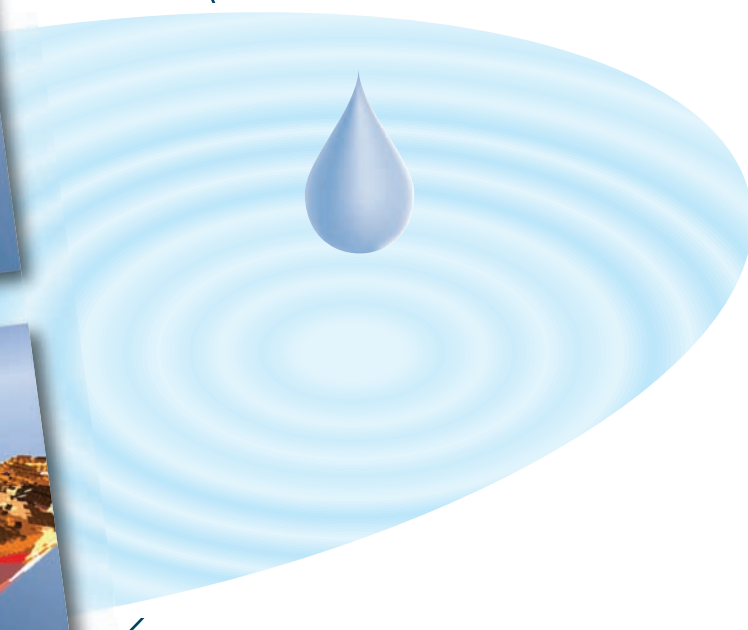
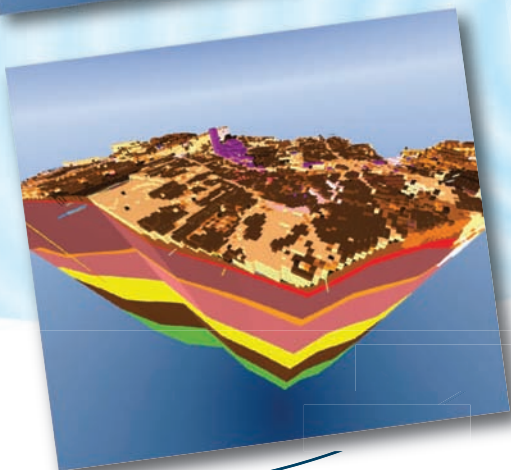


Udvikling af en 3D geologisk/ hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb

Delrapport 5

Interaktiv modellering af antropogene lag

Tom Martlev Pallesen og Niels-Peter Jensen



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

Delrapport 5 Interaktiv modellering af antropogene lag

Tom Martlev Pallesen
Niels-Peter Jensen



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

Delrapport 5

Interaktiv modellering af antropogene lag

Forfattere: Tom Martlev Pallesen og Niels-Peter Jensen

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	Baggrund og formål.....	11
1.1.1	Proof of Concept.....	11
1.2	Anvendt datagrundlag	12
1.3	Områdeafgrænsning for modellering af det antropogene lag ved Thomas B. Thriges Gade	12
2.	Overblik over data og metoder	14
2.1	Data	14
2.2	Metoder	16
2.2.1	Indledende overvejelser og betragtninger.....	16
2.2.2	Tolkningsstrategi for det antropogene lag.....	17
2.2.3	Oprettelse af tomt voxelgrid – valg af detaljegrad.....	18
2.2.4	Gennemgang og anvendelse af boredata.....	18
2.2.5	Anvendelse af vektor data.....	20
3.	Værktøjer	22
3.1	Udvikling af værktøjer.....	22
3.1.1	Ledningsnet	22
3.1.2	Profiltværsnit.....	23
3.1.3	Registrering af billedmateriale.....	23
3.1.4	3D objekters egenskaber overføres til voxler.....	24
3.1.5	Fremstilling af buffer omkring ledning	25
3.2	Vejledning i anvendelse af værktøjer.....	26
3.2.1	Oprettelse af 3D grid / voxelgrid.....	26
3.2.2	Indlæsning og anvendelse af vektortemaer	27
4.	Visualisering og modellering	35
4.1	Datahåndtering i byområdet.....	35
4.1.1	Vektordata	35
4.1.2	Boredata	36
4.2	Interpolation og voxelering	40
4.2.1	Bund af fyldlag (2D interpolation).....	40
4.2.2	Fyld i voxelgriddet (3D interpolation).....	41
4.2.3	Arbejdsproces og visualisering.....	43
5.	Resultater	51
6.	Anbefalinger og konklusioner	54
7.	Referencer	57

1. Indledning

I denne rapport præsenteres software- og metodeudvikling, samt arbejdsgang i forbindelse med 3D-modelleringen af det antropogene lag i VTU-projektet. I-GIS har udført softwareudviklingsdelen, der er indeholdt i projektet. Formålet med denne udvikling er at udvikle værktøjer, der kan modellere den overfladenære geologi og indbygge antropogene elementer så som veje, tunneller, rørføringer, husfundamenter m.m.

Tillige beskrives hvilke data der er inddraget i arbejdet med det antropogene lag, samt nogle af de tekniske udfordringer der har været i forbindelse med anvendelsen af disse data. Endelig gives en kort beskrivelse af de værktøjer, der specifikt er udviklet i GeoScene3D i forbindelse med nærværende projekt – og baggrunden herfor.

Rapporten udgør desuden en arbejdsgangsbeskrivelse og erfarings/læringsrapport til anvendelse for efterfølgende projekter.

1.1 Baggrund og formål

Et væsentligt delmål i forbindelse med projektet er foruden udviklingen af nye modellerings- og datahåndterings funktionaliteter i GeoScene3D, udarbejdelsen af en arbejdsgangsbeskrivelse til brug for lignende fremtidige projekter. Således er det væsentligt at få beskrevet en systematisk fremgangsmåde, herunder klargøring og håndtering af data, med henblik på en optimeret arbejdsproces.

