelle værktøjer og anbefalinger, således at VTU-projektets erfaringer kan være til gavn såvel for modellen i Odense, men også modeller i andre byområder i landet.

Særligt vigtige resultater er:

- Beskrivelse af væsentlige påvirkninger af vandkredsløbet i den urbane undergrund
- Analyse af arbejdsgange i forbindelse med håndtering af data om vandets kredsløb
- Systematiseret opsamling og vurdering af data
- Kortlægning af potentialet for forbedring af arbejdsgangen med de geotekniske data
- Work flows for skalauafhængig 3D modellering
- Work flows og værktøjer til 3D modellering af de antropogene aflejringer
- Work flows for samspillet mellem den geologiske og antropogene modellering

- Etablering af mulighed for at kunne lagre geoteknisk information, når denne indberettes til Jupiterdatabasen.

Særligt vigtige anbefalinger er:

- Arbejdet med data i byområderne er **datatungt og skal håndteres strategisk**, så det ikke bliver for omkostningskrævende.
- **Geotekniske borer** er i dag ikke effektivt håndteret, idet hver instans arbejder med egne data, og der således forekommer udbredt "silotænkning". Forbedret adgang er nødvendig.
- Der bør indføres **lovfæstet indberetningspligt for geotekniske data**. Gerne for alle geotekniske borer, men i en opstartsperiode eventuelt alene for geotekniske data, der er bestilt af offentlige myndigheder og offentligt ejede selskaber.
- Det er vigtigt med adgang til alle de grundlæggende data **i fælles databaser**, så der ikke rettes fejlagtigt i modellen, på grund af at datagrundlaget ikke er korrigeret, eller at der mangler indberetning
- Den antropogene og geologiske **modellering skal ske i sammenhæng og målrettet**
- Ét og samme modelgrundlag bør opnås ved **etablering af sammenhængende vedligehold af det opbyggede modelkoncept**, startende med – kvalitetssikrede data – opstilling af en 3D geologisk model – opstilling af en 3D hydrostratigrafisk model – opstilling af en 3D antropogen voxelmodel – samling af geologisk og antropogen model – og endelig lagring af model. Rækkefølgen er vigtig.
- Det er vigtigt med rationel systematisk arbejdsgang, så den tekniske/geologiske **opdatering af modelkonceptet sker successivt** og effektivt, og i sammenhæng med naboområder
- Det er vigtigt at have en på forhånd **fastlagt målsætning, prioritering og styring af arbejdet omkring kommunemodellen**, hvis den skal fungere som et fælles kommunalt forvaltningsgrundlag i fremtiden

De detaljerede anbefalinger og baggrunden for dem er beskrevet i rapporterne fra projektet. De detaljerede anbefalinger kan ses samlet i bilaget bagerst i denne rapport.

## 2.5 Formidling af resultater

Der er undervejs i projektet foretaget præsentation af projektresultater på forskellige konferencer (Hydrologiforum, Dansk Vand konferencen, Danish Water Forum). I international sammenhæng er flere dele af projektet præsenteret på IAHS conference i Rom, og ikke

mindst i EU COST-projektet SUB-URBAN, hvor Odense Kommune også indgår som city-partner.

I Odense Kommune er projektet præsenteret for byggesagsbehandlingen, for arkæologerne og for GIS-afdelingen, ligesom grundvandsafdelingen og klimaafdelingen aktivt deltager i projektet. Region Syddanmark har desuden haft en observatørrolle ved projektets fællesmøder.

## **2.6 Hvad nåede vi ikke - omprioriteringer**

Som nævnt tidligere i dette afsnit var der i projektet forudsat anvendelse af geotekniske data, og på trods af at der i flere omgange var forhåbning om at få adgang til disse data, så lykkedes det ikke. Inddragelse af geotekniske parametre i modelarbejdet blev således slet ikke muliggjort. Således kom projektet til flere steder at være mere datasvagt end forventet ved projektets planlægning.

Det viste sig til gengæld, at der var så mange digitale infrastrukturdata fra kommunen og forsyninger mv., at det blev besluttet at opprioritere den automatiserede håndtering af disse data i GeoScene3D. Lagring af den resulterende bymodellerings voxler er ikke pt. muligt i Modeldatabasen ved GEUS, og derfor vil kun den rumlige geologiske model og den hydrostratigrafiske model blive uploadet til Modeldatabasen.

Arbejdet med fremskaffelsen af geotekniske data tog meget længere tid end forudsat og fik en forsinkende effekt på opstarten af modelleringen. På grund af forsinkelserne i modelleringen, offentliggøres den endelige model for kommuner og vandforsyninger først ved præsentationen i forbindelse med projektets afslutning.

### 3. Modellen som planlægningsgrundlag

Dette afsnit omhandler den 3D geologiske/hydrogeologiske models nytteværdi for håndtering af byens vand og dens potentiale for andre brugere.

Mange byområder er i dag i en rivende udvikling, og anvendelsen af undergrunden intensiveres i disse år ved etablering af vejanlæg, huse, kloaker, tunnelanlæg, udnyttelse til vandindvinding og energilagring såvel som lagring af affald. Det samme gælder for Odense.

For at håndtere disse opgaver på fagligt højt niveau er der brug for

- Konkret viden
- Viden om tidlig udvikling
- Viden om konsekvenser af ændringer (resultater af modelscenarier)
- Sammenstillede informationer

#### 3.1 Modellens nytteværdi - byens vand

Som et led i klimatilpasningen stilles vandselskaber og kommuner over for skærpede krav til håndtering af regnvand både på lokal skala og på byskala. For eksempel skal både hverdagsregn og ekstremregn kunne håndteres i byen på en måde, hvor antallet af skader på huse og andre omgivelser minimeres mest muligt.

Opgaven med klimatilpasning medfører, at der iværksættes aktiviteter, der har til formål lokalt at påvirke det urbane vandkredsløb. Her kan utilstrækkeligt eller helt manglende kendskab til de lokale forhold i undergrunden medføre mange problemer, fx grundvandsforurening, skader på bygningskonstruktioner, eller ændringer i vandkredsløbet, så der sker utilsigtede påvirkninger andre steder i vandløbsoplandet.

Hvor nedsivning via faskiner, wadier m.v. indgår i planlægningen af byområder – hvad enten byområderne er eksisterende eller nye – er det vigtigt at sikre, at det sker i områder, hvor der reelt kan nedsives vand (Jeppesen, 2014), og at grundvandsmagasinerne ikke forurenes af tag- og vejvand.

Samtidigt har de enkelte kommuner og forsyningsselskaber en lang række andre opgaver relateret til vand i byen. Kommunen og forsyningen skal beskytte grundvandsinteresser, administrere nedsivning, etablere forsinkelsesbassiner og rekreative områder, samt vurdere effekt af øget nedbør, ændret indvinding mv., som alt sammen har specielt store konsekvenser i byen og i de bynære områder.

En bedre håndtering af byens vand fremover kræver en større viden om overfladehydrologi, afløbssystemer, geologi og grundvandsforhold, og at denne ideelt set er baseret på information i databaser og modelværktøjer, der herved gør det muligt at foretage nødvendige vurderinger og beregninger - på tværs af de traditionelle discipliner geologi/grundvandsmodellering og overfladevands-modellering/hydraulisk modellering af afløbssystemer.

En forudsætning for at denne håndtering kan ske effektivt er, at de mange og forskelligartede aktiviteter kan integreres systematisk. De forskellige data anvendt sammen med en 3D geologisk/hydrogeologisk model vil være et meget stærkt værktøj til administration og modellering af de mange data, der er nødvendige som beslutningsstøtte for disse opgaver.

## 3.2 Modellens nytteværdi - andre brugere i kommunen

I forbindelse med dataopsamlingen i eksemplet fra Odense er der holdt en del møder og kontaktet andre brugere, som kunne tænkes at bidrage med data og information til opbygningen af modellen. Det er her fremgået, at der er andre inden for kommunens områder, der kan have gavn af at få adgang til forbedrede data og den udarbejdede model.

Arkæologerne har typisk interesse i oplysninger om fyldlaget, og den overfladenære geologi. Arkæologerne bruger selv 3D visualisering, og kan have gavn af, at deres digitaliserede oplysninger kan vises i sammenhæng med geotekniske borer og geologiske data.

Teknikere, der arbejder med byggesager, vej- og baneopgaver har typisk interesse i bygværkernes stabilitet, og de bruger ofte de geotekniske boringsinformationer, og er specielt interesseret i at vide, hvor der er organiske aflejringer og andre lag med reduceret styrke.

