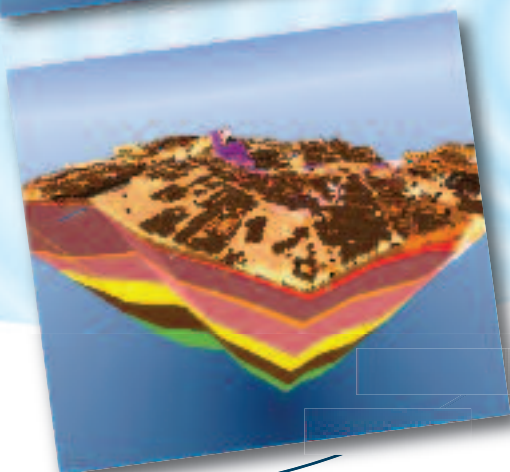
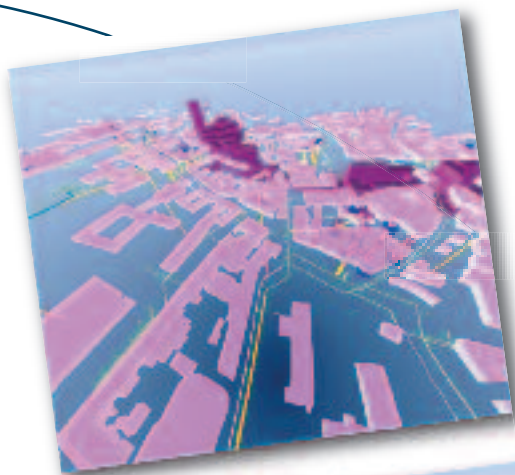


Udvikling af en 3D geologisk/ hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb

Delrapport 1

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

Susie Mielby, Gert Laursen, Johan Linderberg,
Peter Sandersen og Jan Jeppesen



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

Delrapport 1
3D-modellen som basis for håndtering
af det urbane vandkredsløb

Susie Mielby
Gert Laursen
Johan Linderberg
Peter Sandersen
Jan Jeppesen



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

Delrapport 1

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

Forfattere: Susie Mielby, Gert Laursen, Johan Linderberg, Peter Sandersen og Jan Jeppesen

Forside model: Tom Martlev Pallesen

Særudgivelse

Omslag: Henrik Klinge

Repro: GEUS

Oplag: 20

September 2015

Rapporten kan hentes på nettet: 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

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 Teknologiuudviklingsfond (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, 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 en syntese-rapport med følgende titel

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

Nærværende rapport udgør en af rapporterne i den ovennævnte rapportserie.

Indhold

1.	Indledning	11
1.1	Behovsanalyse og teknisk udvikling	11
2.	Påvirkninger af det urbane vandkredsløb	13
2.1	Klimaforandringer	13
2.2	Byen vokser	14
2.3	Indvindingen falder eller flyttes	15
2.4	Tidligere vandlidende områder bebygges	16
2.5	Vand afledes via ledningsnettet	17
2.6	Strømningsveje ændres ved større bygværker	18
2.7	Højtstående grundvand afledes til kloakker	19
2.8	Samlede krav til viden	19
2.9	Konceptuelle hydrogeologiske komponenter	20
3.	3D-modellering og det urbane vandkredsløb	21
3.1	Anvendelse af samme modelgrundlag i flere skalaer	21
3.2	Sammenkobling af den hydrostratigrafiske model og den antropogene model	21
4.	3D-modellen som værktøj	26
4.1	Overordnede ønsker til modellen	26
4.2	Forskellige brugertyper	27
4.3	Modellen som administrationsgrundlag	28
5.	Visualisering af modelresultater	29
5.1	Kombinationer af korttemaer	29
5.2	Grundvandsmagasiner	32
5.3	Grundvandspotentialer	34
6.	Brugen af kommunemodellen	35
7.	Erfaringerne fra LARG-projektet	36
7.1	MODFLOW-LID	36
7.2	Indsamling af nye data i detailområder	36
8.	Resultater	39
8.1	Samspillet i det hydrologiske kredsløb	39
8.2	Modellen anvendt som værktøj	39
8.3	Modellen som administrationsgrundlag	40
9.	Anbefalinger	42
10.	Referencer	44

11.	Appendix 1 – Detail-områder	47
11.1	Vinkælderrenden/Skibhuskvarteret.....	48
11.2	Sanderum Tørvehave.....	52
11.3	Bellinge Fælled (Odense SV).....	57
11.4	Nyt OUH (Odense SØ).....	61
11.5	”TBT-gaden”	63

1. Indledning

Denne rapport har til formål at skitsere, hvordan den udarbejdede 3D geologiske og antropogene model, som er etableret i forbindelse med VTU-projektet kan anvendes som en samlet model til at håndtere hydrogeologiske problemstillinger inden for en kommune.

Eftersom hovedformålet med den 3D geologiske/hydrogeologiske model er at skabe et værktøj til administration og planlægning af klimatilpasningstiltag, specielt nedsivningsmuligheder og afledning af vand i urbane områder, beskrives indledningsvis de problemstillinger, der kan opstå i forbindelse med påvirkningen af det urbane vandkredsløb. Herefter beskrives de skalaer, der er behov for at arbejde i, og beskrivelse af hvordan den geologiske og den antropogene model er sammenkædet.

Dernæst beskrives, hvordan hydrogeologen typisk arbejder, og hvordan modelredskabet kan tilgodese denne situation. Endvidere beskrives, hvordan modellens resultater kan bruges og vises, herunder udtræk af magasinagrænsninger og grundvandspotentialer. Afslutningsvis beskrives, hvad vi med modellering på forskellige skalaer kan fremover.

I Appendix 1 bagest i denne rapport er gennemgået nogle konkrete eksempler, der på "traditionel" hydrogeologisk vis – det vil sige uden forudgående modellering - beskriver forholdene i udpegede detailområder.

1.1 Behovsanalyse og teknisk udvikling

Forudsætningerne for VTU-projektets gennemførelse har været at kunne identificere alle de væsentlige behov for at kunne modellere det urbane vandkredsløb. Når behovene var identificeret, skulle de væsentligste af dem udmøntes i form af opgaver af teknisk og planlægningsmæssig karakter.

Denne rapport tager udgangspunkt i resultatet af en behovsanalyse, der indledningsvist er blevet udført i projektet, og som afdækker de administrative og planlægningsmæssige behov, samt behovene for hydrogeologisk modellering, visualisering og lagring af projektets resultater.

Behovsanalysen identificerer de væsentligste tekniske problemstillinger, der er knyttet til modelarbejde på kommuneniveau henholdsvis matrikelniveau.

De ovennævnte udviklinger og aktiviteter er beskrevet i de forskellige rapporter, der er resultatet af VTU-projektet:

- I rapporten om data (Delrapport 2, Kristensen, m. fl., 2015) omtales tilvejebringelse af alle de data, der skønnes relevante i arbejdet med opbygningen af modelleringen og/eller i forbindelse med den senere anvendelse. Specielt skal nævnes geotekni-

ske data og infrastrukturdata, og de data som det er naturligt senere at anvende sammen med kortlægningens resultater.

Endelig angives forslag til standard værdier (konfigurationer) for de forskellige infrastrukturdata, således at infrastrukturenes form kan inddrages i modelleringen af fyldlaget..

- I rapporten om modellering (Delrapport 4, Sandersen m. fl., 2015) skitseres opbygningen af den geologiske model, i såvel stor som lille skala, og hvorledes den kan udbygges løbende.
- I rapporten om interaktiv modellering af antropogenet (Delrapport 5, Pallesen & Jensen, 2015) skitseres værktøjer til bearbejdning, modellering og fortolkning af de menneskeskabte aflejringer fra GIS-lag og boringer til voxelmodel.
- I rapporten om håndtering og lagring af data (Delrapport 6, Hansen m. fl., 2015) beskrives etablerede lagringsfaciliteter for geotekniske informationer og visualisering af lagrede modeller.

For de detaljerede beskrivelser henvises til disse rapporter.

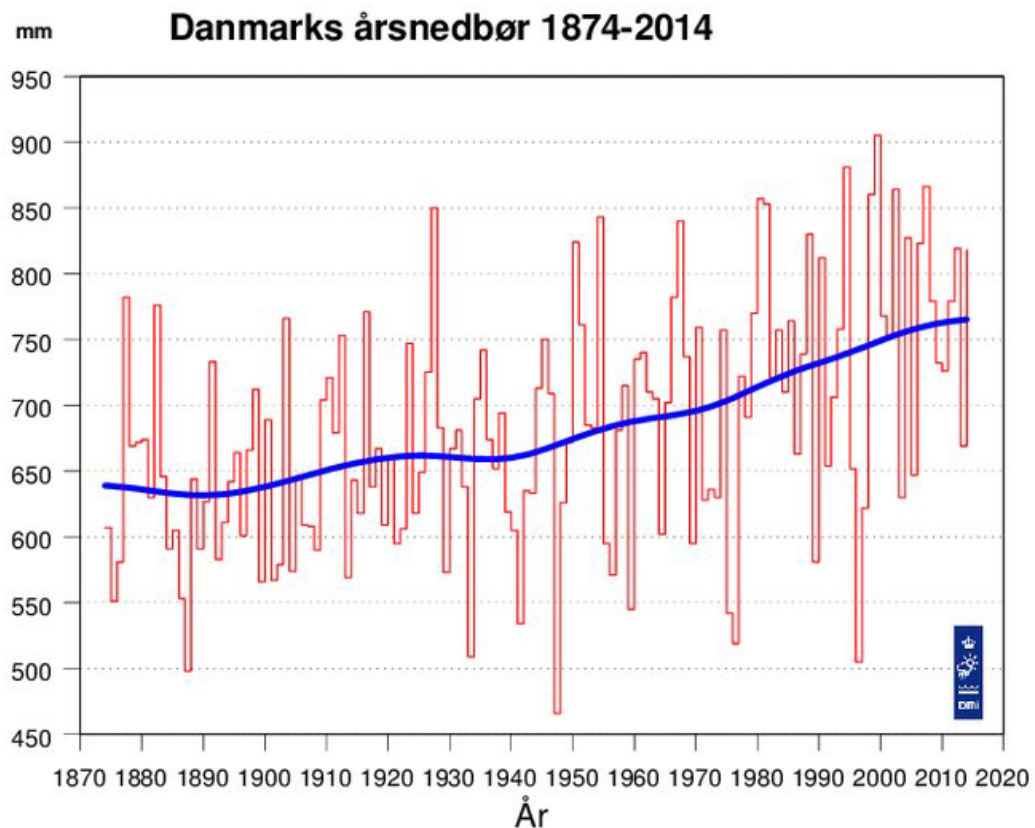
2. Påvirkninger af det urbane vandkredsløb

I dette afsnit beskrives en række af de påvirkninger, som kan medføre konsekvenser for det urbane vandkredsløb – og som bør inddrages i overvejelserne, når en model skal opstilles og en problemstilling skal løses.

Først beskrives de behov, der er for viden og modellering, ved iværksættelse af klimatiltag. Udover klimapåvirkninger beskrives andre påvirkninger af det urbane vandkredsløb, og hvor til klimatiltagenes konsekvenser skal sættes i relief.

2.1 Klimaforandringer

Meteorologiske observationer gennem mere end 140 år viser, at Danmarks årlige middelnedbør er steget med over 100 mm (se Figur 1), og de almindeligt anerkendte klimascenarier indikerer, at der i de kommende år vil være en stigende tendens til tørrere og varmere somre og vådere vintre – ekstremterne bliver mere ekstreme. Der forventes flere og flere og voldsommere oversvømmelser og effekter på den terrænnære grundvandsstand.



Figur 1. Gennemsnitlig årlig nedbør målt fra 1874. Blå kurve er glidende middelværdi, som viser, at nedbørsmængden de seneste 120 år er steget med ca. 120 mm. Ref. DMI 2015.

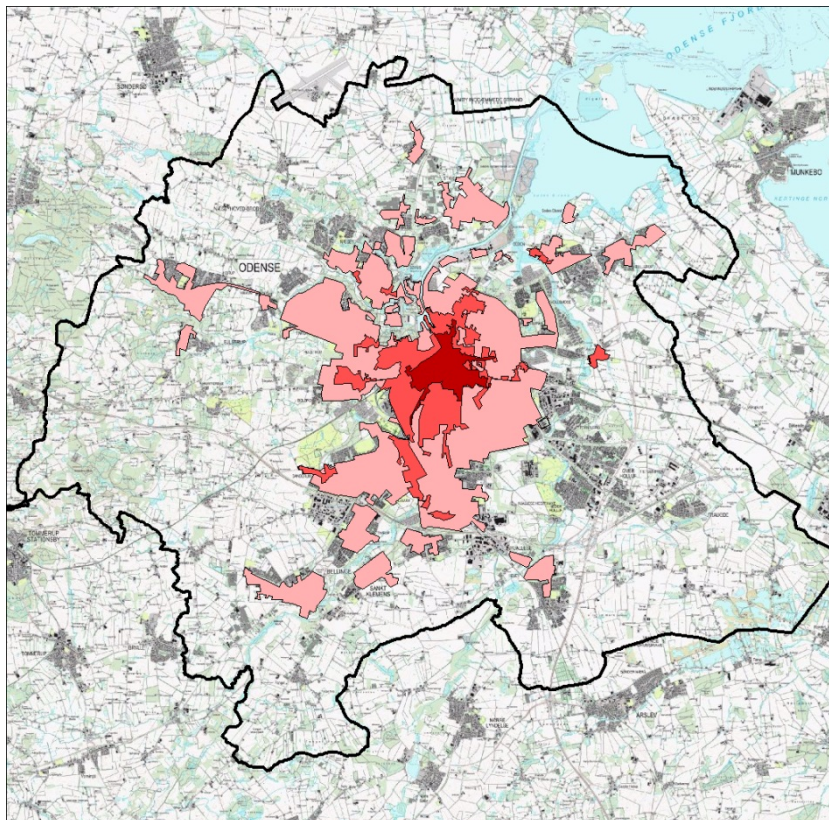
Modelberegninger af fremtidens klima (frem til år 2050) viser en stigning i grundvandsstanden på lokalt op til 3 meter omkring Odense (NST, 2015). Disse beregninger er dog overordnede og indregner ikke lokale forhold som infrastruktur og byudvikling mv.

2.2 Byen vokser

Byerne har - især i de seneste 100 år - udviklet sig, således at de geografisk set er vokset fra at være ganske små til i dag at dække anseelige arealer. Denne udvikling forventes at fortsætte.

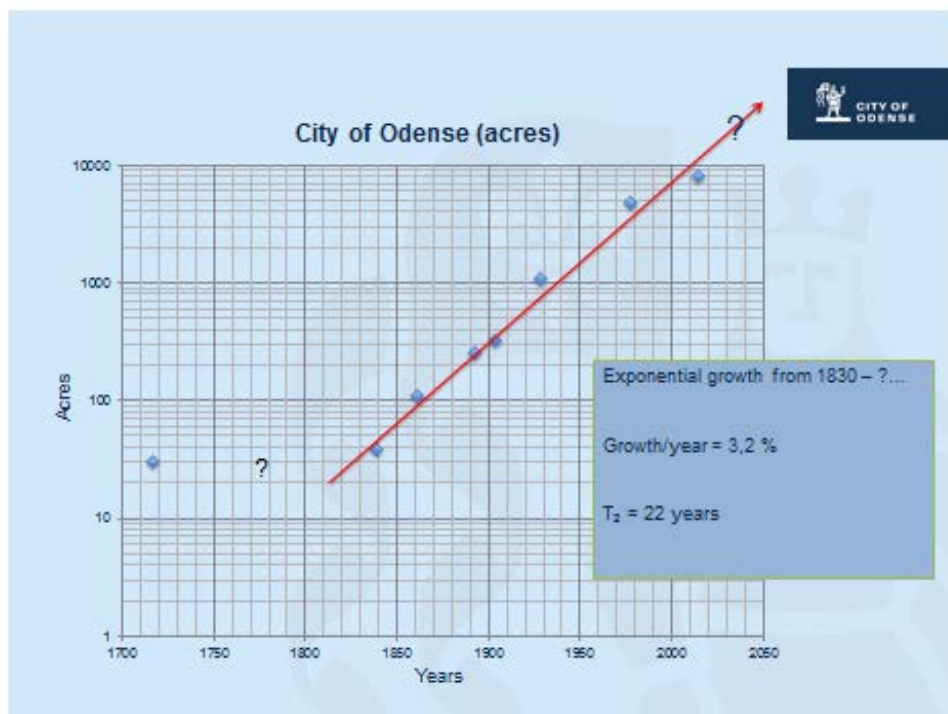
Med de befæstede områder som følge af etablering af veje, huse og anden infrastruktur øges den hurtige overfladiske afstrømning, samtidig med at den nedsivning, der ad naturlige veje strømmer til undergrunden, reduceres. Lokalt betyder udgravninger f.eks. omfangsdræn langs huse mv., at det overfladenære vand kan strømme ned denne vej.