Denne delrapport har fokus på at beskrive arbejdsgang og dataanvendelse ved tolkningen af det øverste modellag; det antropogene lag. Det antropogene lag defineres som den del af den geologiske lagfølge som har været udsat for menneskelig aktivitet, dvs. typisk ned til maksimalt 4-8 mut.

1.1.1 Proof of Concept

Under gennemførelse af modelleringsarbejdet har det af tidsmæssige årsager ikke været muligt at anvende alle data. Derudover er der under modelleringen brugt vurderede værdier, der ved et større tidsomfang kunne have været bestemt mere præcist. Modelleringen skal derfor mere anses for et Proof of Concept end et egentligt udtømmende modelleringsarbejde.

1.2 Anvendt datagrundlag

Der tages udgangspunkt i det eksisterende fælles-offentlige hydrogeologiske, digitale materiale, som foreligger hos GEUS, hvor specielt skal nævnes Jupiterdatabasen, GERDA-databasen, modeldatabasen og rapportdatabasen. GEUS har desuden bidraget med geologiske kortlægninger (fx Jordoverfladegeologisk kortlægning, geomorfologiske kort mv).

Der har været løbende kontakt til Odense kommunes GIS-afdeling, som har sikret projektets adgang til en hydrologisk terrænmodel, BBR-data, ledningsnet samt øvrige kadastrale data.

VandcenterSyd har bidraget med kloaknet, bygværker, modeller mv.

Odense kommune og GEUS har desuden haft et omfattende arbejde med at tilvejebringe supplerende data, som ikke ligger i databaserne ved GEUS. I forbindelse med projektet har der været afholdt en lang række møder omkring tilvejebringelsen af digitalt materiale. Følgende har været kontaktet: Banestyrelsen, Vejdirektoratet, Odense Bys museer, Region-Syd, Naturstyrelsen, rådgivende og geotekniske firmaer (COWI A/S, Rambøll A/S, GEO A/S, Grontmij A/S), AgriScience.

Datahåndteringen er afgrænset til eksisterende digitalt materiale, fordi det er vurderet, at egentligt dataarbejde med digitalisering af analoge data ikke vil være overkommeligt. Som følge heraf består en del af det foreliggende materiale således af scannede kort eller pdf-filer, og det er illustreret, hvordan materialet kan anvendes som sådan.

Undervejs i projektet har der vist sig at være forskellige udfordringer i forhold til at bringe de forskellige datatyper i spil i det omfang det oprindeligt var tiltænkt. I sidste ende har det af tidsmæssige årsager været nødvendigt at udelade nogle data. En oversigt over de anvendte data ses i Tabel 1, afsnit 2.

1.3 Områdeafgrænsning for modellering af det antropogene lag ved Thomas B. Thriges Gade

Det antropogene lag er tolket og modelleret inden for detailområdet Thomas B. Thriges gade (i det følgende TBT) med en tilhørende buffer på ca. 100 m. Vertikalt er modelleringen begrænset til bunden af det antropogene lag, typisk 3-8 m., og horisontalt strækker det sig hhv. 1200 m i ØV-lig retning og 1300 m NS. Detailområdet er vist i nedenstående Figur 1 og modelområdets hjørnekoordinater som er anvendt i GeoScene3D fremgår af Figur 2.



Figur 1. Modelområdet Thomas B. Thriges gade (markeret med rød firkant), inden for hvilket det antropogene lag er tolket. 1200 x 1300 meter

Scene Extent Coordinates			
X Min:	587200,00	X Max:	588400,00
Y Min:	6139500,00	Y Max:	6140800,00
		Round	
Scene Extent			
Scene Size			
Width:	1200	Area:	1560000
Height:	1300		

Figur 2. Hjørnekoordinater og dimensioner af Scene Extent (tal angivet i meter) for modelområdet i GeoScene3D.

2. Overblik over data og metoder

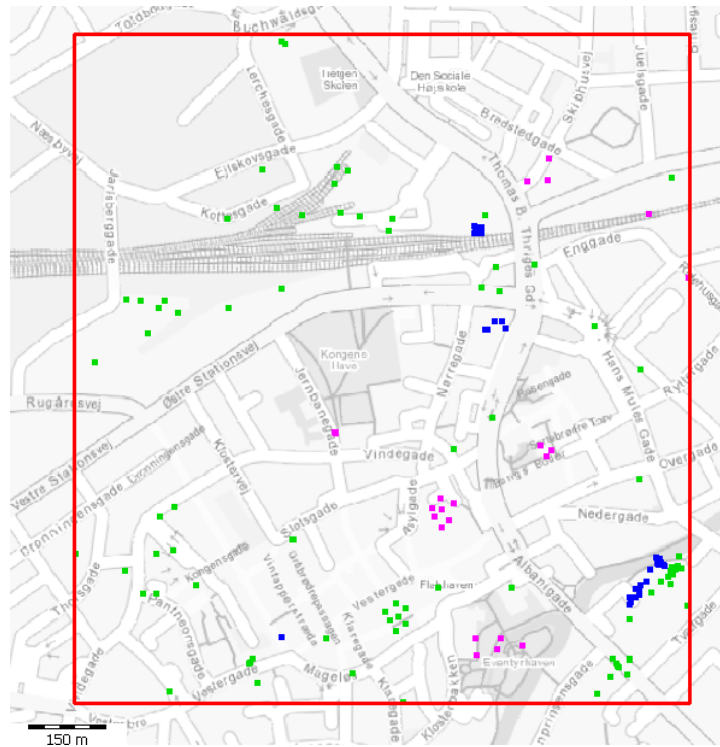
2.1 Data

I nedenstående Tabel 1 er vist en oversigt over data anvendt i forbindelse med tolkning og modellering af det antropogene lag i TBT området. Flere data har været i spil, men er af tidsmæssige årsager ikke blevet anvendt. Delrapport 2 – Indsamling og vurdering af data (Kristensen m.fl., 2015) beskriver hvilke data, der har været undersøgt og til dels bearbejdet i relation til det overordnede VTU-projekt. Det bemærkes, at der i nedenstående tabel 1 er anført boringer med andre kilder end PC-Jupiter, og hvor der ikke påhviler samme grad af kvalitet. Inden brug af data fra sådanne uautoriserede kilder får brugeren et (ofte omfattende) arbejde med at sikre at disse data er kvalitetsmæssigt i orden, og ikke i modstrid med øvrige datakilder. Det anbefales også, at brugeren sikrer indberetning af dataene (hvis de er gode nok), så dette arbejde ikke skal gentages, når modelleringen senere hen skal ajourføres.