Vandforsyninger har typisk interesse i indvindingsmulighederne og beskyttelse af kildepladserne. De bruger typisk den nationale grundvandskortlægnings modeller, men kan inden for kommunen og det urbane område være interesseret i at kende til en mere detaljeret geologi. Desuden har de (og folk der arbejder med spildevand) interesse i kendskab til kommunens infrastrukturdata ved anlægsarbejder.

Råstoffolkene har typisk interesse i de øverste 15 meter af jordoverfladen, og specielt i kommunens yderområder, hvor der i den nationale grundvandskortlægning ikke er udført kortlægning.

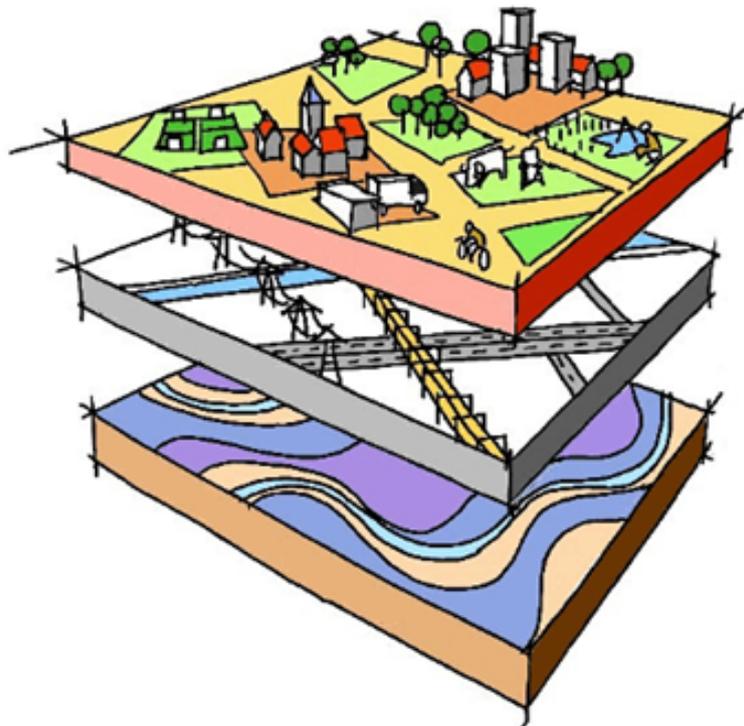
Jordforureningsfolkene har typisk interesse i den geologiske opbygning i nærheden af punktkilderne, således at der kan foretages den bedst mulige oprydning og beskyttelse af det omgivende miljø. De bruger typisk den nationale grundvandskortlægnings resultater, men da punktkilder meget ofte forekommer i byområderne som ikke kortlægges ved den nationale grundvandskortlægning, har de stor interesse i kortlægningen i byerne og især i detailkortlægningen i byområdet.

Teknikere, der arbejder med GIS- og infrastrukturdata, leverer typisk data til kommunens administration og til de operatører, som arbejder med kommunens infrastruktur. Da mange data i modellen kommer herfra, vil der være stor interesse i at få samstemt model og infrastrukturdata, foruden at der kan være potentiel mulighed for øget samarbejde.

Planlæggerne i kommunen anvender i dag typisk udarbejdet kortmateriale fra kommunens tekniske afdelinger. Planlæggerne kan fremadrettet få et bedre planlægningsgrundlag og bedre mulighed for at vurdere på hvilket datagrundlag, deres planlægning beror. Desuden

vil planlæggerne i fremtiden kunne have gavn af en volumetrisk kortlægning (dvs. rumlig og i 3D) af hele undergrunden under det urbane område.

Figur 8 viser forskellige 3 forskellige informationslag, som der tilsammen på sigt vil være nyttige at håndtere i en sammenhæng.



Figur 8. Enhver 3D geologisk/hydrogeologisk kommunemodel bør kunne håndtere følgende 3 informationslag: Arealanvendelse (befolkning, arealudnyttelse, arealplaner), infrastruktur og geologisk undergrund (præsentation COST ved M. van der Meulen).

### 3.3 Nødvendig forbedring af data og model

Selvom den udarbejdede 3D geologiske/hydrogeologiske model til dato udgør det bedste beslutningsgrundlag, så viser erfaringerne fra arbejdet alligevel, at der er mange steder i Odense, hvor datagrundlaget er meget sparsomt, og hvor dette bør forbedres inden anvendelse som beslutningsgrundlag.

Grunden hertil er, at der i byområdet som oftest ikke er samme mængde geofysiske undersøgelser, som der findes i det åbne land. Herudover er der, som omtalt i den geotekniske redegørelse (Laursen m.fl., 2015) ikke fri og nem adgang til geotekniske borer, og endelig er der, for eksempel ved vurdering af muligheden for nedsivning af tagvand, behov for at arbejde i stor detaljeringsgrad, hvor helt lokale forhold har betydning (Jeppesen, 2014).

Enhver vurdering baseret på det hydrogeologiske grundlag bør derfor ideelt set starte med en vurdering af, om datagrundlaget er tilfredsstillende i forhold til den stillede opgave. Hvis

det vurderes, at datagrundlaget skal forbedres, så skal der indsamles oplysninger, som kan dokumentere konsekvensen af det ønskede tiltag.

Det er vigtigt, at disse nye oplysninger kommer ind i modellen, og at denne opdateres. Herved kan de indsamlede data også indgå i beslutningsgrundlaget fremover, og de kan også indgå i vurdering af evt. senere effekter på det omgivende miljø - og evt. fungere som retsgrundlag om der måtte være behov herfor.

### **3.4 Perspektiver for modellen**

En samlet modellering er absolut nødvendig, for at kunne overskue konsekvenser af indgreb i det urbane vandkredsløb. Den udviklede model er i 2015 det bedste grundlag for en samlende ramme for forvaltningen af det urbane vandkredsløb i Odense, og det skal den gerne vedblive med at være. Udfordringen er således at sikre, at modellen også fremover er baseret på de seneste og mest relevante data.

Eksemplet fra Odense har flere steder vist, at planlægningsgrundlaget i Odense kan forbedres. En sådan forbedring af planlægningsgrundlaget kræver en fortsat samlet opdateret model, der nyttiggør alle eksisterende og nye data.

Det er derfor en afgørende pointe, at modellen udgør grundlaget for den fremtidige dataopsamling og -udbygning, og fungerer som den samlende ramme for forvaltningen af vandkredsløbet.

Sammenfattende kan konkluderes, er vi nået rigtig langt i håndteringen af den urbane geologi, men der er åbenlyst et behov for videreudvikling, før vi har det komplette geologiske/hydrogeologiske planlægningsgrundlag for vores urbane områder.

**“This is not the end.  
It is not even the beginning of the end.  
But it is – perhaps - the end of the beginning.”  
W. Churchill, 1942**

## 4. Den tekniske håndtering og vedligeholdelse

Den måde, som kommuner, rådgivere og forsyninger i dag oftest arbejder på, skaber flere udfordringer i forhold til vedligeholdelse af en 3D geologisk/hydrogeologisk model:

- Det er svært at genbruge data (særligt geotekniske data) som følge af rettigheds-mæssige spørgsmål
- Der er ikke en naturlig kobling mellem dataopsamling og informationsproduktion (i dette tilfælde modellering). Data bringes ikke i fuld anvendelse.
- Der arbejdes ofte i kortlægningsprojekter, som udgør større eller mindre arealer, hvilket vanskeliggør et systematisk informationsflow for hele modelområdet
- Vi befinder os i en teknologisk mellemfase i anvendelsen af kort (2D) og modeller (3D)

Det er vigtigt at tage højde for disse udfordringer, når modelleringen skal fungere i praksis. I dette afsnit beskrives den organisering, der er nødvendig for, at en 3D geologisk/hydrogeologisk model kan bibeholdes som et aktivt beslutningsgrundlag for kommunen og de øvrige brugere.

### 4.1 Styring af det videre forløb

For at der kan etableres et samlet administrationsgrundlag i form af en geologisk/hydrogeologisk kommunemodel, der kan fungere som reference og arbejdsredskab for kommunen, rådgivere m.v. skal der etableres processer, der sikrer at man systematisk arbejder sig hen imod etableringen af det nødvendige datagrundlag.

Der er således behov for

- at nye data fremover indsamles som grundlag for administration og planlægning
- at myndighederne stiller krav om indberetning af geologiske og geotekniske data
- at modellen fodres med disse data
- at modellen til stadighed udbygges i takt med de behov, der opstår for en opdateret geologisk model.

Hvis vi arbejder systematisk, så får vi fremover

- én model med alle de geologiske/hydrogeologiske data, som en forvaltning har brug for
- ét grundlag for den hydrologiske modellering til brug for forvaltningen af det urbane vandkredsløb.