Nedenstående eksempel fra Odense viser, hvordan byen er vokset fra 1892 og frem til i dag, (se Figur 2).



Figur 2. Odense bys vækst siden 1892. Mørk rød – år 1892, Rød – år 1928, Pink – år 1977 og mørk grå – byen i dag (Larsen, 2014).

Figur 3 viser, hvorledes byens areal siden 1892 er steget eksponentielt med en vækstrate på 3,2 % pr år og en fordoblingstid på 22 år. Hvis det antages, at byens vækst fortsætter med samme konstante stigningstakt som de hidtidige 3,2 %, så vil Odense by ikke kunne rummes indenfor kommunegrænsen omkring år 2045, og et øget fokus på byfortætning er helt på sin plads.



Figur 3. Odense bys udvikling i areal siden 1892 (Laursen, 2014).

Hvis der derfor er behov for fremadrettede klimascenarier frem til år 2050-2100, så bør det overvejes at lade byens arealmæssige udvikling indgå i scenarieberegningerne – naturligvis sammen med de infrastrukturdata, der er væsentlige for de pågældende scenarier.

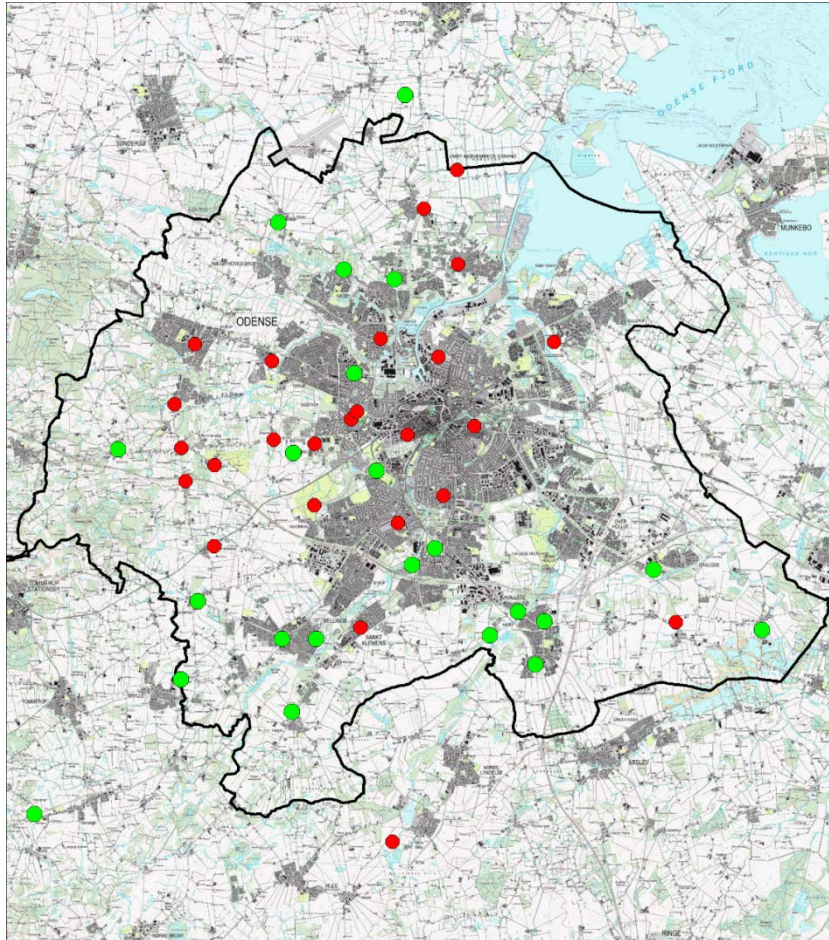
2.3 Indvindingen falder eller flyttes

De indvindingsforhold, der kan have indflydelse på vandkredsløbet i byerne stammer typisk fra ændringer i indvindingsmønstret i form af stigning/fald i vandforbrug og i form af flytning af indvinding.

Befolkningens vandforbrug var stigende frem til slutningen af 1980-erne, hvor vandbesparelser, vandpriser og -afgifter samt reduktioner i ledningstab fik vandforbruget til at falde (Thorling m. fl., 2015).

De fleste kildepladser er anlagt i landzonen, det vil sige udenfor byens daværende bygrænse - sådan har det været tidligere, og sådan er det i dag. I takt med stigende forureningstrusler - som følge af den urbane udvikling med industriområder mv., er vandindvin-

dingen fra de ældre kildepladser (som er blevet "overhalet" af byvæksten) ofte blevet opgivet, og indvindingen er igen flyttet ud af byerne (se Figur 4). Dette har medført, at vandstanden i dag flere steder er stigende i byområder – op mod den tidligere oprindelige naturlige vandstand for området.



Figur 4. Vandværker og kildepladser for Odense. Grønne prikker indikerer aktive, og røde prikker nedlagte (Laursen, 2014).

Indvindingen har stor indflydelse på vandstanden, og ved vurderinger af de fremtidige forhold i de berørte områder, kan det få væsentlig indflydelse, hvis den bynære indvinding stoppes eller reduceres, se til eksempel Eksercermarken i det tilhørende Appendix 1. Derfor bør ændringer i indvindingsmønstret naturligvis også inddrages i ens overvejelser.

2.4 Tidligere vandlidende områder bebygges

I gennem de seneste 200 år er der foretaget en massiv dræning og afvanding af lavtliggende vådområder med henblik på at gøre dem anvendelige til andre formål, for eksempel græsning og almindelig omdrift.

Senere, når byen udvikler sig, glemmes alt om, at det tidligere vådområde er et drænet/afvandet område, og områderne bebygges i stor stil. For det urbane vandkredsløb betyder dræningen i første omgang, at den overfladenære afstrømning øges fra det drænede område med den konsekvens, at der hurtigere kommer afstrømning i vandløbene længere nede i oplandet.

Hvor der tidligere lå vådområder og dermed naturligt vandlidende områder, vil der kunne komme vådområder igen, hvis der kommer mere nedbør eller stigende vandstand, og under alle omstændigheder vil der oftest være ringe mulighed for nedsivning af overfladevand i disse områder.

I nedenstående eksempel fra Ejersmindevej i Odense (Figur 5) har VandCenter Syd måttet fjerne flere parcelhuse (som netop var etableret indenfor et tidligere drænet moseareal) og anlægge et "nyt" overfladevandsbassin, fordi gentagne oversvømmelser af husene gjorde det vanskeligt at bebo området.



Figur 5. Område ved Ejersmindevej, hvor der førhen var huse, der jævnligt blev oversvømmet, og nu er etableret en sø, der kan tage imod ekstra overfladevand.

2.5 Vand afledes via ledningsnettet

Ved etablering af ledningsnet sker der udgravninger enten fra terrænoverfladen eller som "no-dig" tunneleringer. I begge tilfælde kan ledningsnettene påvirke eller ændre de naturlige strømningsveje.

Ifald der udføres udgravninger til ledningsføringer fra terræn, udfyldes ledningsgraven med sand, hvilket betyder, fordi der er tale om etablering af lange lineære, permeable elementer i undergrunden, at der skabes mulighed for, at der kan ledes vand over større strækninger og i en anden retning end den, der er naturlig for området. Især kloakledninger, der som oftest er udført som gravitationsledninger, ligger med et konstant fald i en bestemt retning.

Disse ledningsgrave kan ligge betydeligt dybere end terrænet, og derved kan ledningsgraven fungere som et "dræn".

Ifald der etableres afløbsledninger ved "no-dig" metoder, kan der etableres skaktanlæg, som kan medvirke til punktering af det/de naturlige beskyttende lerlag og dermed til øget nedsivning. I nedenstående Figur 6 ses et eksempel på en skakt ned til en 2500 Ø mm ledning.



Figur 6. 2500 mm Ø kloakledning, som etableres ved hjælp af "no-dig" i et dybt skakt-system.

2.6 Strømningsveje ændres ved større bygværker

Ved etablering af større bygværker, P-kældre i flere etager og huse med kældre kan den naturlige overfladevands- og grundvandsstrømning blive ændret.

Etablering af større bygværker og huskældre kan få betydning for vandstanden, hvis der er en grundvandsstrømning i området. Nedstrøms disse vil vandstanden sænkes som følge af den nu manglende tilførsel af vand. Opstrøms kan dette medføre at vandstanden stiger, og/eller at grundvandet eventuelt finder nye strømningsveje, fordi den naturlige afvanding ikke længere er mulig.

2.7 Højtstående grundvand afledes til kloakker

Når grundvandsstanden er høj i byområder, kan der ske indtrængning af vand/fugt i kældre med herved resulterende uanvendelige kælderrum og dårligt indeklima. Derfor ses det flere steder, at de enkelte husejere etablerer brønde, hvorfra der pumpes vand op, med henblik på at sænke vandstanden omkring deres kældre.

Der foreligger i dag ikke en systematisk registrering, der kan dokumentere og kvantificere omfanget af denne aktivitet. Hvis afledningen i et område har et større omfang, kan afsænkningen af det højtstående grundvand fra den/de enkelte husparcel(-ler) have lokal betydning for det urbane vandkredsløb. Derfor bør denne aktivitet indregnes i ens beregninger.

2.8 Samlede krav til viden

For at kunne gennemføre en klimatilpasning er det nødvendigt at kunne modellere, hvor der - specifikt – er et behov for klimatiltag i form af f.eks. LAR-løsninger. For at kunne gøre dette, er det samtidigt vigtigt at kunne relatere modellens beregninger af klimaskabte påvirkninger til alle de øvrige menneskeskabte påvirkninger, der finder sted eller har fundet sted i oplandet gennem de sidste århundreder. Det gælder fx områder, hvor byen har udviklet sig, der er foretaget dræning af vådområder, ændring af vandløb, rørlægning af vandløb, etablering af bygværker o.m.a.

Succesraten for klimatilpasningstiltag, så som faskiner, wadier og nedsivnings-bassiner, der kan forsinke og delvist reducere det afstrømmende vand er afhængig af, hvor – specifikt – der kan foretages nedsivning. De hydrogeologiske forhold kan være af en sådan karakter, at der ikke, eller kun langsomt kan nedsives vand til undergrunden.

Inhomogene lag kan også medføre, at det nedsivende vand strømmer i en anden retning end umiddelbart forventet. Hvis der i et område kan nedsives vand, så er det vigtigt, at det kan beregnes, om og især hvor – specifikt – denne nedsivning kan få en effekt på grundvandsstanden i oplandet. Dette kan betyde forhøjet vandstand i f.eks. naboombåders huskældre og dermed indflydelse på de servicemål, som vandforsyningen skal overholde.

Af foregående ses, at der er et betydeligt hydrogeologisk samspil, og at det er store krav, der skal sættes til den hydrogeologiske viden i det urbane område, hvis konsekvensen af klimaforandringer – og -tiltag skal kunne vurderes. Der er behov for både i stor og lille skala

- Konkret viden om et givet sted og det tilhørende opland, fx hydrogeologi
- Viden om tidlig udvikling (historik)
- Viden om konsekvenser af ændringer (resultater af modelscenarier af fx klimatiltag)
- Sammenstillede informationer

Jo mere detaljeret, der skal arbejdes, jo flere informationer er der brug for at inddrage. Der er mange forskellige infrastrukturdata, og også ofte flere end det er overkommeligt at inddrage i den enkelte modelleringssituation. Valget af de enkelte datasæt må foretages efter

en konkret vurdering af området og problemstillingen, så der kan ske en prioritering og så de vigtigste data som minimum inddrages.

2.9 Konceptuelle hydrogeologiske komponenter

Fra projektets start har det været målet, at der skulle opbygges én geologisk/hydrogeologisk model, og at det skulle være den, der danner udgangspunktet for videre modellering. Det kan anbefales, at der i forbindelse med modelleringen opstilles en konceptuel forståelsesmodel som fx defineret af Boukhemacha m.fl., 2015. I en sådan "konceptuel forståelsesmodel" søges de vigtigste påvirkninger af det urbane vandkredsløb identificeret, således at disse fra starten af og én gang for alle søges indbygget i den hydrogeologiske model. Herved kan den opbyggede model tilnærme sig mest muligt den overordnede hydrogeologiske situation og samtidig danne et ensartet grundlag for videre arbejde.

Et eksempel på en konceptuel analyse af et byområde kan ses i Boukhemacha m. fl., 2015.

Væsentlige konceptuelle modelkomponenter for det urbane kredsløb i Odense kommune vurderes i første omgang – ud over geologien – at være: afgrænsning af fyldjord, større og lange rørlægninger, bygværker med større underjordisk udstrækning, tunneller samt befæstede arealer (bygninger, veje mv).

3. 3D-modellering og det urbane vandkredsløb

Som beskrevet i det foregående afsnit påvirkes det urbane vandkredsløb af mange faktorer, og for at kunne lave konsekvensanalyse af påvirkningerne, vil det være nødvendigt at opstille både regionale og lokale geologiske/hydrogeologiske modeller i tre dimensioner og evt. efterfølgende modellere grundvandsspejlet i en digital grundvandsmodel.

I dette afsnit beskrives det, hvordan den udarbejdede model kan anvendes i forskellige skalaer, og hvordan den geologiske model kan sammenkobles med den antropogene model.

3.1 Anvendelse af samme modelgrundlag i flere skalaer

Det har været en væsentlig præmis for projektet, at der overalt skulle kunne arbejdes med samme modelgrundlag – uanset hvilken skala, der arbejdes i.

Da de potentielle opgaver, som søges løst med den udarbejdede model, vil omfatte geografiske områder af varieret størrelse, og da ønsker til detaljeringsgrad også vil variere, vil brugerne have behov for at arbejde på forskellige niveauer. Men fælles for alle niveauer er, at de tager udgangspunkt i alle grundliggende data og fortolkninger.

Der skal arbejdes på:

- oplandsskala/kommuneskala, hvilket vil sige, at man typisk har hele kommunemodellen sammen med tilknyttede naboområder i spil.
- byskala, det vil sige med særlig fokus på byens afgrænsning
- detailskala, hvilket vil sige, at området er afgrænset til enkelte matrikler, eller måske et parcelhuskvarter/byområde.

Detaljeringsgraden af modellen afgøres af detaljeringsgraden og mængden af de data, der ligger til grund i det specifikt valgte område samt den valgte diskretisering. I hvert tilfælde er der behov for at vurdere, om datagrundlaget er tilstrækkeligt, og om der eventuelt skal tilvejebringes nye data for at opnå den ønskede grad af detalje.

3.2 Sammenkobling af den hydrostratigrafiske model og den antropogene model

Den opstillede geologiske/hydrogeologiske model for Odense Kommune består af to dele:

1. en geologisk model bestående af
 - en geologisk forståelsesmodel (ikke-digital), som beskriver områdets overordnede geologiske opbygning i tekst og skitser

- en rumlig geologisk model (digital 3D lag-model), hvor geologiske lag er defineret af afgrænsende flader
 - en hydrostratigrafisk model (digital 3D lag-model), hvor grænserne mellem grundvandsmagasiner og mellemliggende vandstandsede lag er tolket som gennemgående flader (tolkningspunkter)
2. en antropogen model (digital 3D voxelmodel), hvor de lag, som er påvirket af menneskelig aktivitet, er modelleret som rumlige celler (voxler)

Den geologiske model gengiver den oprindelige geologi, som den reelt så ud før menneskelig aktivitet påvirkede lagene (se Delrapport 4; Sandersen m.fl. 2015), mens den antropogene model udelukkende koncentrerer sig om at modellere de lag, som er påvirket og forandret af menneskelig aktivitet (se Delrapport 5; Pallesen & Jensen 2015). De to modeller sammenkobles til én digital model, således at såvel de oprindelige geologiske lag som de antropogene lag håndteres på samme tid. De antropogene lag vil være nye i lagserien og vil derfor erstatte dele af de oprindelige lag helt i toppen af den geologiske lagserie.

Den geologiske model er en lag-model, hvor lagene er defineret ved top- og bundflader, mens den antropogene model består af rumlige voxel-celler. Ved en sammenkobling skal de to modeller derfor være på en form, som muliggør dette.