Tabel 1. Oversigt over data anvendt til udarbejdelse og tolkning af det antropogene lag i TBT området. Antal boringer er det antal boringer som ligger inden for detailområdet defineret ved den røde firkant i Figur 1(Scene Extent).

Datatype	Data-subtype	Bemærkninger
Terræn	1,6 m grid	
Boringer	PC-Jupiter	208 boringer
Boringer	Region Midt GeoCloud	192 boringer. Næsten alle overlapper med PC-Jupiter
Boringer	Lokal database (Watertech)	Diverse korte boringer
Boringer	GeoGIS (Rambøll)	Diverse korte boringer
Fyldlag/type		Tolket på baggrund af tilgængelige borejournaler i PC-Jupiter eller detailbeskrivelser i de øvrige databaser.
<i>Bygninger</i>		
<i>Bygningsfundamenter</i>		<i>Samles i ét vektortema</i>
<i>Befæstede arealer</i>	<i>Veje m.m.</i>	<i>Samles i ét vektortema</i>
<i>Befæstede arealer</i>	<i>Parkeringspladser o. lign.</i>	<i>Samles i ét vektortema</i>
<i>Rørledninger</i>	<i>Vandforsyning</i>	<i>Samles i ét vektortema</i>
<i>Rørledninger</i>	<i>Spildevand</i>	<i>Samles i ét vektortema</i>
<i>Rørledninger</i>	<i>Fjernvarme</i>	<i>Samles i ét vektortema</i>
Samlet vektortema	Rørledninger og befæstede arealer.	Alle temaer fra "Samles i ét vektortema")

I Figur 3 er vist fordelingen af boredata, og Figur 4 viser fordelingen af de anvendte vektortemaer (rørføringer, befæstede arealer o. lign.).



Figur 3. Fordeling af boredata i TBT detailområdet. I alt er der anvendt 177 boringer i tolkningsprocessen inden for det viste område.



Figur 4. Rørføringer, befæstede arealer m.m. samlet i ét tema i TBT detailområdet (grå områder og streger – se mere i teksten).

2.2 Metoder

Nærværende afsnit giver en overordnet beskrivelse af de metoder, der er anvendt ved tolkningen af det antropogene lag. En mere detaljeret gennemgang, herunder også en summarisk gennemgang af testfasen, hvor arbejdsmetodik og værktøjer er udviklet, gives i afsnit 3.

2.2.1 Indledende overvejelser og betragtninger

Et af formålene med opstilling af urbane geologiske modeller er at kunne modellere lokale geologiske- og strømningsmæssige forhold. Til dette kræves som udgangspunkt et godt og tæt datagrundlag, som favner bredere end den traditionelle anvendelse af boredata og eventuel geofysik. Disse data kan, som i nærværende projekt, udgøres af en bred vifte af anlægsrelaterede informationer, herunder bygge- og vejanlæg, befæstede områder, ledningsnet o. lign. Hertil kommer de mere vanskeligt tilgængelige boredata i form af geotekniske boringer og boringer fra forureningsundersøgelser m.m. Eksistens, tilgængelighed og kvalitet af disse data er således af afgørende betydning i forhold til den detaljegrad der kan indarbejdes i den geologiske model. Af samme årsag er det vigtigt at gøre sig klart, at kommer man uden for byområderne finder man ikke længere samme datagrundlag. Desuden bør man gøre sig overvejelser omkring datausikkerheder – hvor sikre er vi reelt på de pågældende data?

Modelteknisk set er der mulighed for at arbejde med to grundlæggende forskellige modeltyper, der dog kan integreres i hinanden, og som hver især har styrker og svagheder.

Lagmodeller

Lagmodeller repræsenterer den klassiske geologiske tolkningsmetodik, hvor der som udgangspunkt arbejdes med mere eller mindre planparallelle lagflader. Lagmodeller er velegnede til tolkning af de mere overordnede geologiske rammer, herunder magasiner og dæk lag, og kan give et godt overblik over den geologiske lagfølge, ligesom de let kan anvendes til beregning af f.eks. lagmægtigheder. De opbygges af tolkningspunkter, hvorfra der ved interpolation genereres lagflader bestående af kvadratiske celler med en ensartet udbredelse i XY-planen (eksempelvis 100x100 m eller 10x10 m cellestørrelse). Hver celle har en tilknyttet Z-værdi (f.eks. kote).