Det er vigtigt, at der arbejdes målrettet og systematisk. Mange gange er økonomien til drift og udvikling knap, og så er det ekstra vigtigt, at opgaven med vedligehold og udvikling styres målrettet.

Indledningsvis skal det derfor sikres, at arbejdet med vedligeholdelse og opdatering af modellen bliver nøje og rigtigt forankret. Hvis der hersker tvivl om, hvem der teknisk og organisatorisk har ansvaret for modellen, så svinder integriteten omkring modellen meget hurtigt. Derfor skal det sikres, at der er overblik, at ansvaret for de forskellige opgaver er delegeret, at der foreligger en tidsplan, og at der er en vision for modellens videre liv og udvikling. En sådan opgave varetages bedst af en styregruppe bestående af de vigtigste interessenter og brugere samt de teknikere, der har arbejdet med modellen.

## **4.2 Nye kortlægninger i kommunen**

I skrivende stund forventes resultaterne af 3D-modelleringen at danne grundlag for flere projekter mellem Region Syddanmark, VandCenter Syd og Odense Kommune (Den detaljerede kortlægning af nedsivningsmulighederne i Skibhuskvarteret, Etablering af en overordnet klimamodel for Odense, Beskyttelse af Bolbro og Eksercermarkens kildepladser).

For specielt Odense Kommune og VandCenter Syd vil modellen indgå i nye kortlægninger, og give et bedre beslutningsgrundlag. Og endelig forventes modellen også at kunne tiltrække nye forskningsrelaterede opgaver, fordi der allerede foreligger nye og bedre data, som direkte – og uden de omkostninger, som man vil have andre steder - muliggør anvendelse til nye innovative formål.

Det må forventes – især i de første år, hvor modellen er ny – at der jævnlige vil være behov for at udføre nye detailkortlægninger.

Det vil være hensigtsmæssigt at vurdere, om denne detailkortlægning skal udføres som en direkte opdatering af den eksisterende model, eller om det vil være relevant at udføre den som en selvstændig kortlægning.

I det første tilfælde bør detailkortlægningen udføres i overensstemmelse med de retningslinjer, der er angivet i vejledningerne for modellen. Er kortlægningen udført af personer, som ikke har erfaring med den specifikt opbyggede 3D geologiske/hydrogeologiske model, så bør der foretages en kvalitetsvurdering af den nye kortlægning, inden modellen opdateres med de nye resultater.

I det andet tilfælde bør alle detailkortlægningens data og resultater være til rådighed for en traditionel opdatering af kommunemodellen.

## **4.3 Vedligehold af kommunemodellen**

Ved opbygningen af en kommunemodel bør der – i videst muligt omfang – tages hensyn til alle tilgængelige data i de fællesoffentlige databaser (Jupiter-, GERDA- og Modeldata-basen). Ved modellens etablering vil den derfor være i overensstemmelse med disse.

Med tiden må det forventes, at der spredt ud over kommunens areal vil komme ny viden, som vil være vigtig at få med ind i modelleringen. Det kan være resultater fra (senere) hydrologiske modeller, som viser nye sammenhænge i geologien og de overfladenære og

dybere geologiske lag, men det kan også være nye borer og geofysiske data. I alle tilfælde vil der være behov for at hele modellen sikres opdatering, så beslutningsgrundlaget fortsat er mest muligt up to date (Korsgaard, 2015).

Det vil være en særskilt opgave at tage stilling til, om der er datasvage områder, hvor modellen bør styrkes, herunder hvordan og hvorledes nye data - for eksempel geotekniske data og betydende infrastrukturdata - fremskaffes og indarbejdes.

Strategien for opdateringen bør følge de opstillede retningslinjer og rækkefølgen for den geologiske og antropogene modellering.

#### **4.4 Lagring af modelresultater**

Når kommunemodellen er opdateret, bør resultatet indberettes til Modeldatabasen ved GEUS, så flest muligt kan anvende et opdateret modelgrundlag.

## 5. Økonomi

I dette afsnit gennemgås overvejelser om det økonomiske rationale omkring opbygningen af og vedligehold af den 3D geologiske/hydrogeologiske kommunemodell.

Dernæst gives et eksempel på de omkostninger, der kan opstå, hvis der ikke foreligger et tilstrækkeligt beslutningsgrundlag, og bygherren derfor må omgøre det arbejde, som er udført eller foretage nyanlæg.

Endelig gives eksempler på andre omkostninger i forbindelse med afledning af vand og klimatiltag.

### 5.1 Opdatering kontra ny model

Med færdiggørelsen af VTU projektet er der brugt godt 3 mio. kr. på opbygningen af et administrationsgrundlag for Odense Kommune. Det er klart, at prisen her overstiger, hvad man normalt betaler for en geologisk/hydrogeologisk model. Der er dog også udført et betydeligt udviklingsarbejde og dokumentationsarbejde, foruden at modellen er designet til at være større og mere detaljeret, end en normal model plejer at være. Hertil kommer, at der er udviklet et værktøj til modellering af de antropogene lag under byen.

Hvis kommunemodellen skal holdes up-to-date, skal ajourføring gerne foretages jævnligt, det vil sige 1-2 gange om året og mindst hver tredje år. Hvis der går lang tid inden modellen ajourføres, bliver opdateringen selvsagt mere omfattende.

Hvis der i stedet – som i dag - udføres ad-hoc modellering, så skal der måske etableres to nye detailmodeller om året inden for kommunen. Omkostninger hertil skal sammenlignes med prisen for at vedligeholde en kommunemodell - foruden at der så skal tages stilling til eksistensen af flere modeller og ikke kun én, og som kan bibringe en forvirring om hvilket grundlag, der er det rigtige.

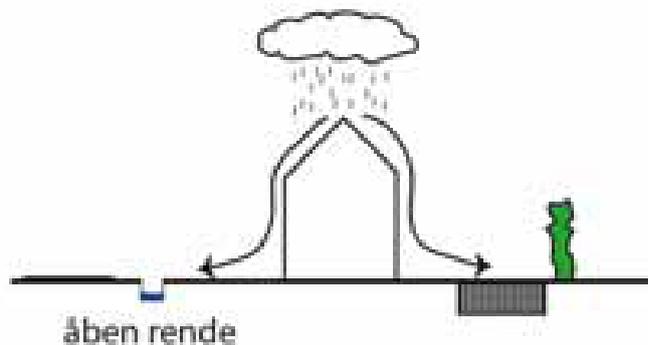
Man kan på den måde argumentere for, at der er et vist (sammenligneligt) beløb, som lige så godt kan anvendes på at vedligeholde og udbygge det fælles beslutningsgrundlag.

### 5.2 Konsekvens af manglende viden – Eksempel fra Odense

I visse tilfælde viser beslutningsgrundlaget for udførelsen af et anlægsarbejde sig at være forkert. Dette medfører meromkostninger, som helt eller delvist kunne have været undgået.

Et relevant eksempel er udstykningen ved Stenløsevej/Dahlsvej i den sydlige del af Odense Kommune. Udstykningen omfattede i alt ca. 80 parceller fordelt på enfamiliehuse og tæt-lav bebyggelse. I henhold til lokalplanen skulle regnvand så vidt muligt håndteres inden for den samlede udstykning. Fra de enkelte parceller skulle VandCenter Syd håndtere 50 % af regnvandet i et fælles regnvandssystem for hele bebyggelsen, mens grundejerne

skulle håndtere den resterende regnvandsmængde på egen grund i faskiner. Vand fra vejarealer, fællesarealer m.v. skulle håndteres i det fælles regnvandssystem, se Figur 9.



Figur 9. Afvandingsprincip for Dahlsvej.

Ud fra tidligere udførte geotekniske undersøgelser og nedsivningstest var det blevet vurderet, at området var egnet til nedsivning. I forbindelse med anlægsarbejderne i 2011-12 blev der udført yderligere nedsivningstests, som viste stærkt varierende nedsivningsforhold inden for kort afstand, og en række af de udførte faskiner, wadier m.v. viste sig i praksis ikke at kunne aflede regnvand i tilstrækkeligt omfang. Dette nødvendiggjorde en række omprojekteringer og etablering af overløb fra nedsivningselementerne til VandCenter Syds spildevandssystem. Den oprindelige forudsætning om, at regnvand skulle så vidt muligt skulle håndteres inden for området, viste sig således meget vanskelig at fastholde i praksis.

En meget våd sommer medførte yderligere fordyrelser af projektet, og endelig blev omkostningerne til rådgivning noget dyrere end forventet bl.a. som følge af, at rådgiver på daværende tidspunkt ikke havde stor erfaring med lokal afledning af regnvand.

En detaljeret kortlægning af nedsivningsforholdene og opstilling af en samlet geologisk model for området ville kunne have givet et væsentligt større overblik over mulighederne for at håndtere regnvandet i området, og en række omprojekteringer kunne formentlig have været undgået.