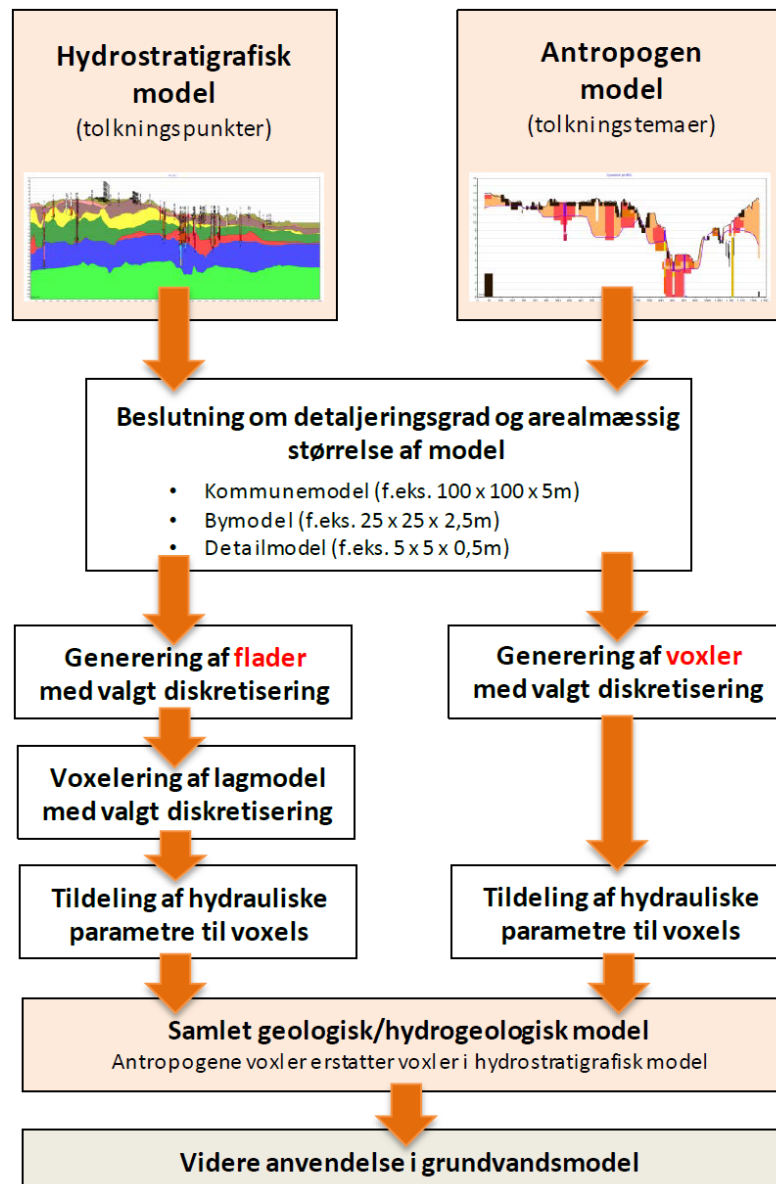
En relativt let måde at koble modellerne sammen på vil være, at konvertere den geologiske model til en voxelmodel og efterfølgende lade de antropogene voxler erstatte voxler i den geologiske model. Imidlertid er der en begrænsning i antallet af voxler, der kan håndteres i modelværktøjet GeoScene3D, og det er derfor ikke muligt at køre med én og samme cellestørrelse for både kommunemodellens og detailmodeller. Denne cellestørrelse ("diskretisering") afhænger af den ønskede detaljeringsgrad, og hvad modellen efterfølgende skal bruges til.

For kommunemodellen er den geologiske viden om undergrunden passende til en hydrostratigrafisk model med f.eks. 100 x 100 x 5 meter voxler og en laginddeling med vandførende lag og ikke-vandførende lag stort set svarende til dem, der anvendes i DK-modellens laginddeling for Fyn. Den antropogene model vil derfor også skulle have samme diskretisering, men en sådan størrelse vil selvsagt ikke kunne opløse detaljer under byen, så som render omkring spildevandsledninger og kældere. I stedet vil den antropogene model kunne give gennemsnitlige værdier, som kan være af betydning for det overordnede billede.

For detailområderne er der behov for en langt mere detaljeret celleopdeling i modellen f.eks. 5 x 5 x 0,5 meter, hvilket medfører, at den hydrostratigrafiske models udbredelse måske kun kan være 1,5 x 1,5 km, da hele modellen skal have samme voxel-størrelse og derfor vil få et meget stort samlet antal voxel-celler. Som det er beskrevet i Sandersen m. fl. 2015, vil en finere diskretisering betyde, at større detalje i lagserien kan gives – dog forudsat, at der findes detaljerede lokale data, og at disse indgår i tolkningerne.

Figur 7 viser et flowdiagram, hvor princippet for hvordan den hydrostratigrafiske model kan sammenkobles med den antropogene model er illustreret. Første trin er at foretage en beslutning af, hvilken detaljeringsgrad den sammenkoblede model skal have, og hvor stort et areal modellen skal dække. Som nævnt ovenfor vil det typisk være antallet af voxler, der er

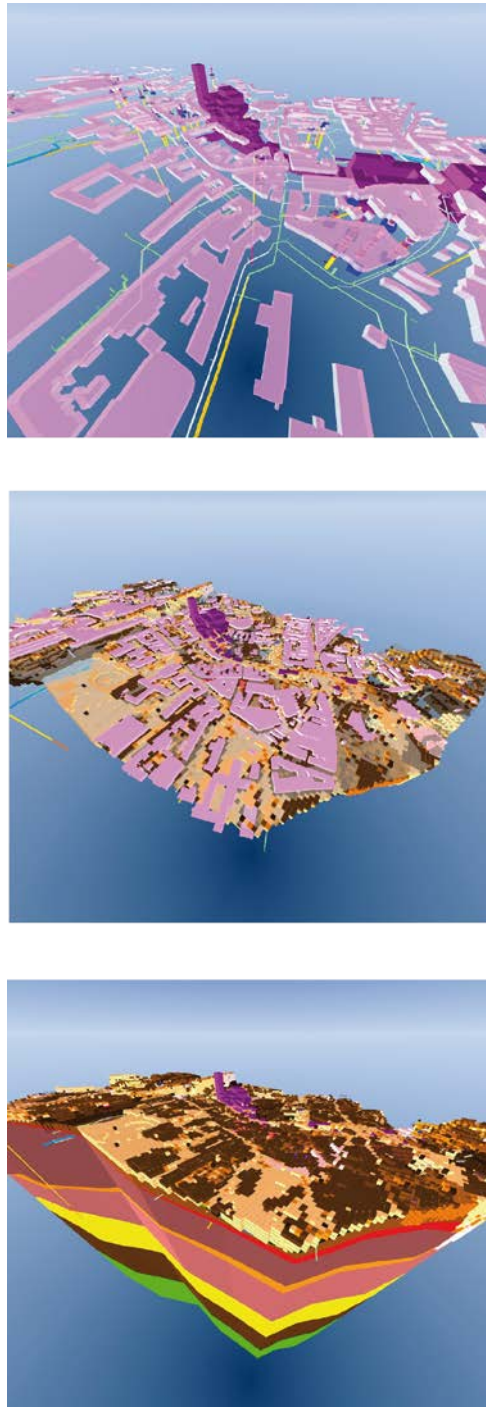
den begrænsende faktor. I overvejelserne skal indgå hvilken opgave, der skal løses med modellen og hvilken detaljeringsgrad, der kan forventes på baggrund af de data, der er til rådighed. Herefter genereres der flader i den hydrostratigrafiske model og efterfølgende voxler, som passer med den valgte detaljeringsgrad. Den antropogene model voxleres med den ønskede diskretisering, og efterfølgende tildeles voxlerne hydrauliske egenskaber. Herefter kan de to modeller kobles sammen, ved at de antropogene voxler erstatter voxlerne i den hydrostratigrafiske model.



Figur 7. Flowdiagram for sammenkobling af hydrostratigrafisk model og antropogen model.

Der kan være andre måder rent teknisk at håndtere sammenkoblingen af de to modeller, og valget af arbejdsprocedure vil afhænge af de implicerede modellører – såvel geomodel-lørerne som grundvandsmodellørerne.

Figur 8 giver en illustration af nogle af de producerede temaer, der er udarbejdet i forbindelse med detailmodelleringen af Thomas B. Thriges Gade.



Figur 8. Eksempler på nogle af de udarbejdede temaer fra detailmodelleringen af Thomas B. Thriges Gade. Øverst er vist infrastrukturdata, i midten er vist infrastrukturer og hydrauliske parametre for fyldlagene, og nederst er vist hydrauliske parametre for infrastrukturer og fyldlag sammen med den underliggende geologi.

Hvis modellen skal anvendes på oplandsskala, for eksempel hele Odense Å-oplandet, skal kommunemodellen først udvides med eksisterende geologiske/hydrostratigrafiske modeller udenfor kommunen.

Ved at bibeholde lagbetegnelser og grundigt beskrive laginddelingen i den hydrostratigrafiske model kan det uden større problemer lade sig gøre at kombinere lagene i de udenfor liggende modeller med lagene i kommunemodellen, såfremt disse er udarbejdet svarende til DK-modellens (Fynsmodellens) overordnede lag.

4. 3D-modellen som værktøj

I Appendix 1 er givet en beskrivelse af konsekvenser af påvirkninger af de hydrogeologiske forhold, og det belyser betydningen af en række af de påvirkninger af vandmiljøet, som er beskrevet i afsnit 2. Appendixet giver samtidig et ganske illustrativt billede af de metoder, som hydrogeologerne bruger – og er henvist til – når der er få umiddelbart tilgængelige borer, og når der ikke er udarbejdet hverken en geologisk/hydrogeologisk model eller en grundvandsmodel af undergrunden. Der anvendes forskellige overfladegeologiske kort, pejleserier og kun ganske få borer, og der opnås intet rumligt billede af undergrunden. Med hensyn til det rumlige billede af geologien og dens fortolkning er hydrogeologen henvist til egne erfaringer og forestillingsevne. Vigtige infrastruktur-elementer beliggende i undergrunden er ikke omtalt og ikke inddraget.

I dette afsnit beskrives brugernes overordnede behov for en 3D geologisk/hydrogeologisk model, når undergrunden skal inddrages i det daglige arbejde. Afsnittet tager sit udgangspunkt i den behovsanalyse, der indledningsvis blev udført i VTU-projektet.

4.1 Overordnede ønsker til modellen

I forbindelse med behovsanalysen er der foretaget en beskrivelse af overordnede ønsker til modellens indhold og dens funktion.

Modellen skal kunne håndtere:

- Geologiske grundelementer så som jordlagstyper (litologi)
- Hydrogeologiske grundelementer, så som magasinafgrænsninger og hydrauliske egenskaber
- Aggregerede data i 2D, så som dæklag og andre magasin-specifikke data
- Andre data i 2D, så som urbane infrastrukturdata og digitale højdemodeller, jordartskort, potentialekort mv.

3D-modellen skal kunne visualiseres sammen med eksisterende 2D-temaer, således at der kan opnås et samlet hydrogeologisk overblik.

Herudover skal 3D-modellen kunne anvendes i forskellige skalaer, så der kan modelleres i stor skala og lille skala efter behov – i den store skala på kommuneniveau og i den lille skala på matrikelniveau/boligkvarterniveau. I Odense er der udpeget 4 sådanne detailområder, hvor der har været fokus på forskellige lokale problemstillinger og behov. I disse områder vil der – for at opnå en større detalje i modelleringen - kunne være behov for:

- Indsamling af supplerende, detaljerede data
- Inddragelse af geotekniske data for at opnå øget detailviden
- Inddragelse af temaer for vandlidende områder og områder med mulighed for ned-sivning

- Udpegning af lokale, lavtliggende områder med begrænsede muligheder for afstrømning
- Viden om beliggenhed af drængrøfter
- Viden om gravede (og nu opfyldte) render omkring f.eks. forsyningsledninger
- Beregning af lokale konsekvenser af stigende vandspejl

4.2 Forskellige brugertyper

En 3D geologisk/hydrogeologisk kommunemodell kan have flere forskellige typer af brugere:

- Der kan være administratorer, som har brug for at anvende modellen til sagsbehandling, og som har brug for et overblik over de geologiske og hydrogeologiske forhold, eller for den sags skyld de hydrauliske forhold.
- Der kan være planlæggere, som har brug for et redskab til vurdering af muligheder og trusler ved nedsivning (beliggenhed af vådområder og beskyttelse af grundvandsmagasiner), vurdering ved ændringer af vandspejl ved større anlægsprojekter eller vurderinger af konsekvenser af ændret klima, eller mulighed for etablering af energi/køleanlæg.
- Der kan være hydrologiske modellører, som har brug for at arbejde videre med modellen som grundlag for detaljerede scenarieberegninger f.eks. hydrologiske modeller, simulering af effekten af LAR (lokalt afledet regnvand), ledningsnet- eller afstrømningsberegninger.
- Der kan være forskere, der ønsker at anvende modellen til videre forskningsmæssig bearbejdelse eller rådgivere, der ønsker at anvende modellen til videre geologisk modellering.
- Endelig kan der være brugere, der blot ønsker at visualisere modellen sammen med resultater af andre undersøgelser (f.eks. i forbindelse med resultater af scenarieberegninger).

Brugerne har i dag forskellige forudsætninger for at tilgå 3D-modellen:

- Administratorer og planlæggere vil normalt ikke være daglige brugere af modelværktøjet (GeoScene 3D) og vil oftest kun have brug for at anvende modellens resultater ved visualiseringer foretaget i modelværktøjet. Dette vil kræve kendskab til modelværktøjets simple funktioner og opbygning, men ikke nødvendigvis til selve tolkningsfunktionerne
- Geologiske modellører vil have brug for at arbejde med modellering i GeoScene 3D, hvilket kræver detaljeret kendskab til programmets faciliteter og funktioner

- Hydrologiske modellører vil have brug for at anvende 3D modellens resultater og behøver ikke nødvendigvis at kende til modelværktøjet. Dog vil et grundlæggende kendskab være en fordel, så det bedst mulige modeloutput kan bestilles fra den geologiske modellør
- Overordnede brugere, som kun skal bruge de overordnede resultater, vil kun skulle anvende modellens resultater, og vil derfor ikke have brug for at kende til modelværktøjet. Dog vil det kræve, at netop det ønskede output fra modellen kan rekvireres eller hentes direkte fra allerede udarbejdede temaer.

GeoScene 3D findes i en gratis viewer-udgave, som kan visualisere alle dele af modellen (downloades fra-www.I-GIS.dk).

4.3 Modellen som administrationsgrundlag

Der er et stort spring fra at etablere en normal "engangsmodel" til beslutningen om at have en kommunemodel, som indgår som administrationsgrundlag. Den afgørende forskel består i, at kommunemodellen så skal kunne benyttes som værktøj i planlægning og administration, og som forudsætter, at der tages stilling til, hvordan adgang og brug af modellen bør ske. Der skal her tænkes på uddannelse og adgang til værktøj, til modelresultater og ikke mindst, hvordan modellens resultater kan / skal bruges sammen med de øvrige data i forvaltningen og hvordan modellen vedligeholdes (se beskrivelse i Synteserapport, Mielby m.fl., 2015).

5. Visualisering af modelresultater

Arbejde i 3D giver rigtig mange muligheder for at udforske den rumlige dimension, men samtidig med de mange muligheder introduceres også en kompleksitet i arbejdsgangen, som i dag gør fuld udnyttelse tilsvarende arbejdskrævende.

Hvis den 3D geologiske/hydrogeologiske kommunemodells resultater skal bruges i praksis til hydrogeologiske formål i administration og planlægning, er der behov for at udvikle en operationel arbejdsgang, det vil sige, på en nem måde at gøre det muligt at anvende og udnytte den rumlige information i kommunemodellen. Det gælder ikke mindst, når modelens resultater skal bruges i sammenhæng med andre korttemaer (i 2D), som har til formål at tilføje en ny dimension til den geologiske/hydrogeologiske forståelse. Eksempler herpå kan ses i dette afsnit.

Her beskrives en metode til, hvordan man på simpel vis kan kombinere modelresultater og korttemaer. Endelig vises magasinafgrænsninger, som et afledet produkt af modelleringen, og et eksempel på anvendelse af potentialer sammen med modellen.

5.1 Kombinationer af korttemaer

I langt de fleste af de ovennævnte tilfælde er det en fordel at etablere en overskuelig opstilling af 2D-temaer i sammenhæng med 3D-modellen, så det er simpelt og let at bruge GeoScene 3D, og man ikke skal bruge uforholdsmæssig meget tid på at opstille passende kortvinduer for ønskede korttemaer i GeoScene 3D.