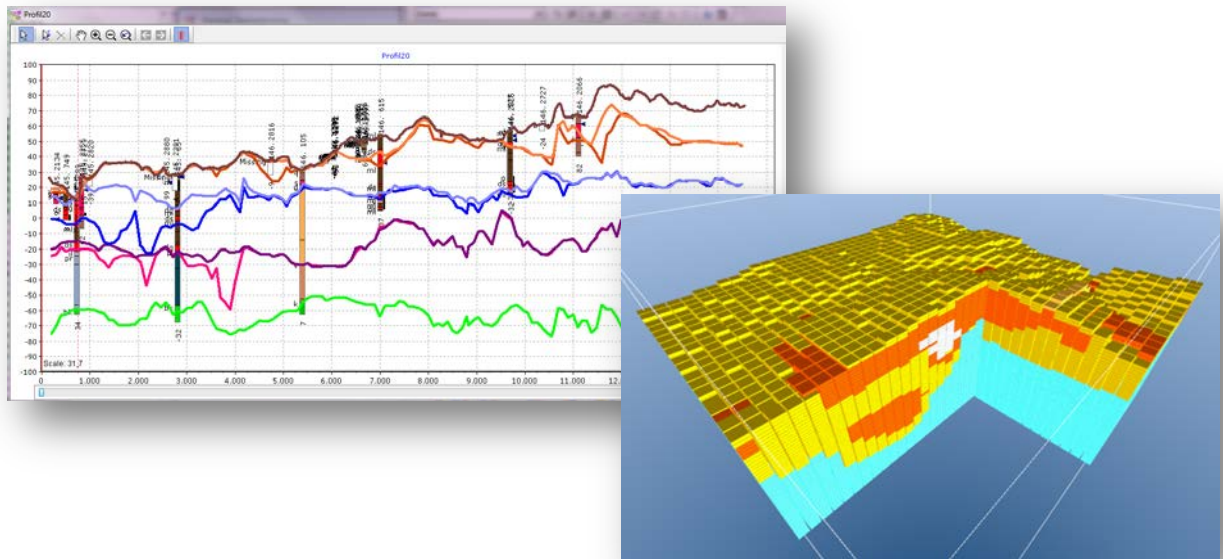
Ønskes meget detaljerede geologiske modeller kommer lagmodellerne til kort, da det rent praktisk er vanskeligt at håndtere mange lagflader i en lagmodel.

Voxelmodeller

Voxelmodeller opbygges af kasser (voxler). Kasserne indbygges i et regulært 3D grid og alle kasserne i et grid har samme cellestørrelse. Cellestørrelsen defineres i XYZ-planen, og kan eksempelvis være 100x100x10 m eller 5x5x0,5 m, som i nærværende antropogene model. Til hver enkelt kasse kan der tilskrives en eller flere værdier, eksempelvis fyldtype/lithologi, alder, porøsitet osv. Modellerne er stærke til håndtering af store geologiske variabiliteter, som ikke let lader sig opløse med en lagmodel. Det kan være vanskeligt at

opnå et godt geologisk overblik i en voxelmodel, da der ikke tolkes lagflader, men i stedet legemer med en bestemt karakteristika (f.eks. sand, ler, fyld).

Lag- og voxelmodeller kan med fordel kombineres som det er gjort i nærværende projekt. Her definerer lagmodellen de overordnede geologiske rammer, fortrinsvis i form af magasiner og dæk lag, mens voxelmodellen er anvendt i det antropogene lag, som er karakteriseret ved et meget stort antal mere eller mindre sammenhængende forekomster af sand, ler, fyld, grus m.m. Figur 5 viser et eksempel på en lagmodel kontra en voxelmodel.



Figur 5. Eksempel på lagmodel (til venstre) og voxelmodel (til højre).

2.2.2 Tolkningsstrategi for det antropogene lag

Nedenstående er en kort beskrivelse af den valgte tolkningsstrategi og arbejdsgang for det antropogene lag. Arbejdsprocessen beskrives mere indgående i afsnit 4. Som udgangspunkt tolkes det antropogene lag litologisk, forstået således at der arbejdes med ler/sand-andele, hvor 100 % ler hydraulisk set er uigennemtrængeligt (ingen hydraulisk ledningsevne) og 100 % sand repræsenterer en litologi svarende til grus og sten, dvs. en meget stor hydraulisk ledningsevne. Det er væsentligt at gøre sig klart, at vurderingerne i meget høj grad er subjektive, med de usikkerheder der følger.

1. Modelområde defineres horisontalt og vertikalt. Modelområdet er defineret ved hjørnekoordinaterne vist i Figur 2. Vertikalt defineres området så det, som minimum, strækker sig fra højeste terrænpunkt i området til bunden af det antropogene lag. Modelområdets udstrækning definerer størrelsen på det tomme voxelgrid, der oprettes til brug for det videre arbejde.

2. Bunden af fyldlag tolkes på baggrund af boringer og udarbejdes som en gennemgående lagflade: Der defineres tolkningspunkter som interpoleres til en flade.
3. Fyldmateriale beskrevet i boringer, herunder "lithologi" og anslået udbredelse, fyldes ind i voxelgriddet. "Anslået udbredelse" indgår som en del af 3D-interpolationen af fyldet og beskrives nærmere i afsnit 4.
4. Fyldmateriale i områder hvor der ikke findes boredata, men hvor det antages, at der findes fyld (defineret ved fladen "Bund fyld") udfyldes i voxelgriddet med en anslået gennemsnitlig fyldlags litologi (afsnit 4).
5. Vektortemaer indlæses og anvendes med valgte attributter (f.eks. rørdiameter) og anslået fyldtype. Eksempelvis antages det, at der omkring en given rørledning er en ledningstrace på f.eks. 0,5 m på hver side og 0,2 m under og at den strækker sig til terræn, og at der heri er fyldmateriale i form af sand. I denne trace fyldes således sand under hensyntagen til, hvor stor en del af de enkelte voxler (se afsnit 2.2.3) der er gennemskåret af traceen. Der beregnes en forholdsmæssig værdi, som resulterer i en vægtet gennemsnitsværdi (lithologi i form af ler/sand-andel) pr. voxel, under hensyntagen til eventuelt udgangsmateriale (fyld defineret og indsat under punkt 3 og 4).
6. Punkt 5 gentages for vektortemaer hvor der skal defineres områder som er uigennemtrængelige for vand. Disse defineres som 100 % ler. Bygninger med kældre er et eksempel på et sådant tema, hvor kælderen er under terræn og fungerer som en hydraulisk barriere.