De samlede projektkomkostninger udgjorde 12,5 mio. kr., heraf entreprenøromkostninger på 8,7 mio. kr. Det vurderes, at 1 – 1,5 mio. kr. af entreprenøromkostningerne kan henføres til et utilstrækkeligt kendskab til de konkrete geologiske forhold. Endvidere anslås af VandCenter Syd, at dette forhold har medført øgede omkostninger til rådgivning på skønsmæssigt 0,5 mio. kr.

Samlet set kan det således anslås af VandCenter Syd, at meromkostningerne som følge af et utilstrækkeligt kendskab til de geologiske forhold har udgjort ca. 10-15 % af de samlede omkostninger for projektet.

De herved fremkomne meromkostninger skal sammenlignes med de omkostninger, som der indledningsvist kunne være brugt til en detailkortlægning af området samt opdatering af den geologiske og antropogene kommunemodell.

En sådan detailkortlægning kunne omfatte digitalisering af eksisterende geotekniske boringer, etablering af nye boringer, måling af vandspejl, analyse af data, kortlægning af fyldlag og infrastruktur mv. (Jeppesen, 2014).



## 6. Internationalt samarbejde og erfaringer

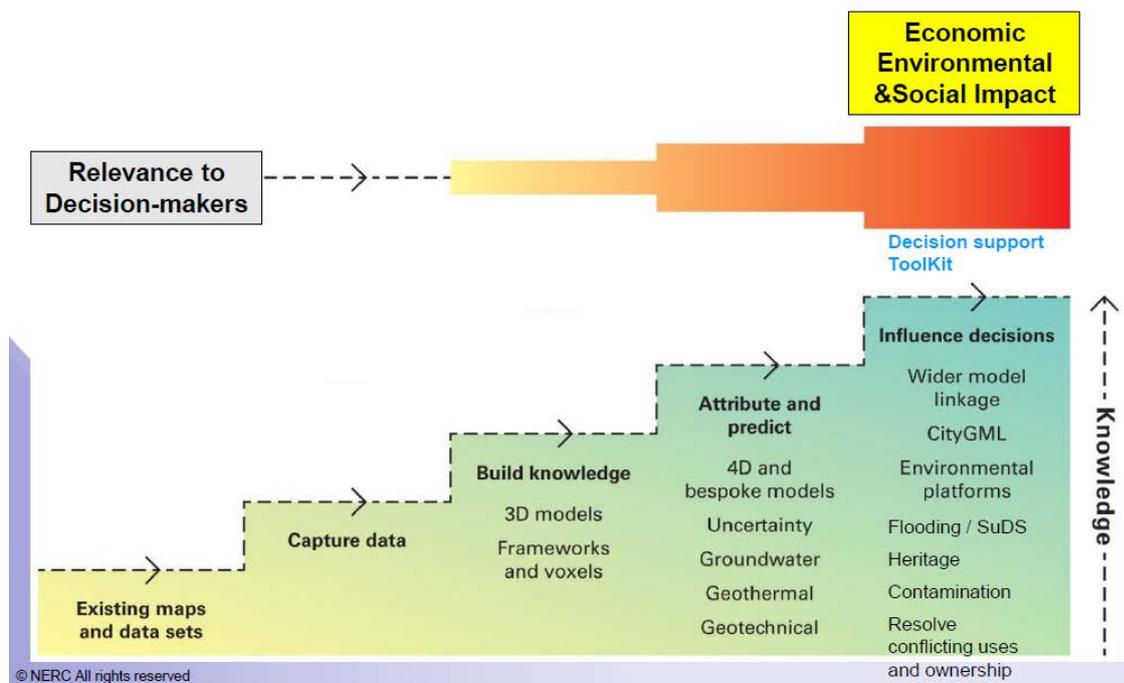
Parallelt med VTU-projektet har deltagerne fra GEUS, Odense Kommune, I-GIS A/S og VandCenter Syd undervejs løbende deltaget i en EU COST Action: TU1206 "SUB-URBAN - A European network to improve understanding and use of the ground beneath our cities" (COST, 2015). Projektet kører fra 2013-2017.

I dette afsnit beskrives, på hvilket stade Odense Kommune/Danmark er i forhold til vores omgivende lande.

### 6.1 Formål

COST-netværk har som formål at forbedre forståelsen og anvendelsen af undergrunden under vores byer. I projektet deltager Danmark sammen med 27 partnerlande, hvor hovedparten af partnerne kommer fra Europa. COST-projektet er med til at give et fremragende overblik over situationen i andre større europæiske byer.

Centralt for SUB-URBAN er formålet at sætte fokus på behovet for viden til brug for beslutningstagerne i byerne, idet der andre steder - ligesom Odense - igennem mange år ikke har været en systematisk kortlægning, som har opbygget et beslutningsgrundlag for forvaltningen af undergrunden i det urbane område. Målet i SUB-URBAN er, som vist nedenfor, successivt at påpege det nuværende (lave) stadi, og behovet for at udarbejde forbedrede værktøjer til forvaltningen af undergrunden i byerne (se Figur 10).



Figur 10. Trinvis vidensopbygning med henblik på etablering af beslutningsgrundlag for forvaltning af undergrunden (ref. COST, 2015).

## 6.2 Hvor er vi i forhold til data?

Det er ikke alle lande, der ligesom Danmark anvender grundvand til drikkevand. De lande, der benytter grundvand, har adgang til viden om undergrunden via de hertil etablerede indvindingsboringer.

Danmark har en ekstra fordel her, fordi der ikke bare er en lovbehaftet indberetning af vandboringer, men også krav om certificering af brøndborerne, således at der ikke bare indberettes oplysninger, men også geologiske data, der er sammenlignelige. Danmark har generelt stor viden om undergrunden uden for byområderne på grund af den nationale grundvandskortlægning, hvor der er sat boringer og foretaget geofysiske undersøgelser med henblik på beskyttelsen af grundvandsressourcen. GEUS' arbejde med digital adgang til fælles-offentlige data er langt fremme.

Inden for de urbane områder er der dog som oftest de geotekniske boringer, der udgør den vigtigste informationskilde. Der er stor forskel i adgangen til denne geologiske information. I SUB-Urban er der foretaget en kortlægning af, hvordan adgangen er til de geotekniske data. Kortlægningen viser, at der nogle steder (fx statsadministrationen i Hamborg) er systematisk opsamling af geotekniske boringsdata, mens der andre steder er etableret formelle samarbejder mellem rådgivere og det offentlige om vidensopbygning, fx Glasgow (ASK). I Danmark er der ikke tradition for fælles lagring af geoteknisk information, og digitale geotekniske data skal således digitaliseres af én selv, hentes ved partnere, alternativt købes hos rådgiverne. Her er vi således ikke tilsvarende langt fremme.

## 6.3 Hvor er vi i forhold til modellering?

Danmark har generelt mange modelleringer af undergrunden uden for byområdet på grund af den nationale grundvandskortlægning, hvorfor Danmark her indtager en helt speciel position. Der foreligger også en overordnet national hydrostratigrafisk model, DK-modellen. Der er en helt unik adgang til disse modeldata fra Modeldatabasen ved GEUS.

Inden for det urbane område er der etableret ad hoc modelleringer i forbindelse med beskyttelse af kildepladser og i forbindelse oprydning af forureninger.

Der er mange steder i udlandet, hvor der foretages modelleringer af byområdet, ligesom det er sket i eksemplet fra Odense, men der dog kun relativt få, som er målrettet mod etablering af et fremtidigt administrationsgrundlag for byen og som inkorporerer infrastrukturdata. Helsingfors er her i blandt.

I Holland er modelleringen af geologien indarbejdet i lovgivningen for den geologiske undersøgelse (TNO). I andre sammenhænge er der etableret partnerskaber mellem byerne og de geologiske undersøgelser, for eksempel ses det mellem Glasgow By og British Geological Survey.

De fleste steder er der ikke løbende finansiering af vedligeholdelsen af en geologisk model som administrationsgrundlag.

## 6.4 Hvor er vi i forhold til planlægning?

Generelt ses der rundt om i Verden begrænset planlægning, der inddrager undergrunden under byerne, og der er adskillige eksempler på konfliktende anvendelser og planlægning.

Oslo, Hamborg og Hong Kong er gode eksempler på byer, hvor myndighederne – som en del af organisationen - har inkorporeret 3D geologisk modellering i administrationen af byen. I Rotterdam Kommune er der tillige arbejdet med 3D planlægning af undergrunden, men den er ikke fuldt implementeret i kommunens planlægningsgrundlag. Glasgow har i tæt samarbejde med British Geological Survey arbejdet med etablering af et informationsflow, der såvel understøtter planlægning, forskning og administration, se Figur 11 nedenfor.