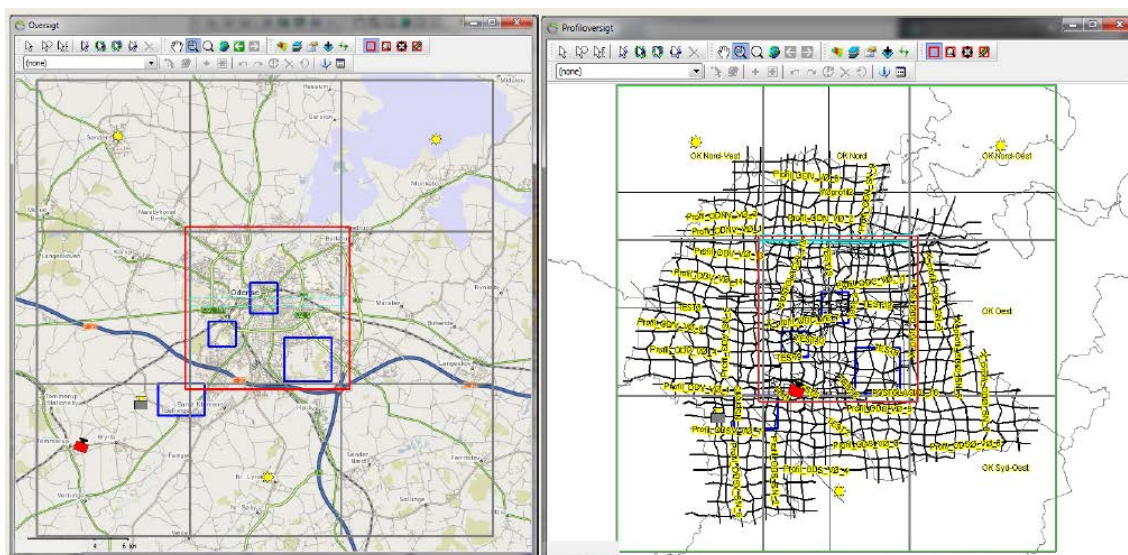
Der er typisk brug for følgende situationsbilleder:

- Oversigtskort
- Geologi/arealanvendelse på terrænoverflade
- Hydrogeologiske temaer på terrænoverflade

Endelig skal de forskellige profilsnit kunne ses, så man kan få et overblik over den rumlige dimension af geologien i undergrunden.

Oversigtskort

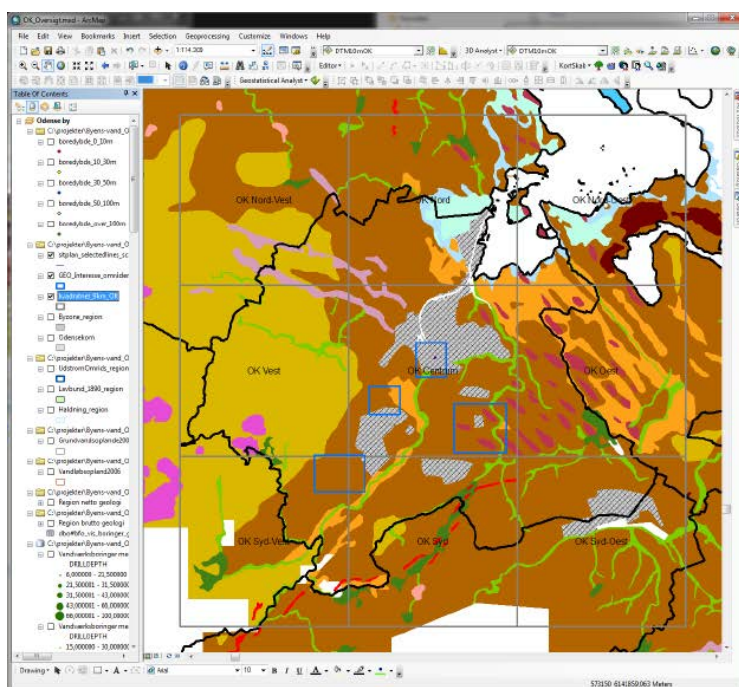
Disse oversigtskort kan typisk indeholde alle de oplysninger om modelområdet, profiler, geografiske navne, som man har brug for at orientere sig efter (se nedenstående Figur 9).



Figur 9. Oversigtskort med henholdsvis beliggenhed af detailområder (tv.; blå rektangler) og beliggenhed af profilsnit i den geologiske/hydrogeologiske model (th.).

Geologi/Arealanvendelse

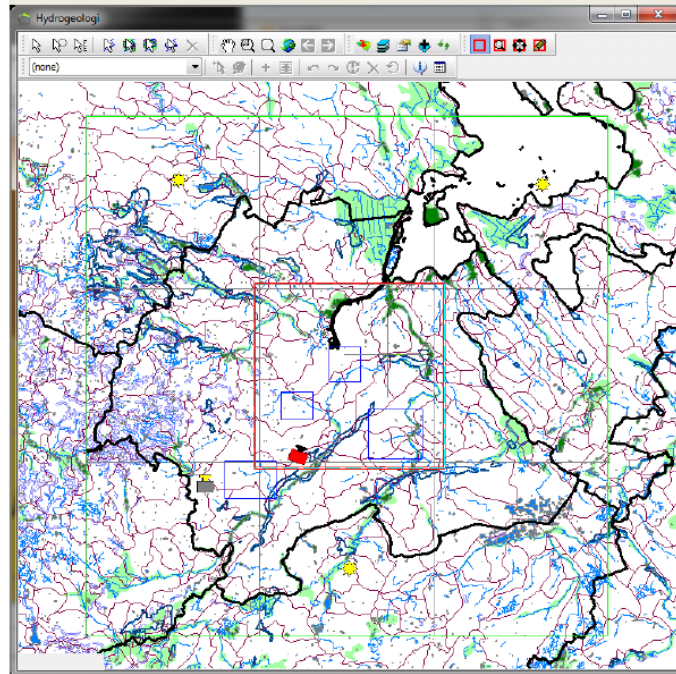
Dette korttema kan typisk indeholde alle de (eksisterende) 2D-oplysninger om overfladegeologi (se eksemplet på Figur 10), bytemaer, ledningsnet, terræn, organogene aflejringer mv, som man har brug for til at vurdere nedslivningsmuligheder mv., men det kan også være magasinudbredelser, lertykkelser over magasiner mv. For inspiration til datatyper henvises til Delrapport 2 (Kristensen m.fl., 2015).



Figur 10. Kortudsnit med typiske oplysninger om forhold vedrørende overflademorfologi og arealanvendelse (Jakobsen, P. R., foreløbig udgave).

Hydrogeologiske forhold på terrænoverfladen

Dette korttema indeholder typisk alle de hydrogeologiske oplysninger om vådområder (gamle som nye), søer, vandløb, data om terrænhældning, udstrømning og vandløbsoplande mv., som man har brug for til at vurdere, om der er grundvandsdannende områder eller stor overfladenær afstrømning (Figur 11).



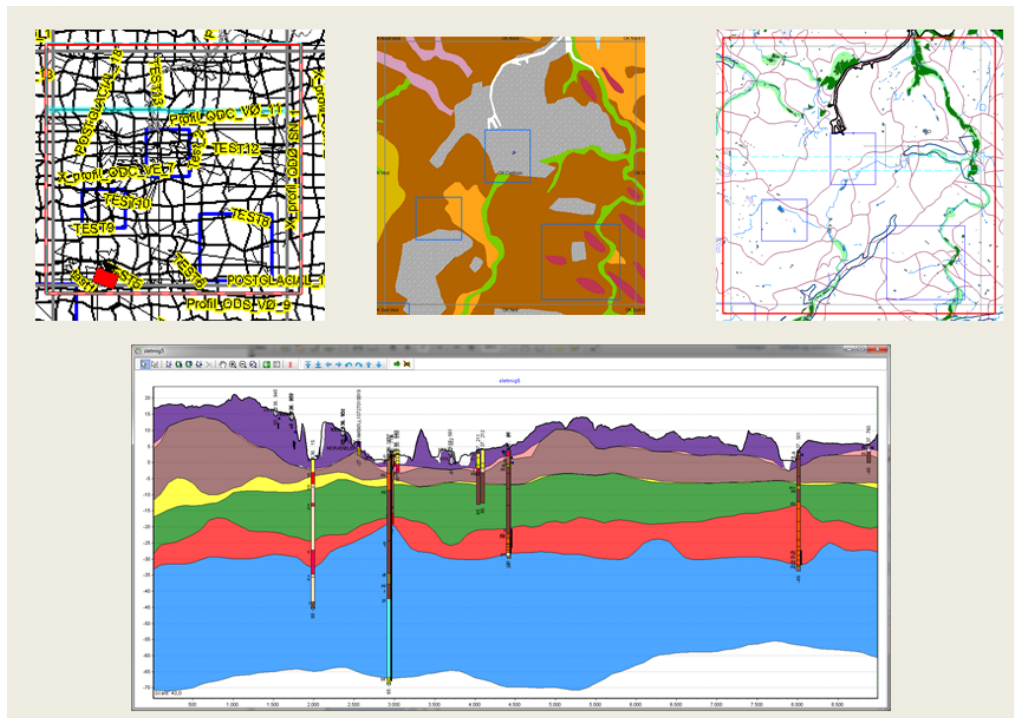
Figur 11. Kortudsnit med eksisterende hydrogeologiske informationer, der indikerer, hvor der er ringe grundvandsdannelse og/eller stor overfladenær afstrømning (Kristensen m. fl., 2015).

Rumlig visualisering af geologien sammen med 2D-information

På nedenstående figur (Figur 12) er vist udsnit af ovenstående korttemaer på et mere detaljeret udsnit af Odense bymidte.

Nedenunder er vist et profilsnit, som viser undergrunden i området. På profilet viser data en tolkning af geologien (hydrostratigrafiske lag) lige nord for Thomas B. Thriges Gade (se den lyseblå streg på oversigtsskemaet). Såfremt der zoomes endnu mere ind, vil det være oplagt at bruge en mere detaljeret model, der også indeholder flere relevante antropogene data.

Ved at skifte mellem de forskellige profiler af undergrunden, er det muligt inden for det enkelte område at danne sig et overblik over undergrunden i det område, man interesserer sig for.



Figur 12. Illustration med et udsnit af ovenstående korttemaer sammenholdt med profil af undergrunden lige nord for Thomas B Thriges Gade i Odense (beliggenhed af profil, se lys blå linje på øverste figur til venstre). Rød, gul og rosa er vandførende kvartære grundvandsmagasiner, og lilla, grønne og blå er lerede lag med begrænset vandføring. Hvidt for neden er vandførende kalklag.

Operational visualisering

Der er behov for at skifte mellem visualiseringen af områder i modellen. Her vil det være en stor fordel, hvis man i GeoScene 3D pr. automatik kan bibeholde det samme kortudsnit i de 3 forskellige kortvinduer - samtidig med at profilerne kan ses. Dette er desværre ikke muligt pt. GeoScene 3D-programmet bliver også noget tungt at køre med, når der arbejdes med supplerende GIS-temaer.

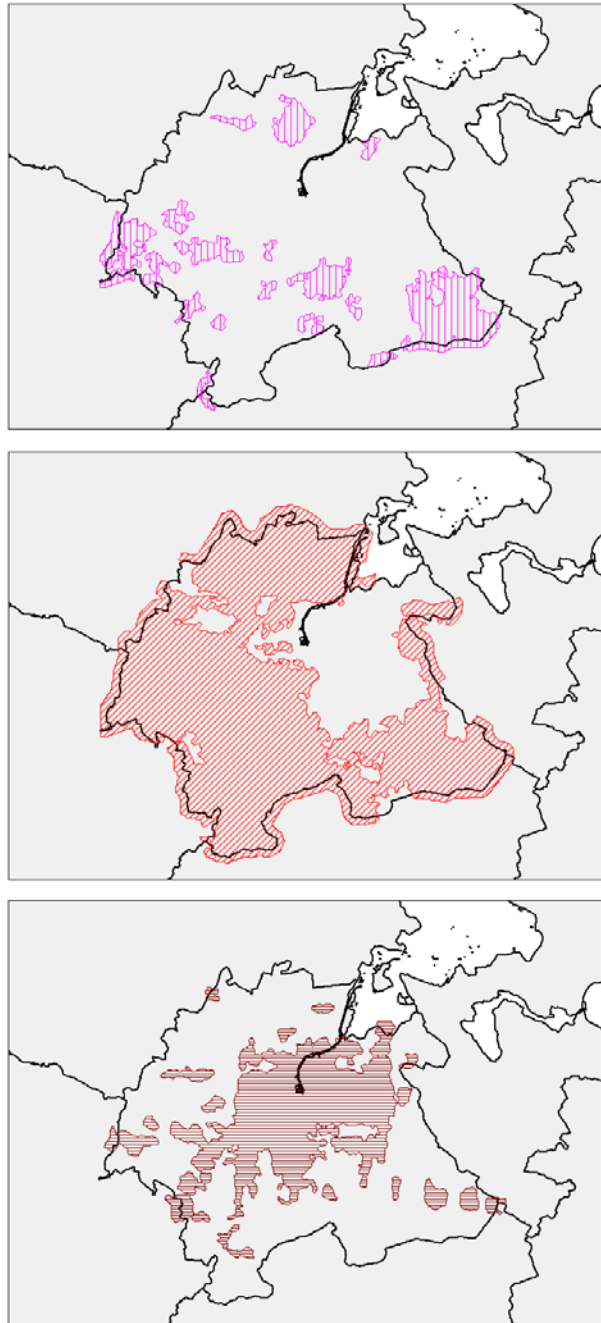
For at komme omkring dette problem, kan det være en mulighed at arbejde med klonede GIS-temaer (samme billedudsnit) samtidig med, at der arbejdes med profilerne i GeoScene 3D. Et alternativ er at arbejde med et antal GeoScene3D extents med fast udgangspoststilling.

5.2 Grundvandsmagasiner

Et delresultat fra den hydrogeologiske modellering er beregning af nye magasinspecifikke afgrænsninger, der er udtrykt fra den hydrostratigrafiske model. Denne information er nyttig, fordi den beskriver den horisontale udbredelse af de enkelte grundvandsmagasiner.

På

Figur 13 herunder ses udbredelsen af de 3 vandførende kvartære lag med lagtykkelser større end 3 m. Det dybe prækvartære kalklag udgør også et grundvandsmagasin, men er ikke vist på figuren.

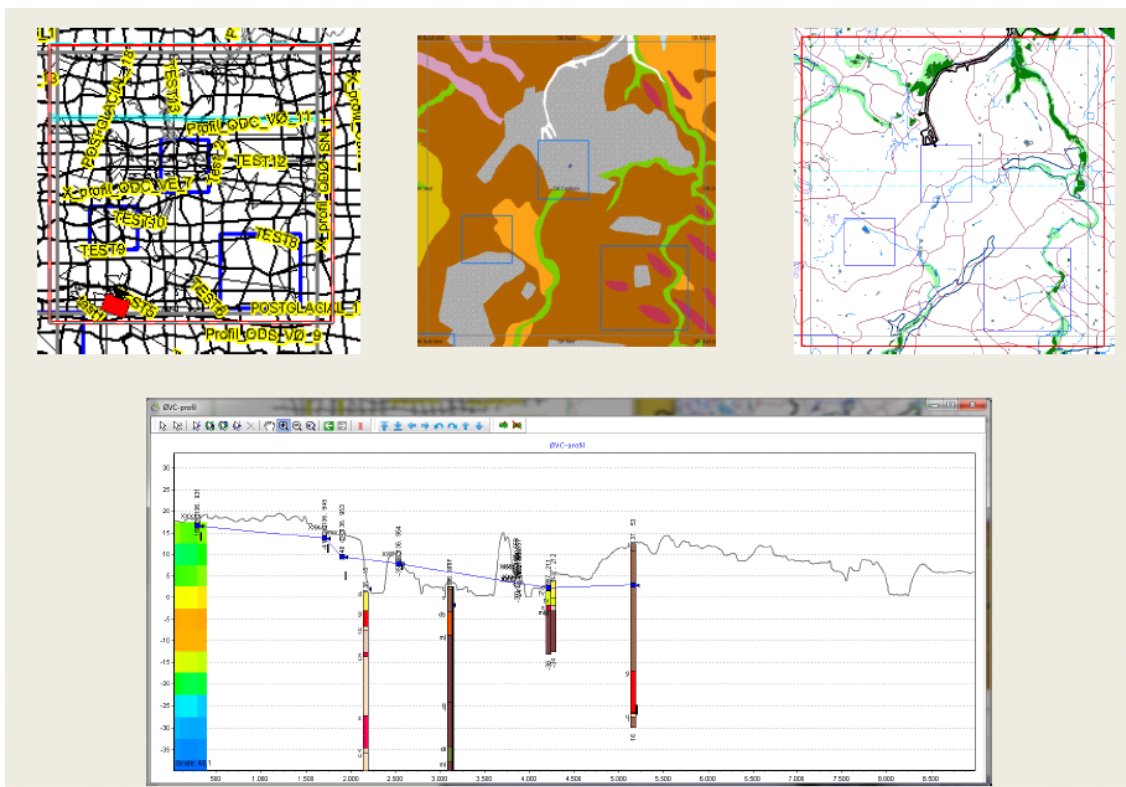


Figur 13. Udbredelsen af øverste (pink), mellemste (rød) og nederste (bordeaux) kvartære vandførende sandlag, tykkere end 3 m og inden for Odense Kommune.