Ovenstående beskrives yderligere senere i rapporten.

2.2.3 Oprettelse af tomt voxelgrid – valg af detaljegrad

På baggrund af en lang række tests i forhold til detaljegrad kontra PC/program-performance, er der oprettet et voxelgrid for TBT detailområdet med cellestørrelsen 5x5x0,5 m. Griddet er defineret fra kote +20 til -10, hvilket dækker koteintervallet for den antropogene zone. Totalt rummer griddet individuel information om 3.836.961 voxler. Gridopløsningen vurderes tilstrækkelig i forhold til ønsket om høj detaljegrad sammenholdt med operationalitet (PC performance) og datausikkerheder.

2.2.4 Gennemgang og anvendelse af boredata

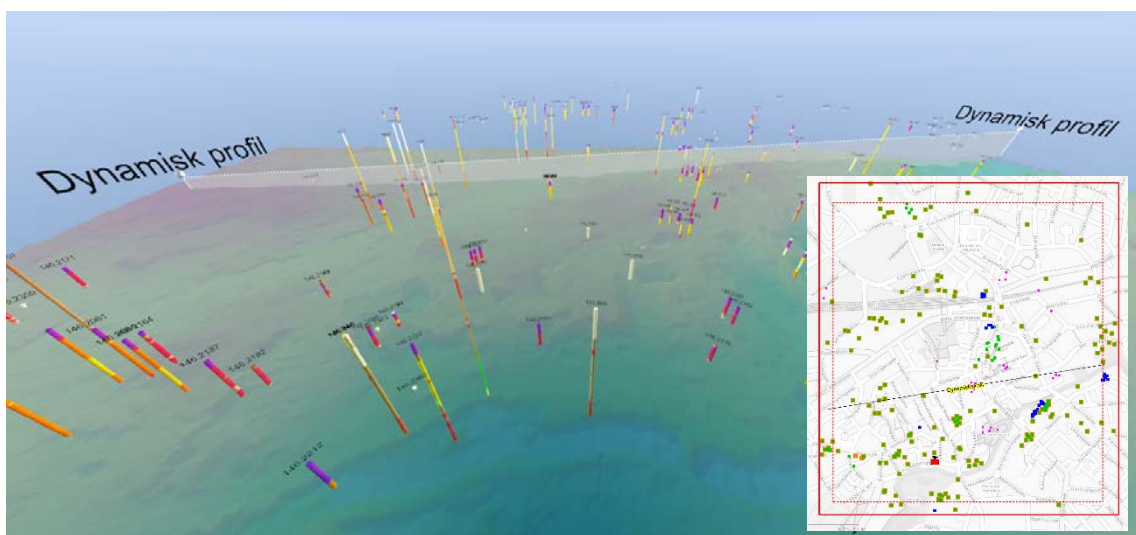
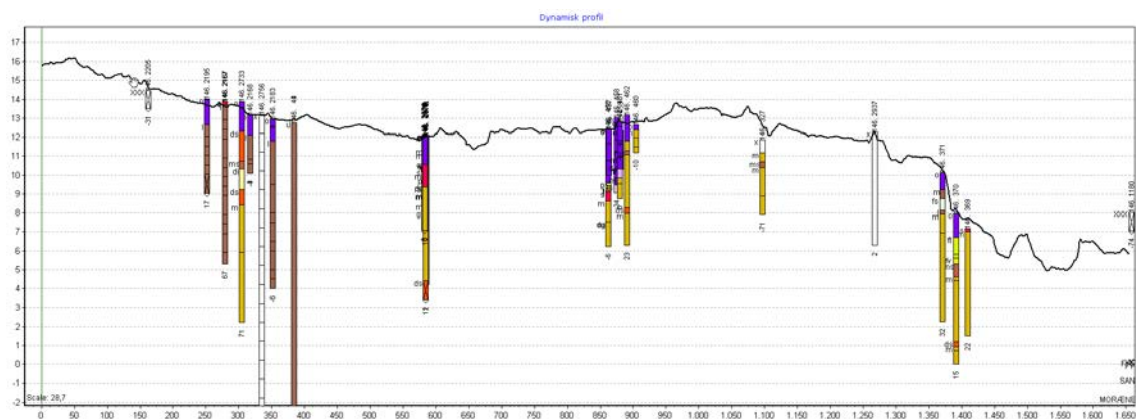
Boringerne i detailområdet (Tabel 1) er indledningsvist indlæst i GeoScene3D. I GeoScene3D er der oprettet et flytbart dynamisk profil, som er anvendt til at screene området med henblik på en individuel gennemgang af hver enkelt boring. Afhængigt af databaseformatet for boringerne (indlæst database eller direkte kobling til PC-Jupiterdatabasen) kan borepro-

filer og dermed prøvebeskrivelser åbnes direkte fra GeoScene3D (gælder for boringer hentet direkte fra PC-Jupiter databasen) eller åbnes fra de respektive databaser. På baggrund af prøvebeskrivelserne er der tolket hhv.

- Bund af fyldlaget
- Fyldtype for hver halve meter (koteintervaller) til bund af fyldlaget

Processen er beskrevet i detaljer i afsnit 4.1.2.

I Figur 6 er vist et eksempel på det flytbare dynamiske profil som har dannet udgangspunkt for boringsgennemgangen og tolkningerne.



Figur 6. Eksempel på dynamisk profil fra GeoScene3D (øverst), profilets beliggenhed vist i GeoScene3D's 3D miljø (midten) samt oversigtskort (nederst til højre) med visning af profilets beliggenhed (sort linje). Legende og detaljer er uvæsentlige i denne sammenhæng.

2.2.5 Anvendelse af vektor data

Temakort anvendes i vektorformat og indlæses i GeoScene3D. Der er anvendt korttemaer som huse, veje, rørledninger, diverse befæstede arealer m.m. En bruttoliste fremgår af Tabel 1.