Figur 11. Sammenhæng mellem ny viden (data), videnskab, modellering og planlægning (ref. BGS)

## 6.5 Generelle betragtninger fra SUB-URBAN

Generelt er inden for de seneste 200 år sket en befolkningsbevægelse ind mod byerne, og dermed har der været stor arealmæssig udvikling af byerne.

Den urbane undergrund spiller en helt central rolle for sikring af en bæredygtig udvikling af byerne, men forvaltningen af undergrunden har ikke haft tidssvarende udvikling, og der er et stort behov for adgang til information, databaser, viden og værktøjer.

Formålet med at udvikle/tilvejebringe adgang til viden om undergrunden under vores byer og den nødvendige teknologi bør (ifølge SUBURBAN chairman S. D. Campbell) være at understøtte dem, der planlægger og administrerer byerne og bypolitikken, herunder:

- For at maksimere de økonomiske, sociale og miljømæssige fordele, den bæredygtige udvikling af undergrunden og dens naturlige ressourcer, især i forhold til grundvand, geotermisk energi, samt muligheder for bæredygtige LAR-løsninger.
- For at erkende og ansvarligt håndtere de modstridende krav, som den stigende brug af undergrunden, herunder natur-baserede løsninger vil medføre - og som kræver state-of-the-art statiske og dynamiske 3D samt prediktive 4D modelleringer af undergrunden, og som er baseret på forskning, effektiv overvågning samt 3D og 4D informationssystemer.
- For at beskytte undergrundens økosystemer, som byerne er afhængige af (dog ofte med begrænset anerkendelse), deres bæredygtighed, såvel som at beskytte mod de naturskabte ulykker, som byerne kan blive udsat for - og som kræver robuste systemer, for eksempel volumetrisk 3D planlægning af byernes undergrund.

## 7. Landsdækkende perspektiv

I Danmark findes der beskrivelser af, hvordan planlægning og myndighedsarbejde skal udmøntes i det åbne land i forbindelse med for eksempel grundvandskortlægning og vand-samarbejder, blå/grønne klimatilpasningsløsninger, m.v. som munder ud i planer for de respektive områder. Men der mangler tilsvarende planlægning med tilhørende planer for undergrunden og vandkredsløbet under byområderne.

De foreliggende modelleringer for byområderne har i dag andre (og mere) specifikke mål end set i dette projekt. Det kan for eksempel være til metrobyggeri, motorvej, klimamodelle-ring af vandafstrømning, kortlægning af forureningsfaner, etablering af større bygværker, beskyttelse af kildepladser. Disse modeller bliver ofte genbrugt til andre formål, men sjældent vedligeholdt med den bevågenhed, som for eksempel er krævet for at kunne indgå som et planlægningsredskab for nedsivning af vand, sådan som det er beskrevet i dette projekt.

I VTU-projektet er opnået en lang række resultater, som er helt afgørende for muligheden for etablering af en integreret 3D geologisk/hydrogeologisk model for forvaltningen af undergrunden for Odense, og på sigt også for andre byområder.

Der foreligger i dag ikke en sammenhængende forvaltning af byernes geologi set i forhold til bæredygtig udnyttelse af undergrunden i byerne. Der er umiddelbart behov for på landsplan at samarbejde om blandt andet indsamling og adgang til geotekniske data, om adgang til gode geologiske data og om anvendelsen af infrastrukturdata.

Der er behov for at de implicerede aktører bliver enige om, at samarbejde om et fælles værktøj, og om at der skal etableres en teknisk faglig og en ledelsesmæssig organisering.

På det lokale plan er følgende aktører relevante at inddrage:

- De lokale planlæggere
- De lokale grundvandsadministratorer
- Vandselskaber
- Andre brugere (relevante vigtige operatører, Regionen fx)
- Infrastrukturansvarlige (GIS)
- Modeladministration (data, model og hydrogeologisk sammenhæng)

På landsdækkende plan er yderligere følgende aktører relevante:

- Miljø- og Fødevarerministeriet (sikring og håndhævelse af lovgivning og data)
- Fagdatacenter (sikring af boringsdata af god kvalitet)
- Fagdatacenter (sikring af data- og modelkvalitet og sammenhæng)

For at fremme udviklingen af geologiske/hydrogeologiske modeller i byområderne til brug for forvaltningen af undergrunden er der behov for, at der etableres forbedrede regler, der sikrer en løbende indberetning af især geotekniske data men også adgang til infrastrukturdata, således at disse data kan nyttiggøres i den fremtidige forvaltning af undergrunden.

## 8. Referencer

COST, 2015:

[http://www.cost.eu/COST\\_Actions/tud/Actions/TU1206](http://www.cost.eu/COST_Actions/tud/Actions/TU1206)

Hansen, M., Wiese, M. B., Gausby, M. & Mielby, S., 2015:

Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Delrapport 6 - Teknisk håndtering og lagring af bygeologiske data og modeller. Udarbejdet i VTU-projektet.

Häggqvist, E. & Söderholm, P., 2014:

The economic value of geological information: Synthesis and directions for future research, Resources Policy 43 (2015). P. 91–100

Jeppesen, J., 2014:

Udvikling af en urban-hydrologisk model til simulering af af nye innovative LAR-løsninger til lokal håndtering af både regnvand og grundvand (LARG). Afrapportering af VTU-projekt 29. December 2014.

Korsgaard, A., 2015:

Rådgivernes anvendelse af kortlægningen. Vintermøde om Jord- og Grundvandsforurening, Vingsted 10.-11. marts 2015. P. 11-12.

Kristensen, M., Sandersen, P. & Mielby, S., 2015:

Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Delrapport 2 – Indsamling og vurdering af data. Udarbejdet i VTU-projektet

Laursen, G., Mielby, S. & Kristensen, M., 2015:

Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Delrapport 3 - Geotekniske data til planlægning og administration. Udarbejdet i VTU-projektet

Mertz, E.L., 1974:

Odense og omegns jordbundsforhold: En ingeniørgeologisk beskrivelse. DGU Rapport Nr. 9, 1974.

Mielby, S., 2013:

Behovsanalyse, Status pr 2013.10.16, Udarbejdet i VTU-projektet i forbindelse med MP1-afrapportering

Mielby, S., Laursen, G., Linderberg, J., Sandersen, P. & Jeppesen, J., 2015:

Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Delrapport 1 - 3D-modellen som basis for håndteringen af det urbane vandkredsløb. Udarbejdet i VTU-projektet

Pallesen, T. M. & Jensen, N.-P., 2015:

Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Delrapport 5 - Interaktiv modellering af antropogene lag. Udarbejdet i VTU-projektet

Sandersen, P., Kristensen, M. & Mielby, S., 2015:

Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Delrapport 4 - 3D geologisk/hydrostratigrafisk modellering i Odense. Udarbejdet i VTU-projektet



## 9. Bilag – Samlede anbefalinger

Dette afsnit indeholder en komplet samling af anbefalingerne fra hele VTU-projektet. Der er indledningsvist i hvert underafsnit refereret til den bagvedliggende rapport.

Særligt vigtige anbefalinger er:

- Arbejdet med data i byområderne er datatungt og skal håndteres strategisk, så det ikke bliver for omkostningskrævende.
- Geotekniske borer er i dag ikke effektivt håndteret, idet hver instans arbejder med egne data, og der forekommer udbredt "silotænkning". Forbedret adgang til geotekniske data er nødvendigt.
- Der bør indføres lovfæstet indberetningspligt for geotekniske data. Gerne for alle geotekniske borer, men i en opstartsperiode eventuelt alene for geotekniske data, der er bestilt af offentlige myndigheder og offentligt ejede selskaber.
- Det er vigtigt med adgang til alle de grundlæggende data i fælles databaser, så der ikke rettes fejlagtigt i modellen, på grund af at datagrundlag ikke er korrigeret, eller at der mangler indberetning.
- Den antropogene og geologiske modellering skal ske i sammenhæng og målrettet.
- Ét og samme modelgrundlag bør opnås ved etablering af et sammenhængende vedligehold af det opbyggede modelkoncept, startende med – kvalitetssikrede data – opstilling af en 3D geologisk model – opstilling af en 3D hydrostratigrafisk model – opstilling af en 3D antropogen voxelmodel – samling af geologisk og antropogen model – og endelig lagring af modelresultater. Rækkefølgen er vigtig.
- Det er vigtigt med rationel systematisk teknisk arbejdsgang, så den tekniske/geologiske opdatering af modelkonceptet sker successivt og effektivt, og i sammenhæng med naboområderne.
- Det er vigtigt at have en på forhånd fastlagt målsætning, prioritering og styring af arbejdet omkring kommunemodellen, hvis den skal fungere som et fælles kommunalt forvaltningsgrundlag i fremtiden.