5.3 Grundvandspotentialer

I GeoScene3D kan man direkte se grundvandsspejlet målt i de forskellige bornings indtag. Vandspejlet i boringen repræsenterer trykniveauet i de omgivende jordlag. Der kan dog være stor forskel på alderen og den årstid, som disse data er målt på, ligesom der kan være forskelle i kvaliteten af pejledata.

I GeoScene3D er det med indlæsning af pejlepunktsoplysninger fra det magasinspecifikke potentialekort for Odense-området (Fyns Amt, 2006) muligt også at optegne potentialer for forskellige grundvandsmagasiner sammen med den geologiske model (se Figur 14). Uanset disse data er ca. 10 år gamle og trænger til opdatering, indikeres i det viste eksempel muligheden for at tydeliggøre oplysningerne om vandspejlets trykniveau i de forskellige magasiner/magasinlag. Denne information er væsentlig i forhold til afklaringen af grundvandets strømningsretning mv. Specielt beliggenhed af det overfladenære potentiale giver en god indikation af, om der naturligt er udstrømning af grundvand til bestemte områder i terrænet, og om disse er i potentiel risiko for forsumpning. Eksempelvis når grundvandsstanden ligger over terræn.



Figur 14. Illustration med et udsnit af ovenstående oversigtskort sammenholdt med et profil med geofysik (tv.) og bornings i undergrunden lige nord for Thomas B. Thriges Gade i Odense. Den blå markering angiver potentialets niveau. Hvor potentialet ligger over terræn, kan der forventes opstrømmende grundvand – og således ringe nedsvinningsmuligheder.

6. Brugen af kommunemodellen

Én af de vigtigste egenskaber ved den opstillede kommunemodell er, at den giver et samlet overblik over hvilke data, der er til rådighed, og på hvilket grundlag (data) den valgte model er opbygget.

Som resultat af VTU-projektet foreligger der konkret følgende produkter:

- Geologiske tolkningspunkter
- En rumlig geologisk model
- En hydrostratigrafisk model
- En afgrænsning af grundvandsmagasiner (sandlag > 3 meters tykkelse)
- Afgrænsning af postglaciale aflejringer inden for byområdet
- Afgrænsning af fyldlag inden for byområdet
- En samlet antropogen model for Thomas B. Thriges Gade

I forbindelse med VTU-projektet er der desuden indsamlet en lang række data, som derudover kan visualiseres (se afsnit 5) eller kan bruges sammen med resultaterne af den geologisk/hydrogeologiske model.

Kommunemodellen kan i dag bruges som den er, og de forskellige produkter kan bruges i forskellige kombinationer, men i mange tilfælde vil der være behov for at samle flere data ind og udføre mere detaljeret modellering. Denne efterfølgende modellering vil dels kunne baseres på eksisterende papiroplysninger og dels feltkortlægning, som begge dels vil kunne underbygge kommunemodellen og dels den detaljerede modellering, som blandt andet er illustreret i afsnit 7.

Som beskrevet i afsnit 2 vil det vil det være en stor fordel én gang for alle at starte med at indbygge de vigtigste temaer, således at disse indgår på samme vis ved alle modellens senere anvendelser.

I de tilfælde, hvor kommunemodellen skal bruges som baggrund for en mere detaljeret modellering vil det også være en fordel indledningsvis at overveje, om der så vidt muligt kan anvendes samme diskretisering på alle celler, så de får samme størrelse. Herved kommer der ikke overlap, som ene og alene skyldes forskel i cellestørrelser.

7. Erfaringerne fra LARG-projektet

I forhold til nærværende 3D-projekt og leverancen af den 3D-hydrogeologiske model for Odense Kommune skal nævnes erfaringerne fra et andet relevant, netop afsluttet, VTU-projekt med næsten samme projektpartnere: VTU-projekt 7520.2012 *"Udvikling af en urban-hydrologisk model til simulering af nye innovative LAR-principper til lokal håndtering af både regnvand og grundvand (LARG)"* (Jeppesen, 2014).

7.1 MODFLOW-LID

I projektet blev der udviklet en urban-hydrologisk model "MODFLOW-LID" (Low Impact Development Controls – LID), der kan simulere byens vandkredsløb og de afledte hydrologiske konsekvenser ved både LAR og fremtidige klimaændringer, herunder stigende grundvandsspejl. MODFLOW-LID kan benyttes til at evaluere potentialet for forskellige LAR-principper og til at simulere den overfladiske afstrømning i kloakplande og derved generere inputtet til videre afløbsmodellering af LAR-effekten på opstuvningshændelser.

I MODFLOW-LID er beregningsmoduler forbundet med LAR (grønt tag, regnvandstank, wadi, faskine m/u vandbremse) og overfladisk afstrømning implementeret som en selvstændig "LID-proces", hvilket sikrer en fleksibel anvendelse med andre standard MODFLOW pakker. Integrationen mellem LID-processen og MODFLOW (grundvandsdelen) kan evt. deaktiveres, sådan at modulerne kan benyttes på et simpelt niveau, f. eks. til simulering af én faskine.

MODFLOW-LID er anvendt til at demonstrere innovative LAR-scenarier for to bydele i Odense på moræneler; et villa-område og et tætbebygget område. LAR-scenarierne inddrager fordampning og forbrug af regnvand med henblik på at reducere mængden til nedrivning og derved imødegå den forventede ringe nedrivningskapacitet i moræneler. Modelscenarierne har identificeret en gunstig effekt på afkoblingsmulighederne ved inddragelse af fordampning og forbrug. Det er også belyst, hvorvidt afledningen fra LAR-elementer kan drosles til eksisterende kloak via regulatorer og på den måde eliminere opstuvninger og opfyldte serviceniveauet. Modelleringen har identificeret et potentiale for denne løsning, som kan benævnes "delvis afkobling af regnvand", og som bryder med den traditionelle opfattelse af LAR, som værende afkoblet fra afløbssystemet.

7.2 Indsamling af nye data i detailområder

En model er som bekendt ikke bedre end det input og de forudsætninger man giver den.

MODFLOW-LID er i stand til at kvantificere de væsentligste led i det urban-hydrologiske vandkredsløb, stigninger på grundvandsstanden, afstrømning til kloakken, etc. Demonstrationen i LARG-projektet på to byområder har imidlertid tydeliggjort, at antagelser forbundet med omfangsdræn, hydrogeologiske parametre, klima m.m. har stor betydning for modelresultaterne. Der er således betydelige usikkerheder forbundet med modelresultaterne for

det simulerede urbane vandkredsløb samt LAR- og nedsivningspotentiale. Usikkerhederne tilskrives det generelle problem for byområder, nemlig at der foreligger relativ få observationer og data på det urbane vandsystem, særligt den terrænnære hydrogeologiske opbygning, som har stor betydning for simulering af nedsivningsmulighederne.

Set i lyset af det økonomiske besparelspotentiale ved at anvende LAR til håndtering af klimaudfordringerne - og til at imødekomme rekreative formål - er der imidlertid generelt en stigende forståelse for behovet for indhentning af flere data relateret til belysning af LAR og nedsivningspotentialet. Før en konkret opstilling af en 3D hydrogeologisk model og anvendelse af MODFLOW-LID for et detailområde bør der indsamles et rimeligt datagrundlag, som står mål med formålet med modelleringen.

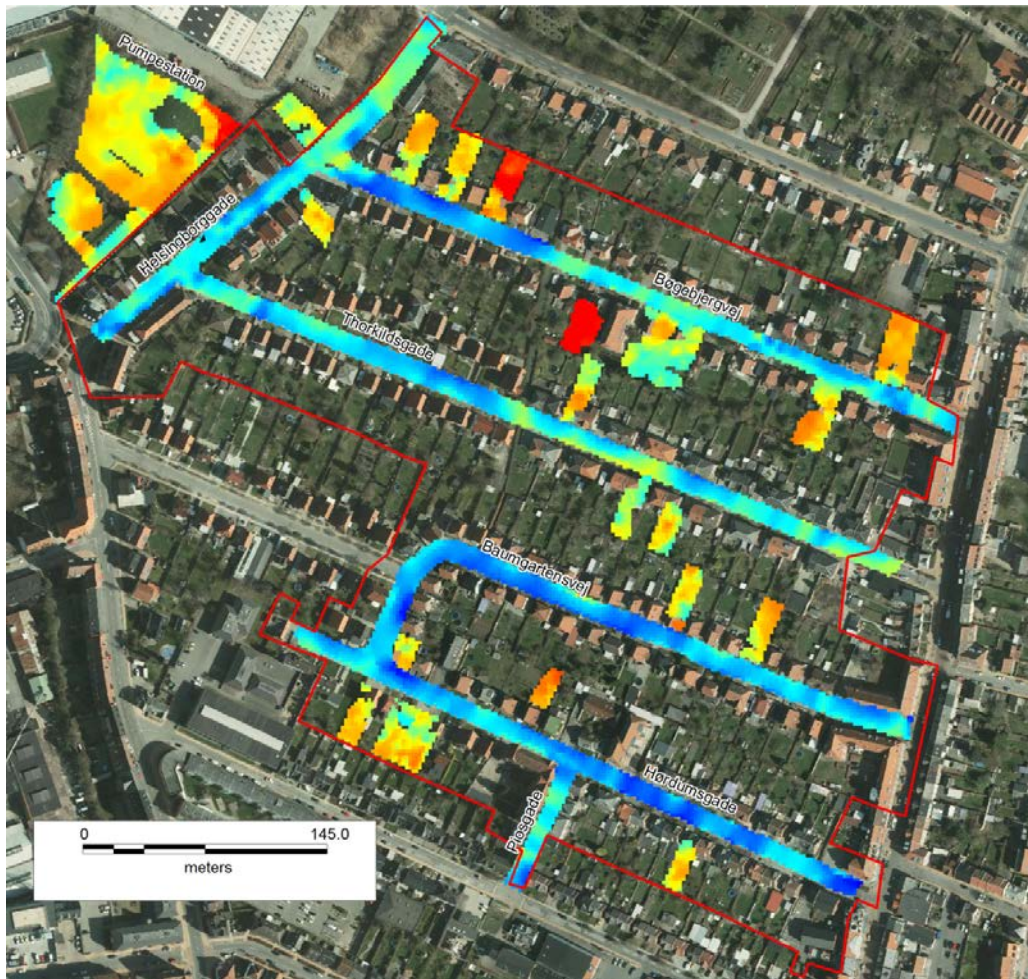
Data, som kan overvejes at indsamle, er:

1. Ejendomsspecifikke data (indhentes ved spørgeskemaer, interviews):
 - Kælderdybde, omfangsdræn, drænpumpe (på bygningsniveau)
 - Oplysninger omkring eventuelle fyldlag
 - Observationer / erfaringer med vandlidende arealer

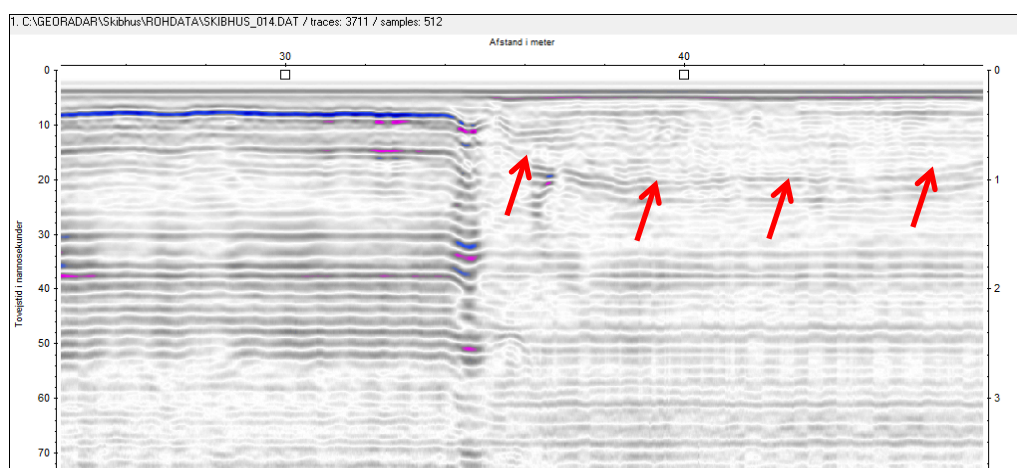
2. Kortlægning og målinger (på private og offentlige arealer)
 - Geofysik (bemærk risikoen for stedvis dårlig datakvalitet pga. støjkilder)
 - EM31 og EM38 (se Figur 15 for eksempel)
 - MEP (evt. profiler på tværs af baghaver)
 - Georadar (evt. over ledningsgrave og veje til identifikation af vejkasse, sand- og gruslag, se Figur 16 for et eksempel)
 - Infiltrationstest i terræn og i dybere niveau
 - Korte borer (<5 m), kornstørrelsesanalyser, slug-test, pejlinger
 - Spydartering
 - Detaljerede kort over terræn, arealanvendelse, vegetationsklasser (græs, træer, m.m.), befæstede arealer

Mht. pkt. 1 er der potentiale for at opnå et betydeligt udbytte ved en målrettet borgerinddragelse. En aktiv borgerinddragelse kan også sikre en smidigere kortlægning i pkt. 2, som også bør omfatte private arealer. Der kan med fordel anvendes geofysik til grovidentifikation af egnede infiltrationssteder, som kan bekræftes ved borer og infiltrations-test. Der vil i varierende grad være problemer med dårlig datakvalitet på de geofysiske målinger, som følge af støj fra nedgravede kabler, trådhegn, rør, m.m.

Inddragelse i modellen af den reelle fordeling af arealanvendelse og vegetationsklasser er også af stor vigtighed. Beliggenheden af eksempelvis træer med rodnet i forhold til nedsivningselementer kan således have betydelig indflydelse på den lokale vandbalance og fordamningsberegning ved modellen. Dette er særlig vigtigt, hvis der overvejes terrænnær nedsivning i regnbede.



Figur 15. Eksempel på resultater fra en opmåling med EM-38 i et kortlægningsprojekt i Odense (ALECTIA, 2015). Kortet viser den gennemsnitlige elektriske ledningsevne i mS/m inden for den øverste ca. 1 meter.



Figur 16. Eksempel på radargram over en vej fra et kortlægningsprojekt i Odense (ALECTIA, 2015). Overgangen fra fyld til intakt jord er markeret med røde pile.

8. Resultater

Der er gennem de sidste 35 år opstillet mange hydrogeologiske og hydrologiske modeller for større eller mindre dele af Fyn, og fælles for mange af dem har været, at man er startet forfra på arbejdet hver gang, man har haft en ny problemstilling. Samtidig har man kunnet iagttage, at modellerne mest har været brugt til beregning af scenarier, og i hvert fald ikke som et (opdateret) hverdagsredskab i den kommunale forvaltning.

Den traditionelle hydrogeologiske arbejdsgang er her oftest foregået ved anvendelse af overfladekort, resultater af modelberegninger, og de boringsoplysninger, der er i Jupiter-databasen. Altså i høj grad en 2-dimensional arbejdsgang, suppleret med enkelte punktinformationer om undergrunden.

I dette projekt er der anvendt en anden filosofi. Her har vi søgt at etablere et værktøj, der inddrager viden om vores undergrund i byen, det vil sige rumligt (3D), som er tænkt som et fælles, dynamisk grundlag for modellering nu og i fremtiden.

Det er sket i erkendelse af, at hvis vi skal belyse de opgaver, som byerne står over for, så er inddragelse af al viden, der har betydning for det urbane vandkredsløb, noget af det vigtigste, vi skal kunne.

8.1 Samspillet i det hydrologiske kredsløb

Vores erfaringer med de hydrogeologiske påvirkninger af vandets kredsløb på grundvandet i by- og bynære områder i VTU-projektet og ikke mindst LARG-projektet har vist, at det er helt afgørende nødvendigt at inddrage såvel klimaskabte som menneskeskabte påvirkninger.

Det er på den baggrund vores vurdering, at utraditionelle informationer, for eksempel arkæologiske, historiske og nyere infrastrukturelle informationer i rigtig mange tilfælde skal inddrages, hvis effekten af et givet tiltag skal vurderes realistisk.

Eftersom vi taler om vandets kredsløb, så er der behov for at arbejde såvel på kommune- og oplandsskala. Samtidig skal detailviden helt ned til den enkelte matrikel og det parcelhuskvarter, huset ligger i, kunne tilgås. Derfor har vi i dette projekt brugt rigtig megen tid på at opsamle og tilgængeliggøre så mange digitale data som muligt.