Attributter

Hvert temakort kan være tilknyttet en eller flere attributter. Attributter kan f.eks. være årstal, fyldtype i ledningstrace, rørdiameter og/eller materialetype, fyldtype i ledningsgrave m.m. Disse attributter kan anvendes til tematisering af de enkelte korttemaer. Eksempelvis er rørdiameteren anvendt for de enkelte rørledningstemaer. Fyldtype i en ledningsgrav kan anvendes som input i det antropogene lag.

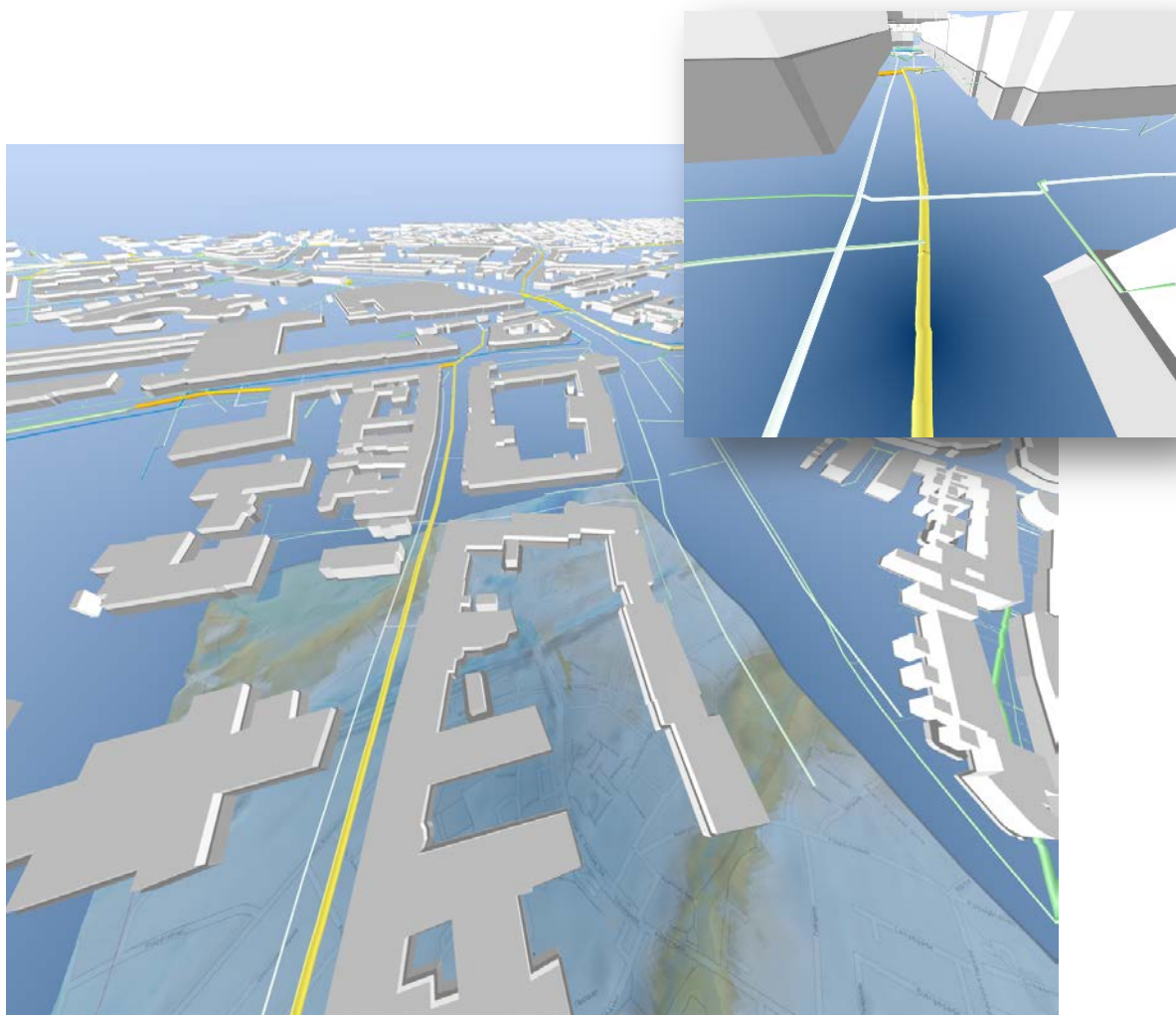
Bygninger med kældre er tillagt en buffer på 0,5 m med henblik på anvendelse i det antropogene lag (kælderen antages uigennemtrængelig for vand, mens fundamentet omkring antages for vandledende sand). Som eksemplificeret kan attributter anvendes til mange forskellige formål i modellen. Figur 7 viser et eksempel på attributter fra det anvendte tema med vandledninger.

DATOETABLE	IG_FABRIKA	IG_MATERIA	IG_NOMINEL
01-01-1986	Wavin ø40 PEM PN10	18	40
01-01-1996	Wavin ø40 PE-80 PN10	14	40
01-01-1997	Wavin ø40 PE-80 PN10	14	40
01-01-1996	Wavin ø110 PE-80 PN6,3	14	110
01-01-1996	Wavin ø75 PE-80 PN6,3	14	75
01-01-1985	Wavin ø40 PEM PN10	18	40
01-01-1996	Wavin ø40 PE-80 PN10	14	40
13-03-1984	Ukendt ø40 PEL PN10	16	40
01-01-1996	Wavin ø40 PE-80 PN10	14	40
01-01-1994	Wavin ø40 PEM PN10	18	40
01-01-1998	Wavin ø32 PE-80 PN10	14	32
01-01-1996	Wavin ø200 PEM PN6,3	18	200
01-01-2008	EGE ø32 PE_SLA PN10	60	32
01-01-2001	Wavin ø40 PE-80 PN10	14	40
01-01-1993	Wavin ø40 PEM PN10	18	40
01-01-1998	Wavin ø40 PE-80 PN10	14	40

Figur 7. Eksempel på attributter fra udsnit af datasæt med vandledninger. I figuren ses i første kolonne dato for etablering af en given vandledningssektion, dernæst rørtype (fabrikat), efterfulgt af materiale-ID og rørdiameter. Disse informationer kan hver især bruges til visualisering og tematisering, f.eks. ved farvekodning.