## 9.1 Synteserapport

I eksemplet fra Odense giver den i VTU-projektet udarbejdede 3D geologiske/hydrogeologiske model det til dato bedste grundlag for forvaltning af undergrunden i Odense Kommune i år 2015.

Datagrundlaget for den udarbejdede model har flere steder, på trods heraf, vist sig at være utilstrækkeligt, når der arbejdes på matrikelniveau. Modellen skal derfor suppleres med flere data, hvis den skal fungere som tilstrækkelig grundlag for forvaltningen af det urbane vandkredsløb i delområder af Odense Kommune.

Ved beslutninger, der inddrager undergrunden, bør der derfor indledningsvist foretages screening af datagrundlaget, så det kan vurderes om der foreligger tilstrækkelige data og viden til at foretage beslutninger og konsekvensvurderinger på.

Det er vigtigt, at den opbyggede 3D model til stadighed udbygges og forbedres med henblik på fortsat at udgøre det bedst tænkelige grundlag for forvaltning og planlægning.

Det anbefales derfor,

- at nye data fremover indsamles som grundlag for planlægningen.
- at myndighederne stiller krav om indberetning af geologiske og geotekniske data
- at myndighederne rådgiver private bygherrer til at stille krav om indberetning af geologiske og geotekniske data
- at modellen fodres med disse data
- at modellen til stadighed udbygges i takt med de behov, der opstår
- at der på nationalt plan indføres krav om indberetning af geologiske og geotekniske data

Der er flere udfordringer i forhold til at kunne håndtere og vedligeholde den 3D geologiske /hydrogeologiske model:

- Det er svært at genbruge visse data (især geotekniske data) som følge af rettmæssige spørgsmål
- Der er ikke en naturlig kobling mellem dataopsamling og informationsproduktion (i dette tilfælde modellering)
- Der arbejdes ofte i kortlægningsprojekter, som udgør større eller mindre arealer, hvilket vanskeliggør et systematisk informations flow for hele modelområdet
- Vi befinder os i en teknologisk mellemfase i anvendelsen af kort (2D) og modeller (3D)

Det anbefales at tage højde for disse udfordringer

- Ved at etablere en systematisk teknisk arbejdsgang, så den tekniske/geologiske opdatering af modelkonceptets sker successivt og effektivt, og i sammenhæng med naboområderne

- Ved at fastlægge en målsætning og prioritering af arbejdet omkring kommunemodellen, så den kan fungere som et fælles kommunalt forvaltningsgrundlag i fremtiden
- Ved at udvikle og opdatere modellen - gerne hvert år og mindst hvert 3. år
- Ved at sikre, at opdateringer følger en fast udarbejdet fremgangsmåde for modelleringen, da der er tale om et administrationsgrundlag for myndighedsafgørelser
- Ved at aftale en koordineret udvikling, så der fortsat kun er én model som beslutningsgrundlag
- Ved at afsætte tid og økonomi af til opgaverne med opdatering og koordinering
- Ved at budgettere i forhold til anskaffelse af data, hvis resultatet af projektet er afhængig af bestemte datatyper. Det er vigtigt, når der arbejdes i byområder, fordi der kan indhentes mange "nye" data (fx geotekniske data og antropogene data), som ikke ligger på et let tilgængeligt format
- Ved at etablere en teknisk og administrativ organisation vedrørende modellens vedligehold (styregruppe og teknisk projektstyring)

## 9.2 3D-modellen som basis for håndtering af det urbane vandkredsløb

Der henvises til Delrapport 1 - 3D-modellen som basis for håndteringen af det urbane vandkredsløb (Mielby m.fl., 2015), hvor der er udarbejdet følgende anbefalinger. Baggrunden for anbefalingerne ses i den omtalte rapport.

De følgende hydrogeologiske forudsætninger sætter rammen for den 3D geologiske/hydrogeologiske modellering af det urbane vandkredsløb

- Klimatiltag skal ses i sammenhæng med øvrig menneskeskabt og naturlig påvirkning af det hydrologiske vandkredsløb.
- Påvirkninger skal belyses stedspecifikt – og ikke alene begrænset til de steder, hvor tiltaget sker, og som summen af hændelser og påvirkninger i det hydrologiske opland.
- Ændringer af det hydrologiske kredsløb og påvirkninger bør ses over flere år.
- Vandspejlet og geologien er vigtige parametre for at vurdere effekten af påvirkninger.

Modellering af antropogenet og geologien skal ses i sammenhæng.

Ét og samme modelgrundlag bør opnås ved etablering af et sammenhængende vedligehold af det opbyggede modelkoncept, startende med – kvalitetssikrede data – opstilling af en 3D geologisk model – opstilling af en 3D hydrostratigrafisk model – opstilling af en 3D antropogen voxelmodel – samling af geologisk og antropogen model – og endelig lagring af modelresultater. Rækkefølgen er vigtig.

Der er ofte behov for flere data til løsning af problemer på detailniveau – der skal skaffes flere data for at sikre et tilstrækkeligt beslutningsgrundlag. Det anbefales at etablere en arbejdsgang, så data opsamles systematisk til brug for kommunemodellen.

Der bør etableres en arbejdsgang så kommunemodellen opdateres systematisk med relevante detaljerede data, således at datamodellen på én og samme tid tilgodeser både kommunal skala og detaljeret brug.

Antropogene data inddrages i modelleringen af undergrunden

- Der er mange antropogene data (oplysninger om fyld og infrastruktur) – denne information opdateres hyppigere end geologien og bør så vidt muligt håndteres maskinelt.
- Antropogene data har et tidsmæssigt hierarki. Rækkefølgen er vigtig. Dels kan der være kommet nye bygningselementer, dels kan den oprindelige jord ofte kan være erstattet af fyldmateriale i flere omgange.
- Bydata (oplysning om infrastruktur) er ikke altid tilstrækkelige, f. eks. er oplysninger om kælder beliggenhed og dybde er ikke nøjagtige nok til anvendelse i forhold til at forudsige noget om vand i kælder-problemer.

Der er behov for at arbejde videre med at visualisere modelresultaterne på en praktisk måde – både med modellens resultater alene, men også i sammenhæng supplerende hydrogeologiske temaer.

### 9.3 Indsamling og vurdering af data

Der henvises til Delrapport 2 - Indsamling og vurdering af data (Kristensen m. fl., 2015), hvor der er udarbejdet følgende anbefalinger. Baggrunden for anbefalingerne ses i den omtalte rapport.

Det er indledningsvis vigtigt at tage udgangspunkt i hvilke data, der kan bruges, og til hvad. Det er ligeledes vigtigt at prioritere data i forhold til deres forventede anvendelse.

En dataoversigt giver et godt overblik, og den er et godt redskab til at prioritere, hvor det er vigtigst at hente data. En dataoversigt med angivelse af prioritering og kvaliteten af de indhentede data er derfor et brugbart værktøj i projekter, hvor der indgår mange forskellige data (se bilag 1 i Delrapport 2).

Der må påregnes tid til analyse og validering af boringsdata og til indsamling af boredata fra andre datakilder end GEUS.

Boredata er vigtige, men også ufuldstændige og dermed arbejdskrævende at få ajourført. Det er vigtigt i så stor udstrækning som muligt at få rettelser til boredata indsendt til de fælles-offentlige databaser, således at de fremstår korrekt ved senere opdatering af modelleringen.

Det er en fordel at skelne mellem antropogene data og geologiske data, og at håndtere dem adskilt.

Der bør anvendes en oversigt over rækkefølgen af de temaer, der skal bruges til det antropogene lag. Det er vigtigt, at rækkefølgen opstilles, så det altid er yngste element, der fremstår "øverst" i den endelige antropogene model.

Når der arbejdes i byområder hvor der ikke tidligere er opstillet digitale modeller, vil der kunne indhentes mange nye data (f.eks. geotekniske data og antropogene data), som ikke ligger på et format, der er let tilgængeligt. Det er derfor vigtigt at der budgetteres i forhold til anskaffelse af data, hvis resultatet af projektet er afhængig af bestemte datatyper.

## **9.4 Geotekniske data til planlægning og administration**

Der henvises til Delrapport 3 - Geotekniske data til planlægning og administration (Laursen m.fl., 2015), hvor der er udarbejdet følgende anbefalinger. Baggrunden for anbefalingerne ses i den omtalte rapport.

Fremtidig fælles dataadgang til geotekniske data skal sikres til brug for planlægning, tilladelser og opfølgning (overvågning).