For hver opgave er det vigtigt for hydrogeologen hele tiden at kunne tilgå den viden, der fagligt er brug for og i den skala, der er brug for.

8.2 Modellen anvendt som værktøj

Behovsanalysen har – som en vigtig del af VTU-projektet - guidet projektet hen mod en definition af vores vigtigste tekniske mål. Hvad skal modellen indeholde? Hvad skal den

kunne som værktøj? Da der var tale om et omfattende arbejde, har det været specielt vigtigt at få defineret, hvad der skulle udgøre de fundamentale dele af modelværktøjet.

Centralt i dette arbejde har været formuleringen af en række interesseområder med forskellige typiske detaljerede problemstillinger.

På den baggrund har vi kunnet fokusere på, hvordan vi kunne imødegå det helt centrale ønske om at have én model, og med den at kunne arbejde i forskellige skalaer

På kommuneskala kan man typisk arbejde i 100x100 meter celler, hvorimod detailområderne kan have behov for 5 x 5 meter celler. Den opstillede model indeholder alle data, og der er mulighed for at arbejde i forskellige skalaer i én og samme model, men dog ikke i forskellige skalaer på samme tid. Det betyder, at man er nødt til at forholde sig til formålet med modelleringen og kravene til detaljering, og derefter aktivt vælge den skala, som man vil arbejde i. 3D-modellen i GeoScene 3D vil kunne indeholde alle tolkninger uanset skala, men ved det videre arbejde skal man vælge data og tolkninger til og fra, afhængigt af den konkrete opgave.

I VTU-projektet har vi arbejdet med et koncept for håndteringen af de grundlæggende data, så vi til stadighed bruger de samme data som fundament – uanset skala. Der er samtidig arbejdet med et koncept for den detaljerede udbygning og håndtering af disse data.

Ligeledes har det været vigtigt at få udviklet et værktøj til håndtering og bearbejdning af infrastrukturdata, da disse data er omfattende i mængde og desuden må forventes at have behov for en betydelig hurtigere opdateringsrate end de geologiske data.

8.3 Modellen som administrationsgrundlag

Det er vigtigt at have adgang til den rumlige information, der ligger under byerne – og samtidig have adgang til al den viden, der er om infrastruktur og overfladens geologi/hydrogeologi.

Arbejdet med VTU-modellen har vist, at der er mulighed for at tilgængeliggøre en lang række data, der ikke før har været samlet til brug for administrationen.

I VTU-projektet er der arbejdet med at få adgang til og tilvejebragt mange data, men det er ikke alle data, vi har kunnet få fat i. Der mangler stadig adgang til geotekniske data, og ligeledes er det ikke alle geologiske data i Jupiterdatabasen, der er af god kvalitet. Ligeledes er det heller ikke alle infrastrukturdata, der har tilstrækkelig kvalitet, når vi når ned på matrikelskala.

Med adgang til information skal også tænkes i typer af værktøj, da teknologi spiller en vigtig rolle. I VTU-projektet er der udført en analyse af brugernes arbejdsgange, anvendelsesniveauer, og hvordan modellen forventes brugt som værktøj. Det er vigtigt i det hydrogeologiske arbejde at kunne sammenstille informationer om forhold på jordoverflade med den

rumlige geologi og arealanvendelsen i byen. I VTU-projektet er der arbejdet med at sammenstille modellens profiler med oplysningerne om overfladen.

For at kunne have (fortsat) adgang til viden, der er opdateret og af god kvalitet, er der i VTU-projektet arbejdet med, hvordan modellen fremover kan opdateres og vedligeholdes. Det første skridt i dette arbejde har i dette projekt været at beskrive en veldefineret arbejdsgang og arbejdssammenhæng for modellen.

9. anbefalinger

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 model. 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 være erstattet af fyldmateriale i flere omgange.

- Bydata (oplysning om infrastruktur) er ikke altid tilstrækkelige, f. eks. er oplysninger om kelder beliggenhed og dybde er ikke nøjagtige nok til anvendelse i forhold til at forudsige noget om vand i kelder-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.

10. Referencer

- Boukhemacha, M., A., Gogu, C., A., Serpescu, I., Gaitanaru, D. & Bica, I., 2015:
A hydrogeological conceptual approach to study urban groundwater flow in Bucharest city, Romania. *Hydrogeology Journal* 23, 2015, p. 437-450.
- DMI 2015:
Klimaudviklingen frem til I dag. www.dmi.dk
- Fyns amt, 2006:
Potentialekort for udvalgte magasiner og lag. Bind 1-3. Udarbejdet af Orbicon.
- 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.
- 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.
- 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., 2014:
Odense – A city getting wetter? SUB-Urban City description Odense – Denmark, v. 1.1. State of art report, COST Action TU1206 – WP1, September 2014.
- Linderberg, J., 2013:
Odense, fem områders historiske udvikling. Notat om Arealudnyttelsen set i lyset af grundvandsproblematik og geologi. VandCenter Syd, internt notat udarbejdet i forbindelse med VTU-projektet.
- Mielby, S., 2013:
Behovsanalyse, Status pr 2013.10.16, Udarbejdet i VTU-projektet i forbindelse med MP1-afrapportering.
- Mielby, S., Jespersen, C. E., Ammitsøe, C., Laursen, G., Jeppesen, J., Linderberg, J., Søndergaard, K., Kristensen, K., Hansen, M., Jensen, N.-P., & Sandersen, P., 2015:
Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Synteserapport. Udarbejdet i VTU-projektet.
- NST, 2015
<http://www.klimatilpasning.dk/vaerktoejer/grundvand/grundvandskort.aspx>
- 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.

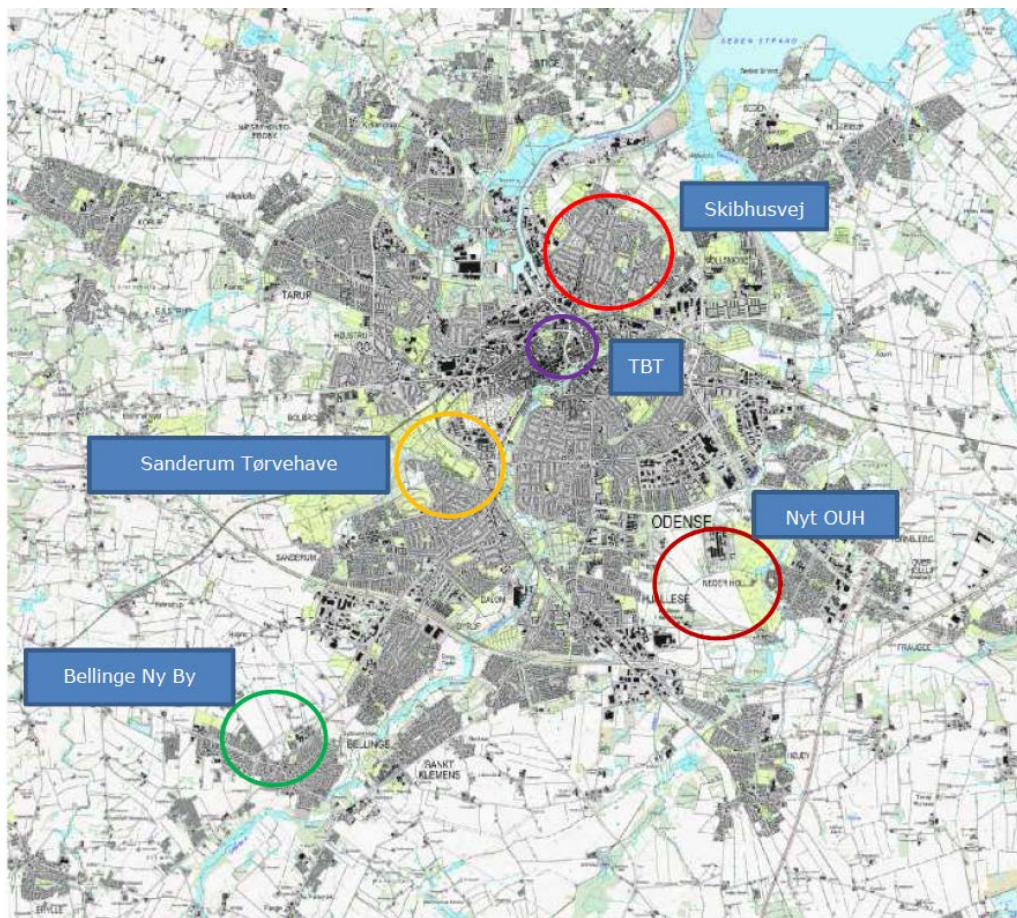
Thorling, L.T., Brusch, W., Ernsten, V., Hansen, B., Laier, T., Larsen, F., Mielby, S. & Sørensen, B., L., 2015:

Grundvand, Status og udvikling, 1989-2013, Teknisk rapport, GEUS.

11. Appendix 1 – Detail-områder

I forbindelse med eksemplet fra Odense Kommune er der i dette afsnit foretaget en detaljeret beskrivelse af cases, som skildrer baggrunden for byen siden dens begyndelse, se Figur 17.

Der er detaljerede beskrivelser af 5 historiske områder, hvor det samtidig er illustreret, hvilken betydning fortiden og hydrogeologien har haft på de enkelte områder. Beskrivelserne er etableret før 3D-modellen var færdig, og beskrivelserne er således anvendt som grundlag for modellen – og ikke omvendt.



Figur 17. Odense by og de fem historisk bekrævede områder (Linderberg, 2013).

Et kendetegn for alle områder er, at der ikke foreligger ret mange boringsoplysninger. Der har således ikke været et udbredt behov for at lede efter grundvand i disse områder. Der er en del geotekniske boringer, men disse er sjældent brugbare i forbindelse med grundvandsundersøgelser og meget få geotekniske boringer er tilgængelige til brug for måling af vandstandspejl.

Der er ikke foretaget omfattende geofysiske undersøgelser, da disse områder til dels var udviklede da de geofysiske metoder blev mere tilgængelige, eller de har ligget udenfor disse områder med særlig drikkevandsinteresser og dermed ikke været omfattet af amternes og senere Naturstyrelsens kortlægningsindsats.

Brugen af gamle kort og anden viden har dog givet et godt fingerpeg om, hvordan geologien og grundvandsstanden er i områderne. Gamle kort har vist ganske få huse/gårde i området som med stor sandsynlighed har skyldtes mangel på drikkevandsforsyningsmuligheder.

Når tidligere vådområder og naturlige vandløb bliver drænet/tørslagt som følge af væsentlig sænket vandstand i forbindelse med vandindvinding vil det ofte blive urbaniseret. Få tanker skænkes på at denne tilstand med vandstand primært er en midlertidig tilstand som ved ændret indvindingsstrategi eller muligheder ændres og grundvandsstand og vandløb igen bliver vandførende igen. Nu er urbaniseringen pludselig i farezonen eller får problemer når de naturlige grundvandsforhold vender tilbage.

11.1 Vinkælderrenden/Skibhuskvarteret

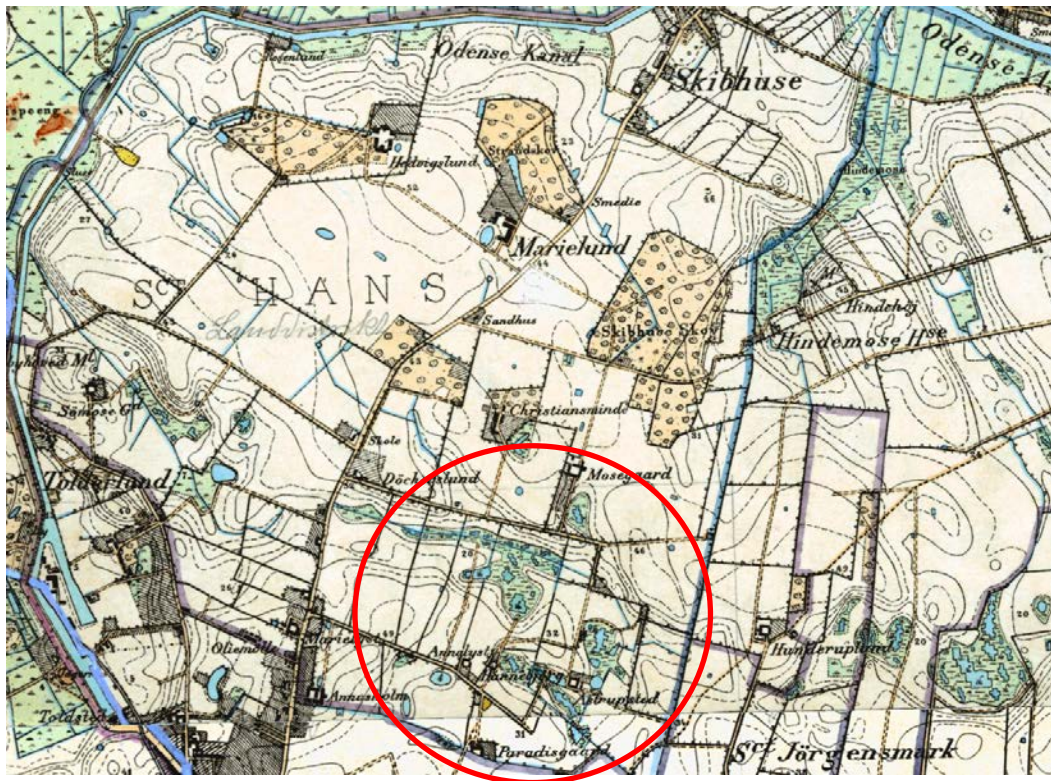
Område 1 er Skibhusvej-kvarteret, som er et tætbebygget boligområde, der er udviklet op gennem den første halvdel af 1900 – tallet. Området er en morænelers bakke gennemskåret af en senglacial/postglacial dal. I bunden af dalen løber et vandløb som dræner en række langstrakte moser og vandhuller. Det afvandes mod kanalen. I takt med udbygningen blev disse lavbundsområder også bebygget. Moserne blev yderligere dræneret og vandløbet blev tørlagt. Der er nu massive kapacitetsproblemer og hvor store mængder vand skal pumpes væk fra området til rensning på det centrale renseanlæg.

Historik

Odense har været købstad siden 988 og har altid været centralt placeret i Danmark. Odenses karakter af trafikknudepunkt på ruten fra bælt til bælt har præget byen, der også har huset regering og magthavere i middelalderen. I den senere halvdel af 1700-tallet bliver Odense Kanal og Odense Havn gravet ud. Første skib ankommer i 1803. Derved fik byen en ny mulighed for vareimport og eksport. I 1850 var Odense landets største købstad med 11.100 indbyggere.

Byen bestod af en bykerne omkring Odense Slot, Nørregade, Nedergade, Overgade og Vestergade. Byens nordlige grænse gik ved den nuværende havn mod nord og Odense Å mod syd. I slutningen af 1800 tallet rykkede en række velstående beboere fra området syd for åen og til Hunderupkvarteret. Anlæggelsen af Odense Stålskibsværft, Thrige's fabrikker i slutningen af 1800-tallet satte skub i udviklingen af Skibhusvej-kvarteret, der således er en relativ ny bydel som har udviklet sig gennem den første halvdel af 1900 tallet.

Byudviklingen medførte også et behov for vandforsyning, og man borede efter vand i de lavtliggende områder lige nord for Tolderlund (se kortet, Figur 18). Her etablerede Odense Vandforsyning et decentralt vandværk Bøgebjergværket i midten af 1930'erne. Bøgebjergværket var stadig aktivt i midt-1960'erne med en årlig indvinding på ca. 350.000 m³/år. Indvindingen ophørte sidst i 1970'erne, hvor driftvandspejlet lå ca. i kote -3 m til -4 m. I dag er vandspejlet i magasinet beliggende i +1 til +2 m.



Figur 18. Skibhusvej kvarteret i slutningen af 1800-tallet.

Geologisk og landskabsmæssig beskrivelse

Området er geologisk præget af et relativt fladt ler-plateau beliggende 10-12 m.o.h. Som det fremgår af landskabskortet fra sidste halvdel af 1800-tallet, lå der ganske få gårde, få vådområder og mindre vandløb på plateauet. Det kan vidne om dårlige betingelser for etablering af en vandforsyningsbrønd i området.

Boringer foretaget i området, sideløbende med Bøgebjergværkets oprettelse, viser en geologisk lagfølge som består af gråt moræneler fra terræn og ned til kote -21 m. Her forefindes et sandlag af 8 meters mægtighed. Vandspejlet står i kote ca. +1-2 m.

Byudvikling

I området er de højereliggende arealer blevet bebygget fra 1920'erne og frem til 2. verdenskrig. Områderne omkring Vinkælderrenden er på dette tidspunkt stadig friholdt for bebyggelse.

Byudviklingen sker i takt med, at boligbehovet for arbejdere til de større industriarbejdspladser også stiger. Det er nu muligt at forsyne området med drikkevand fra Odense Vandforsyning.