Figur 8 er vist et eksempel fra GeoScene3D's 3D miljø, hvor rørledninger er dimensioneret efter attributten "diameter", og hvor bygninger er vist med og uden attributten "kælderbuffer".

De enkelte vektor-temaer kan efterfølgende samles eller anvendes enkeltvis i GeoScene3D's voxelmodelleringsmodul. Her er der som tidligere beskrevet mulighed for at definere en buffer til siderne, over og under de enkelte vektor-temaer, samt angive en fyldtype, porøsitet eller andet, og tilskrive disse værdier til voxelgriddet.



Figur 8. Eksempel på visning af temakort (vektor-temaer) med attributter. Bygninger (lyse- og mellemgrå kasser) er vist med- (mellemgrå) og uden (lysegrå) anvendelse af attributten kælderfundament, der definerer en buffer på 0,5 m omkring bygningens kælder og hvor det antages at der er findes fyldsand. Rørledninger er tilsvarende vist med anvendelsen af attributten "diаметer", hvorved de enkelte rørtemaer kan vises med deres forholdsmæssige tykkelser og individuelle farver. Et detailudsnit er vist i øverste højre hjørne.

3. Værktøjer

Dette afsnit beskriver de værktøjer, der er udviklet i forbindelse med projektet.

3.1 Udvikling af værktøjer

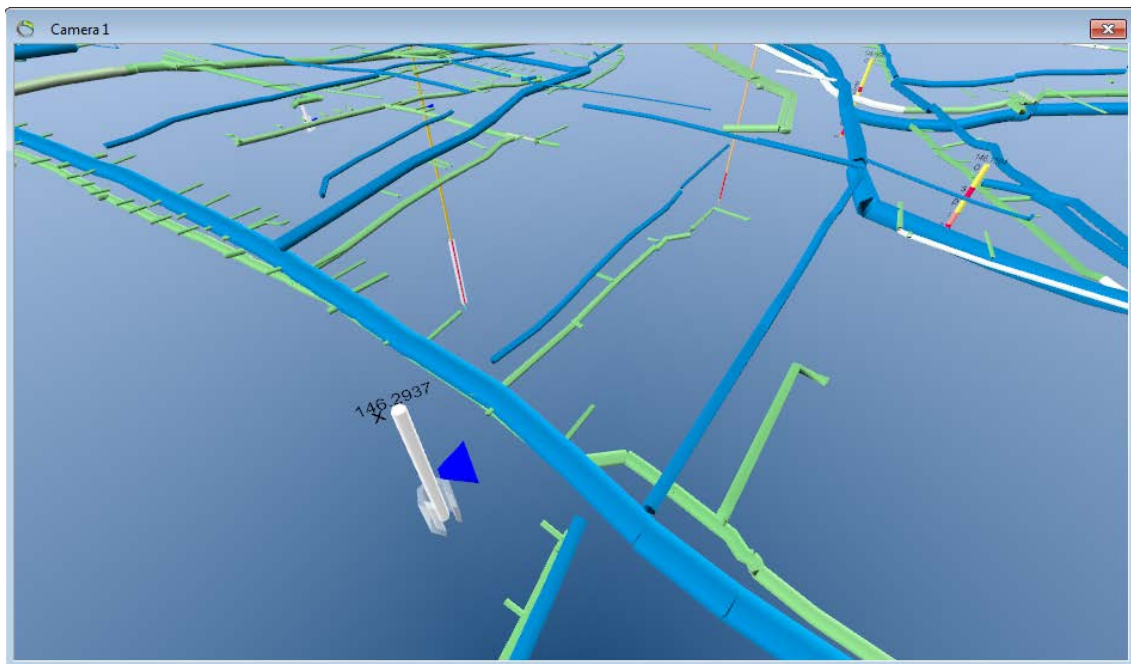
Det var målet at udvikle følgende funktionaliteter i GeoScene3D:

1. Import af ledningsnet baseret på generel datamodel og rendering baseret på attributter.
2. Håndtering af alle 3D objekter i profiltværsnit.
3. Registrering af billedmateriale til et punkt, med udstrækning i z.
4. Voxelering af 3D objekter i voxeldatasæt.
5. Værktøj til fremstilling af buffer omkring 3D elementer.

De enkelte punkter beskrives i det følgende.

3.1.1 Ledningsnet

Der er udviklet en funktionalitet, så det er muligt at indlæse ikke bare ledningsnet, men også andre objekttyper, som bygningspolygoner og vejpolygoner i GeoScene3D. Dette gøres ud fra standard GIS datasæt – ESRI Shape filer – som er et alment udbredt GIS format, og som næsten alle gængse GIS-systemer kan fremstille. I Figur 9 ses et eksempel på visning af ledningsnet.