Håndteringen af ikke mindst byrelateret information skal være mere effektiv

- Det anbefales, at geotekniske data indsamles boringsvis (og ikke sagsvis), således at hele den detaljerede information er til rådighed med det samme – når der arbejdes på matrikelniveau.
- Det er vigtigt, at de indsamlede geotekniske data kun indsamles og digitaliseres én gang

- Det er vigtigt, at der hele tiden er adgang til alle geotekniske data, så det fulde grundlag er tilgængeligt, når modellen opdateres
- Det er vigtigt, at få rettet konstaterede fejl i Jupiter, så man ikke introducerer fejl, når modellen senere opdateres.

Geotekniske data bør prioriteres efter deres alder, da seneste data generelt er mere korrekt fortolket/kodet, digitaliseret og kotesat.

## 9.5 3D geologisk/hydrostratigrafisk modellering

Der henvises til Delrapport 4 - 3D geologisk/hydrostratigrafisk modellering i Odense (Sanderse n m.fl., 2015), hvor der er udarbejdet følgende anbefalinger. Baggrunden for anbefalingerne ses i den omtalte rapport.

På baggrund af den geologiske modellering anbefales det, at:

- **der gøres en række indledende modelovervejelser:**
  - Hvad er det den planlagte model skal kunne?
  - Forventes det at alle eller kun specifikke problemstillinger kan løses med modellen?
  - Hvor forventer vi at vi vil få problemer i løbet af modelleringen, og kan vi imødekomme disse helt fra starten?
- **der udpeges fokuspunkter for den geologiske modellering:**
  - Er der noget i den geologiske opbygning, som kræver speciel fokus ift. formålet med den specifikke modelopgave?
  - Er der noget i vores indledende kendskab til data, der gør, at der er behov for specielt fokus på dele af modellen?
  - Er der dele af modellen, som "ikke vil være så vigtige"? (fx områder, hvor vi på forhånd ved, at der ikke er grundvands, der kan udnyttes (saltvandspåvirkede magasiner, model-marginale dele, som ikke behøver at være så nøjagtigt modellerede, osv.)
- **der sker en afstemning af behov og forventninger:**
  - Det kan godt være, at man som modellør kender til potentielle vanskeligheder i modelområdet, fx datadækning og detaljer, men kender slutbrugerne af modellen disse?
  - Er vi som modellører helt klar over, hvad det er slutbrugerne vil bruge den geologiske model til? Kender vi deres behov og forventninger?
  - Vores forventninger til vores muligheder for at modellere geologien kan ændres undervejs i modelleringen (noget vi troede vi kunne modellere, kan ikke lade sig gøre alligevel, slutbrugernes behov og forventninger kan ændre sig undervejs i projektet)

- **der foretages prioriteringer ved udvælgelsen af data:**
  - Der prioriteres mellem let tilgængelige datasæt/svært tilgængelige datasæt
  - Der sker en afstemning af ressourcer og ambitionsniveau
  - Risikoen ved at fravælge data vurderes
  
- **det vurderes om indsamling af supplerende data er nødvendig:**
  - Hvis man allerede fra starten kan se, at supplerende data er afgørende, så skal det ind i de allertidligste vurderinger og beslutninger
  
- **der er opmærksomhed på de usikkerheder, som vil være knyttet til den færdige model:**
  - Modellens styrker og svagheder bør kendes
  - Hvad er muligt/ikke-muligt at lave med modellen?
  - Skalproblematikker:
    - Hvilken skala af geologien kan vi gøre os forhåbninger om at kunne opløse?
    - Hvad skal der til for at få høj opløsning, hvis det er det vi vil?
    - Vurdering af datakvalitet/datatæthed/metodeformåen i forhold til den geologiske detalje, der ønskes
  - Dataproblematikker: Kender vi på forhånd til svagheder i data (fx dårlige boredata, store områder uden data osv.)
  
- **der udarbejdes fokuspunkter for det planlagte videre modelarbejde:**
  - Vurderinger af, hvordan modellen bedst muligt kan anvendes fremover
  - Hvad der på længere sigt kan gøres for at modellen bevarer sin aktualitet
  - Skitsering af procedurer for fremtidige modelopdateringer
  - Beskrivelse af, hvordan det sikres, at modellen i den seneste version er tilgængelig for andre, og hvordan opdateringer af modellen sikres indarbejdet løbende
  - Sikre, at modellen indgår i en regional og/eller national sammenhæng (DK-modellen, national 3D geologisk model....)

## 9.6 Interaktiv modellering af antropogene lag

Der henvises til Delrapport 5 – Interaktiv modellering af antropogene lag (Pallesen & Jensen, 2015), hvor der er udarbejdet følgende anbefalinger. Baggrunden for anbefalingerne ses i den omtalte rapport.

### Dataoversigt- anvendelse og prioritering

Inputdata bør i videst muligt omfang være kvalitetssikrede i forhold til indhold, fejl og mangler. Det kan især være en vanskelig opgave ved anvendelse af vektor-temaer (rørføringer m.m.) samt tilhørende attributter (ledningsdimensioner, materialetype, årstal for etablering osv.).

Det er vigtigt at prioritere data i forhold til deres forventede anvendelse. En dataoversigt giver et godt overblik, og den er et godt redskab til at prioritere, hvor det er vigtigst at hente data. En dataoversigt med angivelse af prioritering og kvaliteten af de indhentede data er et brugbart værktøj i projekter, hvor der indgår mange forskellige data.

Det er en fordel særskilt at skelne mellem og håndtere antropogene data og geologiske data.

Der bør anvendes en oversigt over rækkefølgen af de temaer, der skal bruges til det antropogene lag. Rækkefølgen er vigtig. Dels kan der være kommet nye bygningselementer, dels kan den oprindelige jord ofte være erstattet af fyldmateriale ad flere omgange. Det er derfor vigtigt at rækkefølgen opstilles, så det altid er yngste element der fremstår "øverst" i den endelige antropogene model.

### **Kategorisering af fyldtypeper og geologi**

I nærværende projekt er det valgt at tilskrive de enkelte voxler en fyldtype, der afspejler et ler-sand forhold, og dermed en form for lithologi. I sidste ende omsættes disse vurderinger til strømningsmæssige egenskaber. De vurderinger, der ligger bag er subjektive, og er desuden baseret på fyldbeskrivelser som i sig selv er subjektive og usikre, som følge af fyldmaterialets ofte store variationer såvel vertikalt som horisontalt. Det er derfor væsentligt at der opstilles et kategoriseringssystem der er så simpelt som muligt, og som kun omfatter få overordnede fyldtypekategorier.

Tæthed af fyldtypepunkter (tolkningspunkterne) har betydning for det input der ved interpolation genereres til voxelgriddet. Det er særligt lokalt, at interpolationen har stor betydning. En systematisk tilgang til vurdering og håndtering af fyldlaget er væsentlig.

Den anvendte gennemsnitsfyldtype, som er fyldt ind i voxelgriddet, der hvor interpolationen ikke har genereret data, er desuden af stor betydning, men vil være forbundet med stor usikkerhed.

### **Fremtidig antropogen modellering - detaljegrad**

Med de erfaringer der er samlet i projektet, vurderes det muligt og realistisk at udføre en detaljeret urban geologisk modellering. Byområdet, der er valgt som testområde for modellen, er komplekst og den tid der har været til rådighed for selve modelleringen var ikke tilstrækkelig til at der kunne laves en udførlig modellering ved inddragelse af alle data, men data, software og arbejdsgange er nu blevet udviklet, afprøvede og optimerede.

Ved fremtidige modeller er det væsentligt at forholde sig til den ønskede og påkrævede detaljegrad i forhold til modelformål og modelaftager. I modelleringsprocessen kan der ved anvendelse af flere voxelgrids, tilskrives forskellige parametre til disse samtidigt, eksempelvis lithologi, alder og transmissivitet.

Det er vigtigt at tage stilling til hvorvidt en høj detaljegrad kan tilgodeses i det videre arbejde, f.eks. ved hydrologiske beregninger.

### **Vedligeholdelse af modeller**

Med den software og de arbejdsmetoder der er udviklet i forbindelse med projektet, vil det være et overkommeligt arbejde, at foretage løbende opdateringer af den urbane model. Det kan derfor anbefales, at der udarbejdes en specifik arbejdsgangsbeskrivelse og at denne indarbejdes i kommunens arbejdsgange. Omfanget af denne er svær at skønne, men vil indebære at der inddrages nye data, når sådanne er kommet til. En veldefineret arbejdsgangsbeskrivelse vil sikre en ensartet og smidig modelopdatering i fremtiden, efterhånden som nye data kommer til eller eksisterende revideres.