Figur 19. Området i perioden 1928-1944.

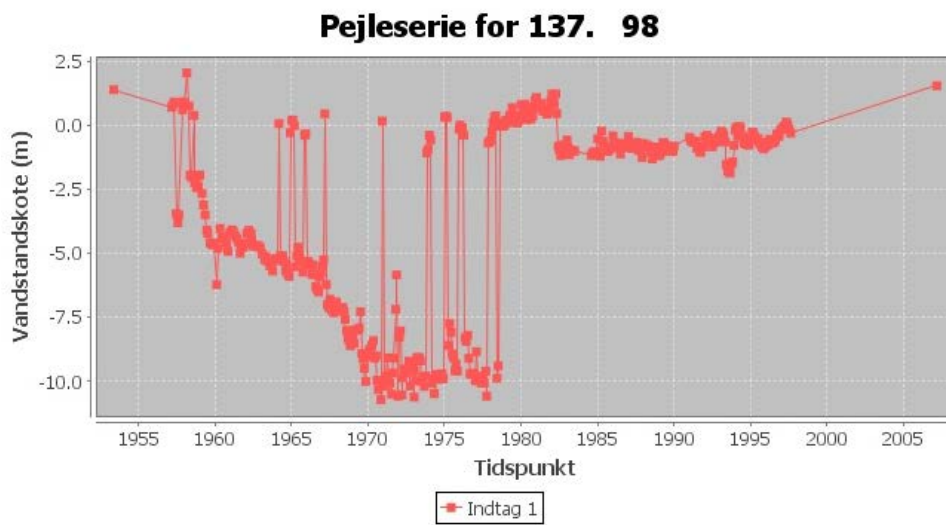
Byudvikling efter 2. verdenskrig

De lavere liggende områder ved Vinkælderrenden er efter 2. verdenskrig blevet drænet og derefter kraftigt bebyggede. De store moseområder, som stadig fremgik af kortet på figur 18, er nu næsten forsvundet.

Vandstanden i området har varieret en hel del så længe vandindvindingen stod på. På kortet Figur 20 kan man se at de tidlige moser nu er omdannet til to små søer med et rørlagt vandløb som forbindelse.



Figur 20. Området i 2006.



Byområdet er blevet fælleskloakeret under hele byudviklingen. Som det fremgår af skemaet nedenunder er byarealet vokset eksplosivt. Hele Skibhuskvarteret udgør ca. 5 km².

Årstal	Byareal
1899	0,2 km ²
1939	1 km ²
1954	3 km ²
1983	3,8 km ²
2012	4,0 km ²

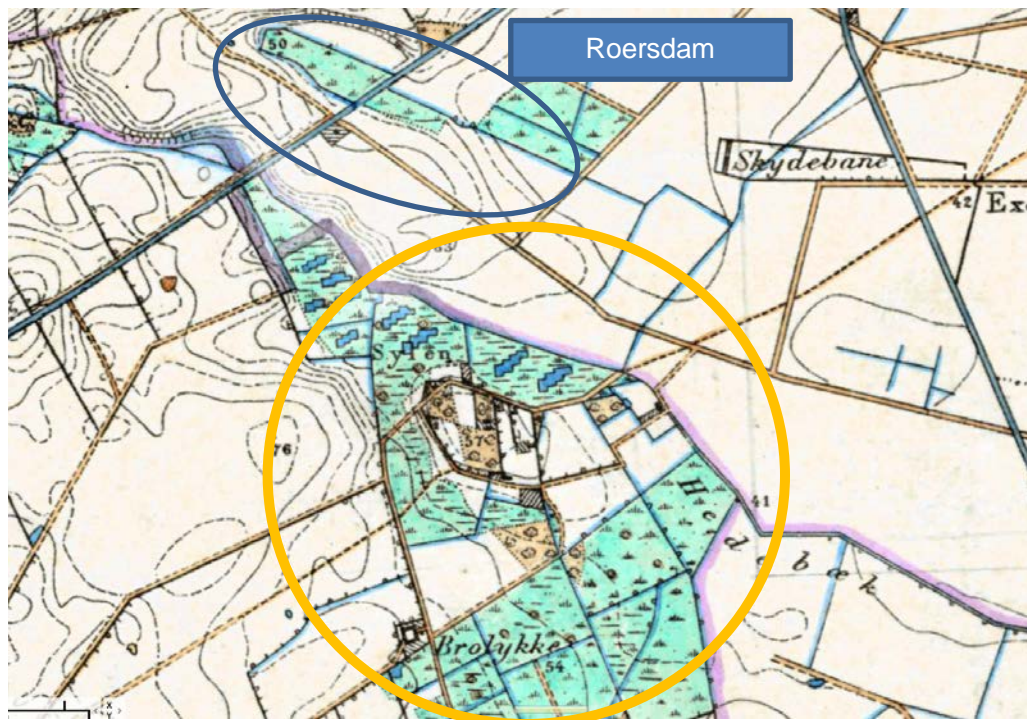
11.2 Sanderum Tørvehave

Område to er Sanderum Tørvehave og som navnet antyder et område domineret af tørve-moser dannet i kanten af en postglacial hedeslette. Dette område blev især udbygget op gennem 1960'erne og 1970'erne hvor massiv vandindvinding lokalt i området, tørlagde moser og drængrøfter. I takt med det faldende vandforbrug og den deraf følgende forringelse af vandkvaliteten, er indvindingen i området reduceret meget drastisk og vandstanden i området er steget markant, med voksende problemer til følge for husejerne i området som nu oplever fugtige kældre og haver. Bortledningen af overskydende vand fra området er en økonomisk stor post som grundejerne i stort omfang selv må bære.

Historik

Sanderum Tørvehave har været et stort sammenhængende naturområde med mange moser. Et enkelt vandløb, Hedebækken, gennemskærer området fra nordvest mod sydøst og dræner området af mod Odense Å. Dette område har været et meget væsentligt område for Odense vandforsyning siden sidst i 1500-tallet hvor områdets kilder gav vand til byens vandposter.

I 1870'erne blevet der boret efter vand i Roersdamområdet som er den nordlige ende af Sanderum Tørvehave-området. I 1870'erne og frem til 1890'erne var området artesiske dvs. vand trængte op af borerne af sig selv.



Figur 21. Sanderum Tørvehave og Roersdamområdet 1885.

Som det fremgår af kortet fra sidst i 1800-tallet blev der gravet efter tørv i området og området var gennemskåret af drængrøfter.

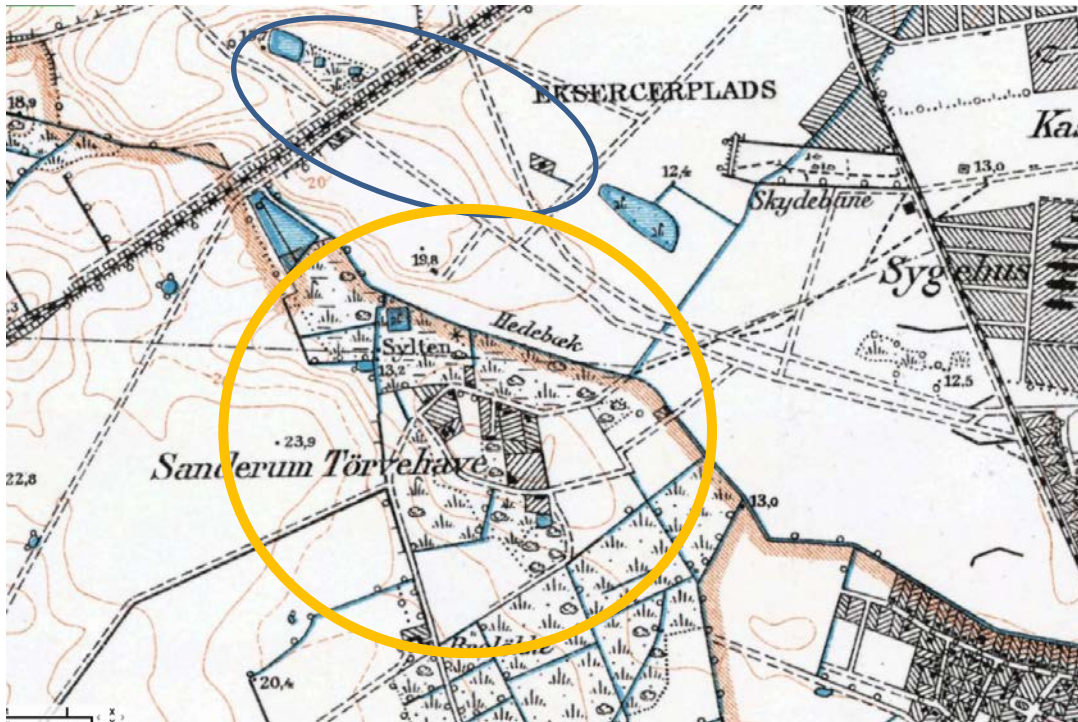
Hedebækken bliver i et endnu ældre kort kaldt for Sanderum Skelgrøft, hvilket tyder på at den er anlagt og ikke naturlig. Tidsmæssig kan det passe med de store dræneringsprojekter i starten af 1800-tallet.



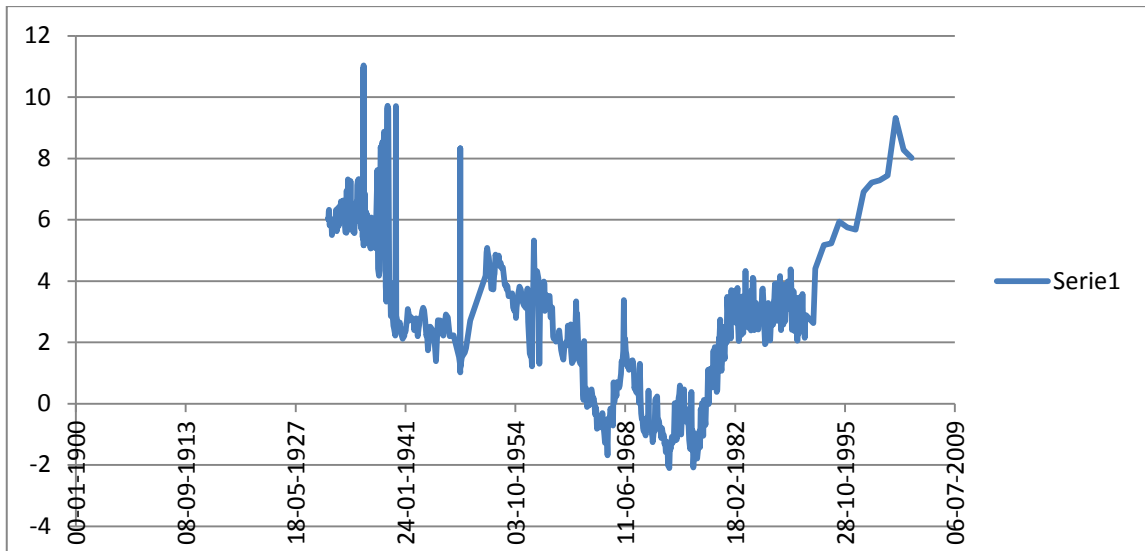
Området, hvor moserne er dannet, ligger ved randen af en hedeslette formet under sidste istid. Området har været intensivt udnyttet til vandindvinding siden 1894 hvor der er indvundet meget betydelige vandmængder.

Området har tidligere været militær øvelsesterræn helt frem til 2.verdenskrig , hvilket også kan være forklaringen på at urbaniseringen ikke rigtigt fik tag i området.

Eneste bebyggelse i området er nogle husmandssteder dels ved Broløkke og ved "bakken" ved Sanderum Tørvehave. De lavtliggende moseområder med drængrøfter er endnu ikke bebygget. Terrænkoten på Eksercermarken er +13 m. Det er kun de højtliggende arealer som er bebygget.



Figur 22. Sanderum Tørvehave i 1920'erne.



Figur 23. Vandspejlet ved Sanderum Tørvehave ved boring 145.36D.



Figur 24. Sanderum Tørvehave ved slutning af 2. verdenskrig.

Bemærk, at der er udlagt kolonihaver i området, og at engene og mosen nu er drænet så meget, at der kan etableres en travbane. Vandspejlet er ca. kote +2 m og terræn i kote +13m.

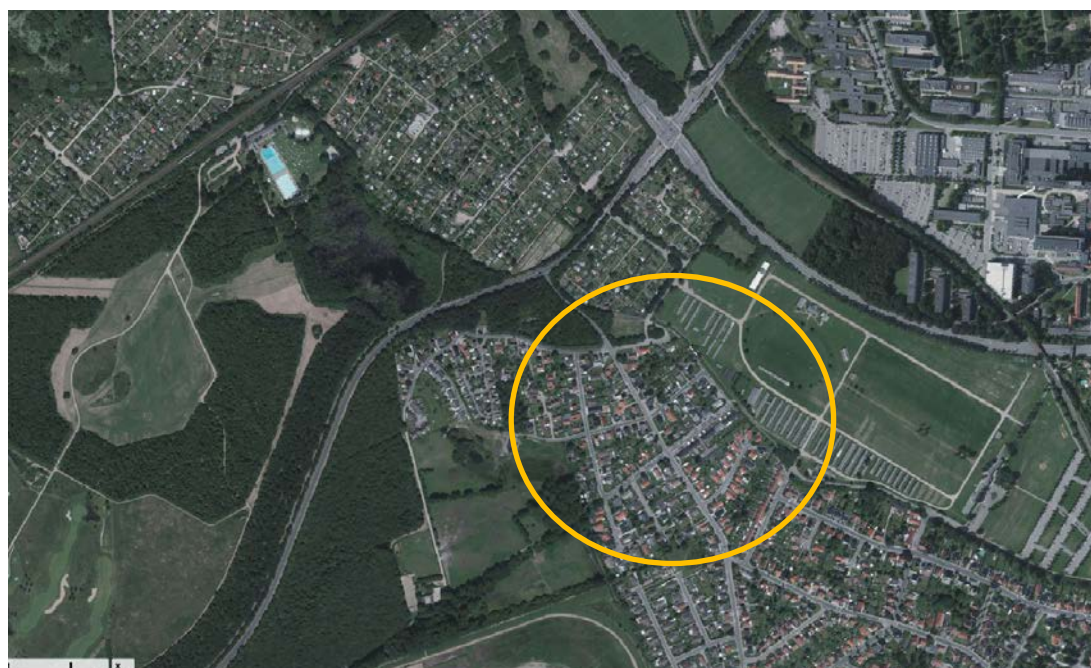
Området bliver mere bebygget, og det er stadig et fælles kloakeret område. Vandspejlet er ca. kote +2 m.



Figur 25. Samme område i 1954.

Sanderum Tørvehave nutid

I takt med en problematisk vandkvalitet er indvindingen gradvist ændret fra sit maksimum på ca. 7-8 mio. m³ årligt i 1970'erne til det nuværende niveau på ca. 1,5-2 mio. m³ årligt. Vandspejlet er nu ca. kote +8 til +10 m og terræn er i de laveste dele kun ca. +11 m.



Figur 26. Fuldt udbygget område 2012.

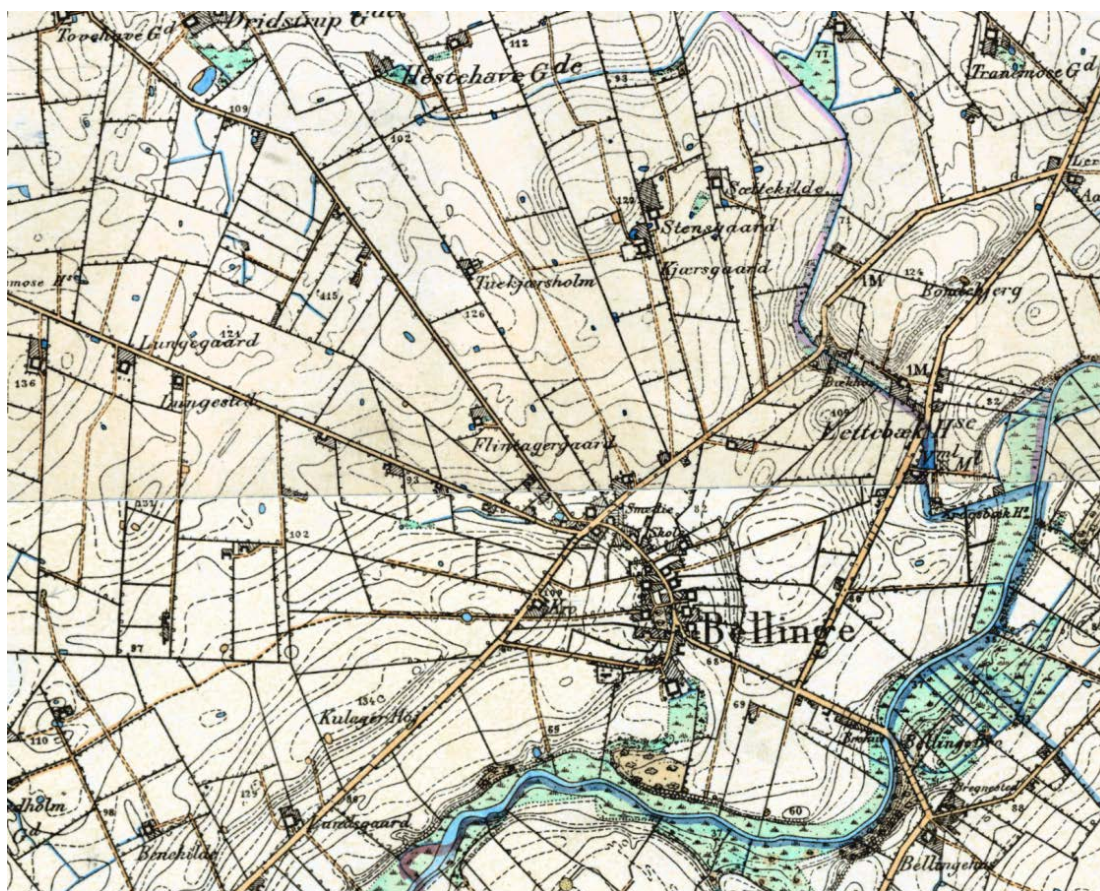
I takt med at VandCenter Syd har ændret indvindingsmønstret på Eksercermarken er vandspejlet nu steget, så det svarer til niveauet omkring 1940, hvilket naturligvis påvirker fugtigheden i området, og medfører en del gener med fugtige kældre mv.

11.3 Bellinge Fæled (Odense SV)

Det tredje område er et nyt boligområde placeret på en massiv leret moræne flade med et betydeligt terræn som skråner mod øst ned mod omfartsvejen. Man har fra byrådets side ønsket at dette område skulle være et udstillingsvindue for grønne løsninger bl.a. lokal håndtering af regnvand. Området er ikke umiddelbart tilgængeligt for bortledning af regnvand da bortledningskapaciteten i kloaknettet ikke er dimensioneret til de mange ekstra befæstede kvadratmeter.

Historik

En typisk landsby bestående af en række gårde med tilliggende jorder i stjerne-mønster. Bellinge forblev en lille landsby til efter 2. Verdenskrig, hvor man etablerede det første vandværk i begyndelsen af 1950'erne og byen begyndte langsomt at vokse. I løbet af 1960'erne ekspanderede byen med nye villakvarterer.



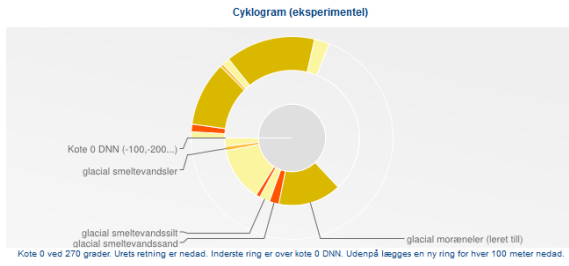
Figur 27. Bellinge By lige før 1900-tallet.

I 1970 blev området en del af Odense Kommune og bebyggelsen vokser stadig.

Årstal	Byareal
1899	0,1 km ²
1954	0,16 km ²
1970	1,1 km ²
2012	1,86 km ²

Bellinge er i dag en forstad til Odense, og man oplever en voldsom ekspansion med store nye boligområder med tæt og lav bebyggelse, villakvarterer og mange nye lokale fordelingsveje. En del af området er fælleskloakeret, primært arealerne frem til midt 1980. Derefter er der ved udstrækning kun blevet separatkloakeret når der kom nye byarealer i området.

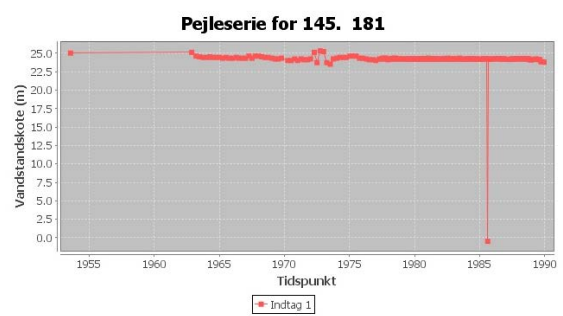
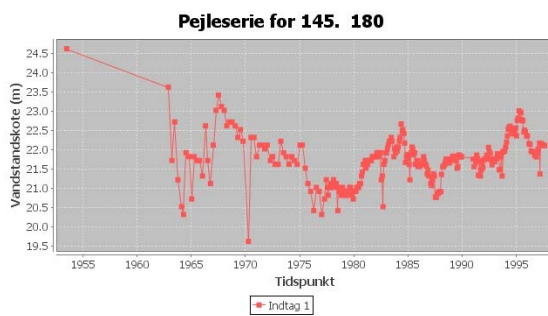
Terrænet stiger i vestlig retning fra Odense Å i kote +15 m til Bellinge Fællede som ligger i kote +35 m. Vandspejlet ligger i ca. +27 m ved DGU-nr. 145.2196 centralt i området.



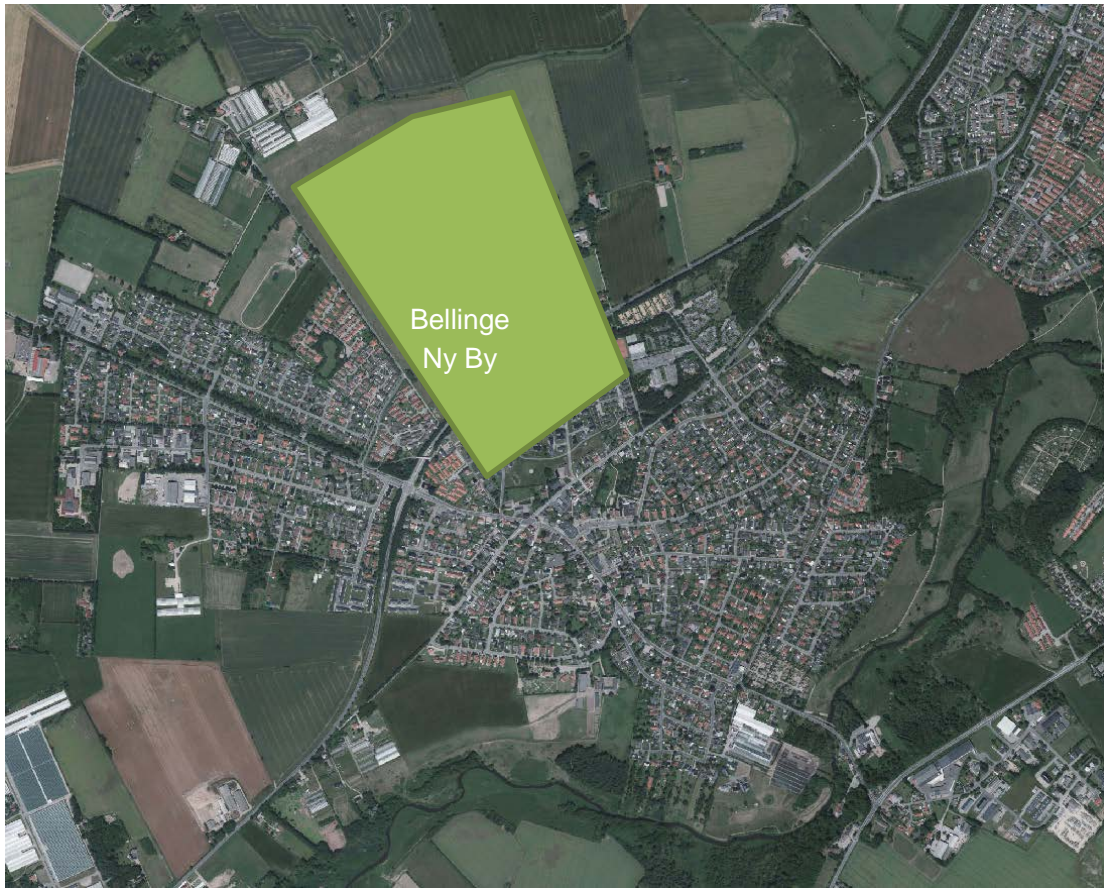
Figur 28. Boring DGU-nr.: 145.2196.



Figur 29. Bellinge 1945 før udbygningen.



Ved den nordøstlige rand ved Lettebækken ligger vandspejlet lidt lavere i kote + 25 m (DGU-nr.: 145.180 og 145.181).



Figur 30. Bellinge og den fremtidige Bellinge Ny By.

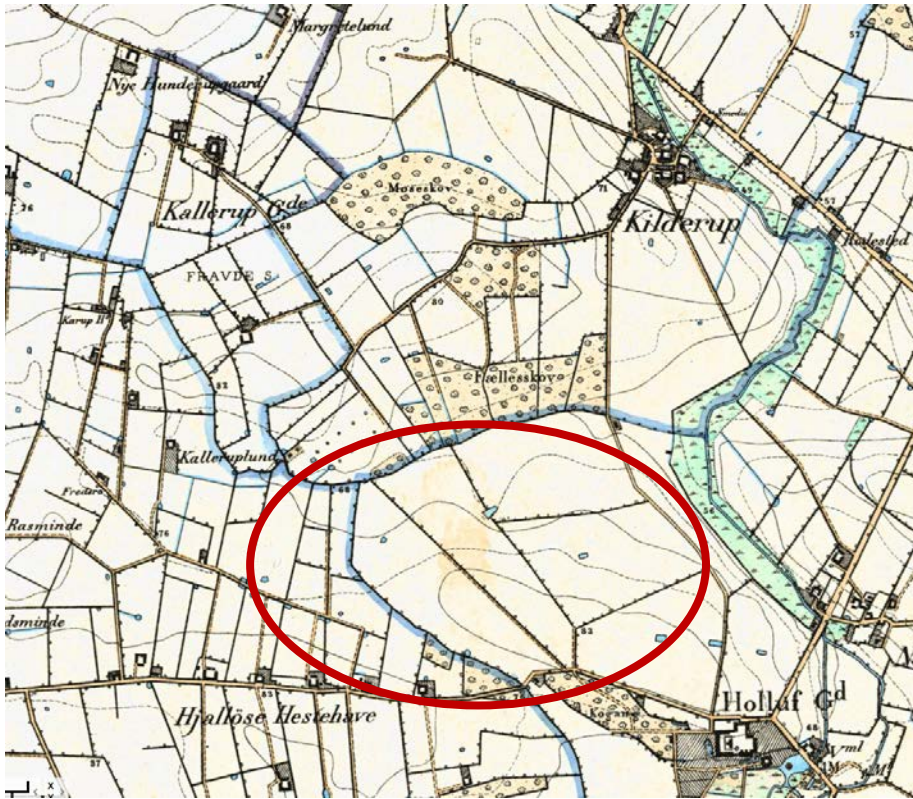
11.4 Nyt OUH (Odense SØ)

Det fjerde område er et stort ubebygget areal bag ved universitetet, hvor der er besluttet at bygge et supersygehus. Kloakforsyningsnettet i dette område er ikke dimensioneret til håndtering af de ekstra kvadratmeter. Derfor ønskes der grønne løsninger f.eks. nedsivning af overskydende regnvand. Geologisk består området af en relativt tyk og tæt moræneler på op til 50 meters tykkelse. De underliggende prækvartære lag er artesiske og det vil sige at grundvandstrykket er over terræn.

Historik

Som det fremgår af figur 14 var området tidligere et landbrugsområde tilhørende Holluf Gård. Området er stadig delvist ubebygget. Den første anlægsaktivitet foregik i midten af 60'erne hvor Odense Universitet (nu SDU) blevet etableret i området. I 1970 dækkede universitetets areal ca. 0,1 km², og i 2012 er arealet vokset til ca. 0,3 km². Planerne for det nye OUH, samt udvidelse af SDU og Forskerparken, samt befæstede arealer vil mere end 5-doble disse arealer.





Figur 31. Arealet ved det nye OUH tilbage i 1899.



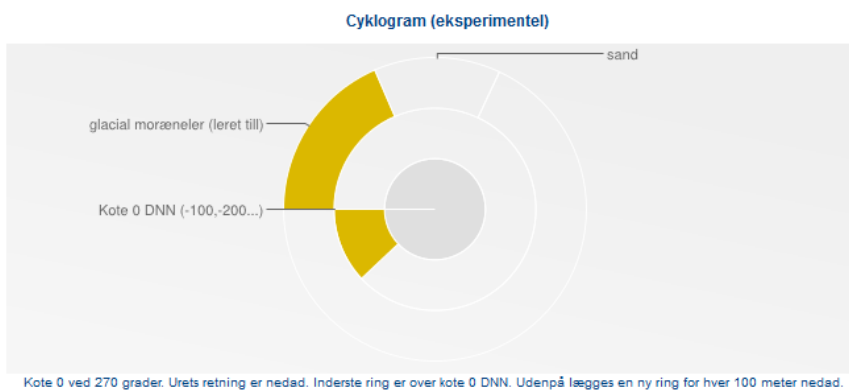
11.5 "TBT-gaden"

Område 5 er Thomas B. Thriges Gade. Det ligger midt i det gamle Odense og her blev der foretaget massive ændringer i de infrastrukturelle anlæg i slutningen af 1960'erne for at skabe bedre adgangsforhold for industriarbejderne til de store arbejdspladser nord for jernbanen og ved havnen. I dag er mange af disse arbejdspladser forsvundet og behovet for biltrafik til og fra havnen er meget mindre. Dette område bliver i det næste årti omdannet til et tæt bebygget område. Historisk gik der et vandløb (Rosenbækken) igennem byen og ned til Odense Å. Det historiske forløb er i dag helt rørlagt, men da man nu laver en dyb konstruktion i form af nedgravede p-huse på tværs af det tidligere vandløb er det en stor udfordring at lede overskydende vand væk fra disse infrastrukturelle konstruktioner. Det nærliggende musikhus har siden anlæggelsen været tvunget til at holde grundvandsstanden nede ved aktiv pumpning for at hindre de underjordiske konstruktioner i at stige op af jorden.

Historik

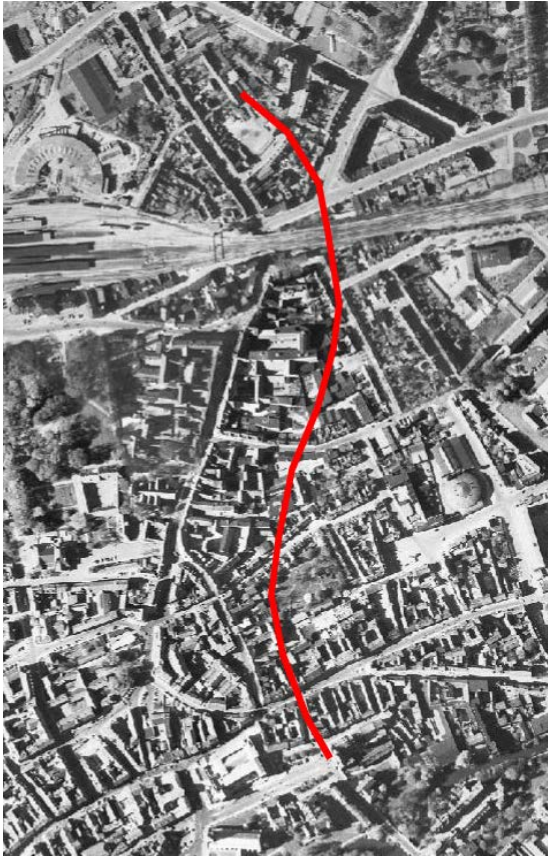
Thomas B. Thriges Gade blev etableret i 1960'erne og er på en kort strækning ført i en kort tunnel under Østre Stationsvej. Det nærliggende Koncerthus er etableret med dybe kældre, og har som det eneste byggeri i det centrale Odense en tilladelse til permanent grundvandssænkning (40.000 m³/år). Der er ligeledes en P-kælder under den centrale del af gaden, ved Overgade/Vestergade krydset.

Denne boring har tilhørt Slotsbryggeriet i Nørregade og lå, hvor TBT i dag ligger.



Figur 32. DGU-nr. 145.55B.

Vandspejlet er pejlet til + 2 m, men det kan ikke afgøres, om vandspejlet er påvirket af industriel indvinding fra de to bryggerier i nærheden.



Figur 33. Før TBT 1954.



Figur 34. Efter TBT 1981.

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

DELRAPPORT 1 3D-MODELLEN SOM BASIS FOR HÅNDBLING AF DET URBANE VANDKREDSLØB

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 byomdannelse, 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.