### **Inddragelse af lokal viden**

Inddragelse af lokal viden vil være et værdifuldt supplement til yderligere detaljering og tilretning af "udgangsmodellen". Der kan eksempelvis ligge en opgave i at vurdere bygninger på detailniveau, eksempelvis i form af tilstedeværelse af sandpuder og forskellige størrelser af disse. Der vil sikkert være lokale forskelle, grundet i jordbundsforhold, traditioner osv. der bør vurderes fra sted til sted. En inddragelse af ekspertise, evt. den kommunale bygningsmyndighed, vil være en fordel.

Det samme gør sig gældende i forbindelse med de andre data der indsamles og benyttes. F.eks. vil der være lokal viden omkring rørlægning, veje og andre arealer, der kan være af betydning og vil være formålstjenelige at få samlet ind.

Historiske kort, der viser byudviklingen gennem tiden kunne med fordel inddrages i arbejdet med at definere bunden af fyldlaget. Denne er i nærværende projekt udelukkende defineret på baggrund af boredata. Boringerne ligger ujævnt fordelt inden for området, og derfor er også områder hvor kendskabet til bunden af fyldlaget reelt er ukendt. Her kunne disse kort bidrage med væsentlig information.

### **Usikkerheder**

Det er vigtigt at forholde sig til modellens styrker og svagheder. Eksempelvis er dele af modellen baseret på meget subjektive vurderinger og antagelser - f.eks. kategoriseringen af fyldlaget i forhold til ler/sand forhold – og med der af følgende usikkerheder.

Flere af de indgående datasæt anvendes vel vidende at der er knyttet en større eller mindre grad af usikkerhed til disse. Eksempelvis er bygningskældre- og fundamentet i modellen placeret i forhold til terrænoverfladen. Dette er imidlertid problematisk lokalt set, da bygningerne i de anvendte data ligger samlet i enheder der oftest er større end en enkelt bygning. Hver enkelt enhed positioneres i forhold til en centerværdi i forhold til terræn, hvorfor det særligt i kuperede områder vil føre til at dele af en bygning ligger for højt eller for lavt. Dette har konsekvens for de voxler der udvælges på baggrund af det givne bygningstema.

I beregningen af værdien i de enkelte voxler anvendes en "relativ" og en "blend" funktion. Disse tilgodeser særligt små elementer men fører også til en udglatning af detaljer i modellen. Dette er en konsekvens af nogle modeltekniske egenskaber – bl.a. i kraft af en øvre grænse for antallet af voxler i et enkelt voxelgrid, og dermed indirekte en nedre grænse for hvor små voxler der kan anvendes inden for et givent område.

## Øvrige

Der bør udarbejdes oversigter over geotekniske og hydrauliske parametre i de antropogene lag. I den udarbejdede model er disse værdier skønnet ud fra en overordnet viden omkring forskellige fyldelementer, men der er ikke udført forsøg eller søgt litteratur der kan kvantificere og detaljere disse.

Det kan overvejes om der skal udvikles nogle specifikke produkter, f.eks. en række dybde kort, der viser geologien i forskellige dybder, f.eks. i intervallerne 0-1, 1-2, 2-3 mut. osv. Sådanne kort vil være nemmere at videregive og bruge i andre sammenhænge, f.eks. til byplanlægning. Dette er ikke direkte muligt med GeoScene3D lige nu.

Konklusivt vurderes det, at der er udviklet en metodik og et dynamisk værktøj, som gør det muligt relativt let at opstille, ændre og opdatere voxelmodeller for antropogene lag i byområder. Der vil dog indledningsvist være et større indledende arbejde i dataklargøringen. Omfanget af dette arbejde afhænger til dels af ambitionsniveau i forhold til f.eks. detaljegrade. Når den indledende dataklargøring er på plads, vil nye anlæg eller fremtidigt projekterede anlæg nemt kunne indarbejdes i modellen med henblik på f.eks. scenariekørsler og konsekvensberegninger. Værktøjerne i GeoScene3D giver desuden mulighed for at lave manuelle tilretninger i voxelmodellen, f.eks. at indsætte en hydraulisk barriere i en ledningstrace eller i modsat fald et dræn/trace med høj hydraulisk ledningsevne. P.t. er det ikke muligt at anvende enkeltstående 3D objekter (f.eks. bygninger) til udvælgelse af voxler i modellen.

Der mangler p.t. erfaringer i forhold til i hvor høj grad den store detaljegrade kan udnyttes ved efterfølgende strømningsberegninger. Det anbefales at undersøge disse forhold, hvilket muligvis vil kunne føre til en forenklet arbejdsproces i forhold til de data der indgår i voxelmodellen, eftersom visse små/lokale datatyper muligvis kun har minimal indflydelse på den resulterende model.

Voxelmodellen for det antropogene lag kan sammenbygges med en mere regional voxelmodel, der f.eks. tager udgangspunkt i en eksisterende hydrostratigrafisk lagmodel.

## 9.7 Teknisk håndtering og lagring af bygeologiske data og modeller

Der henvises til Delrapport 6 - Teknisk håndtering og lagring af bygeologiske data og modeller (Hansen m.fl., 2015), hvor der er udarbejdet følgende anbefalinger. Baggrunden for anbefalingerne ses i den omtalte rapport.

### Jupiterdata

Mange af de borer, der udføres i byområder, udføres for offentlige myndigheder, f.eks. i forbindelse med offentlige anlægsarbejder og regionernes undersøgelse af jordforurenninger. Samtidigt mangler andre offentlige myndigheder i stor udstrækning adgang til geologi-

ske / geotekniske oplysninger i byområder, og vil være nødsaget til at bruge ressourcer på at indsamle og konvertere / digitalisere data fra andre kilder.

Da der nu findes systemer til digital indberetning af boringer til Jupiter, og da denne er ved at blive udviklet til også at omfatte geotekniske parametre anbefales en form for indberetningspligt være et oplagt middel til at stille data til rådighed. Indberetningspligten kunne f.eks. være på alle boringer udført for offentlige myndigheder (se i øvrigt Delrapport 3, Geotekniske data til planlægning og administration).

En indberetning i denne stil vil medvirke til en opfølgning på hensigten i den dataansvarsaf-tale der er udarbejdet i regi af Danmarks Miljøportal og underskrevet af Miljøministeriet, Kommunernes Landsforening og Danske Regioner til andre ministerier og sikre en større grad af datadeling de offentlig myndigheder imellem.

### **Modeller**

Det bør tilskyndes til at udarbejdede urbane modeller lagres i modeldatabasen, så de er til gavn for andre aktører.

Modeldatabasen bør opdateres med en facilitet til lagring af voxel-data.

## **UDVIKLING AF EN 3D GEOLOGISK/HYDROGEOLOGISK MODEL SOM BASIS FOR DET URBANE VANDKREDS- LØB**

### **SYNTESE RAPPORT**

Der er stigende fokus på den urbane geologi i disse år. Kommuner og vandselskaber står med nye opgaver inden for klimatilpasning, etablering af vedvarende energi, indsatsplaner mv., ligesom byomdannelser, infrastrukturprojekter og anlægsopgaver stiller krav om detaljeret viden om de geologiske forhold. Manglende viden medfører risiko for fejl i planlægning og investeringer.

Odense Kommune, VandCenter Syd og GEUS indgik derfor i 2012 et samarbejde om at få udviklet en 3D geologisk/hydrogeologisk model af undergrunden i Odense Kommune. I 2013 blev der igangsat et 2-årigt projekt baseret på midler fra Vandsektorens Teknologiuudviklingsfond (VTU) med deltagelse af Odense Kommune, VandCenter Syd, I-GIS, Alectia A/S og GEUS.

Også på landsplan er problemstillingen velkendt, og det har derfor været forudsat, at resultaterne fra dette projekt skal kunne bruges som anbefalinger til et landsdækkende modelkoncept omfattende en systematisk modelopbygning og vedligeholdelse til gavn for kommuner, vandselskaber og rådgivere.

VTU-Projektet er nu færdigt, og i denne afrapportering af projektet præsenteres forhold, der er vigtige for håndteringen af det urbane vandkredsløb, f.eks om adgang til data (geotekniske, infrastruktur etc), hvordan en kommunal geologisk/hydrogeologisk model opbygges og vedligeholdes, hvordan de allerøverste lag (antropogenet) kan modelleres, hvordan modellerne samlet set bidrager til klimatilpasning osv.

Danmark står ikke alene med behovet for viden og modellering af undergrunden under byerne. GEUS og Odense Kommune har parallelt med dette projekt deltaget i et EU-projekt, hvis formål er at opbygge viden på et internationalt plan ("SUB-URBAN - A European network to improve the understanding and use of the subsurface beneath our cities"). Dette giver samtidig mulighed for en international vinkel i rapporteringen.