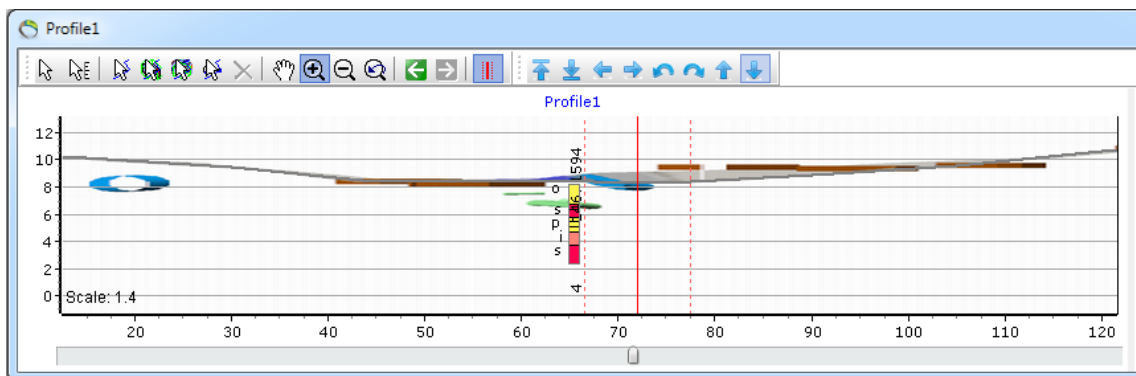


Figur 9. Eksempel på visning af ledningsnet.

Shape filer indeholder normalt kun 2D data, hvorfor der i GeoScene3D er udviklet værktøjer til at fremstille egentlige 3D objekter herudfra. F.eks. kan der ud fra en streg (polylinje) dannes et rør, hvis diameter er tegnet ud fra en attribut. Dette rør kan sættes i en dybde under terræn og samtidigt tilskrives en farve ud fra en materialeattribut.

3.1.2 Profiltværsnit

3D objekter som rør, vejkanter, fundamenter og andre elementer kan vises i profilvinduet, sammen med alle andre elementer – se Figur 10. Dette gør det muligt lettere at orientere sig i profil-miljøet og dermed kunne foretage editeringer af modeller, hvori disse elementer indgår.

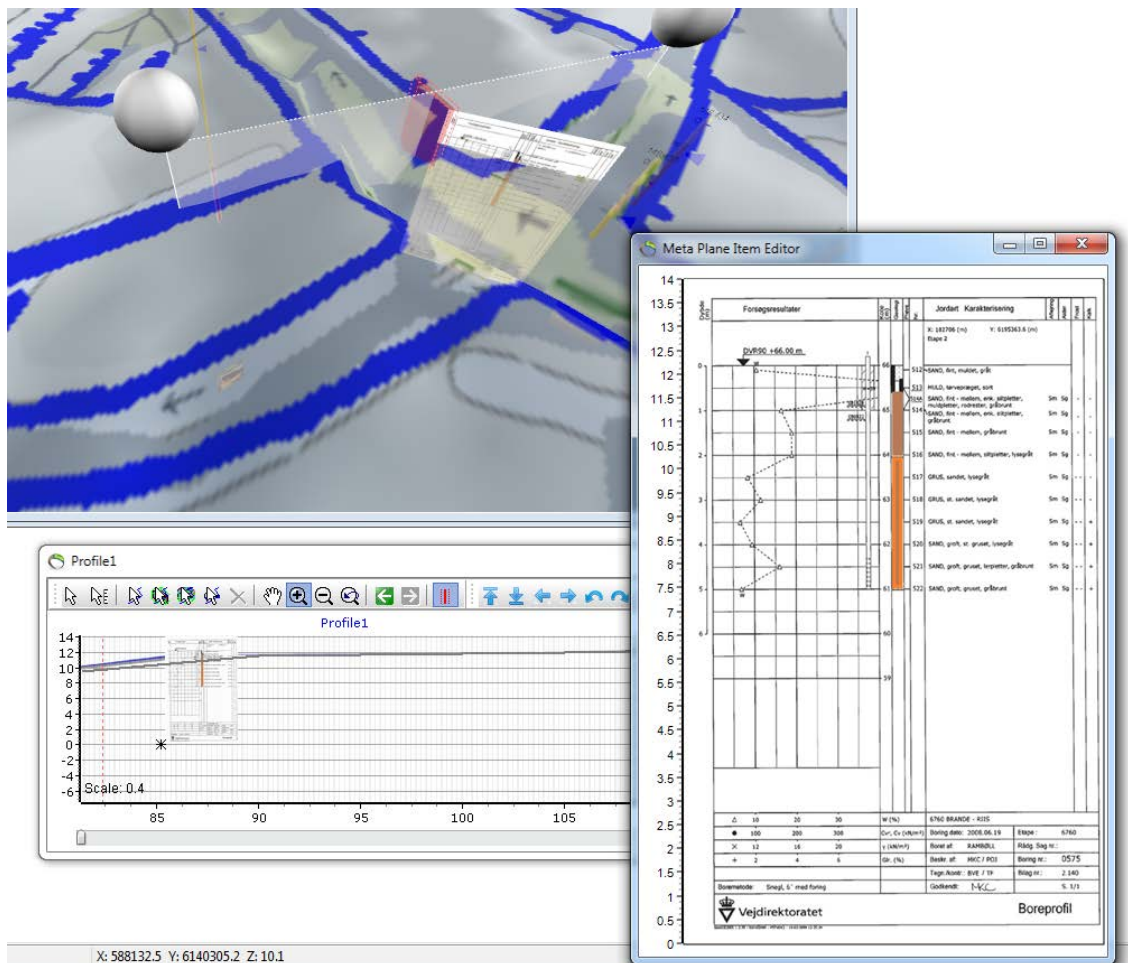


Figur 10. Visning af 3D objekter på profilsnit.

3.1.3 Registrering af billedmateriale

Billedmateriale kan knyttes til et punkt. Når billedet samtidigt registreres via en top og bund kan billedet benyttes i tolkning og redigering af en model – se Figur 11.

Der oprettes en tabel med placering af billederne (pt. er jpg, tiff, png og bmp implementeret), X og Y koordinater, samt top og bund (kote) for billedet. Efter denne registrering bliver billedmaterialet indsat georefereret i modellen, og der kan f.eks. afsættes tolkningspunkter direkte med billedfilen som baggrundsinformation.



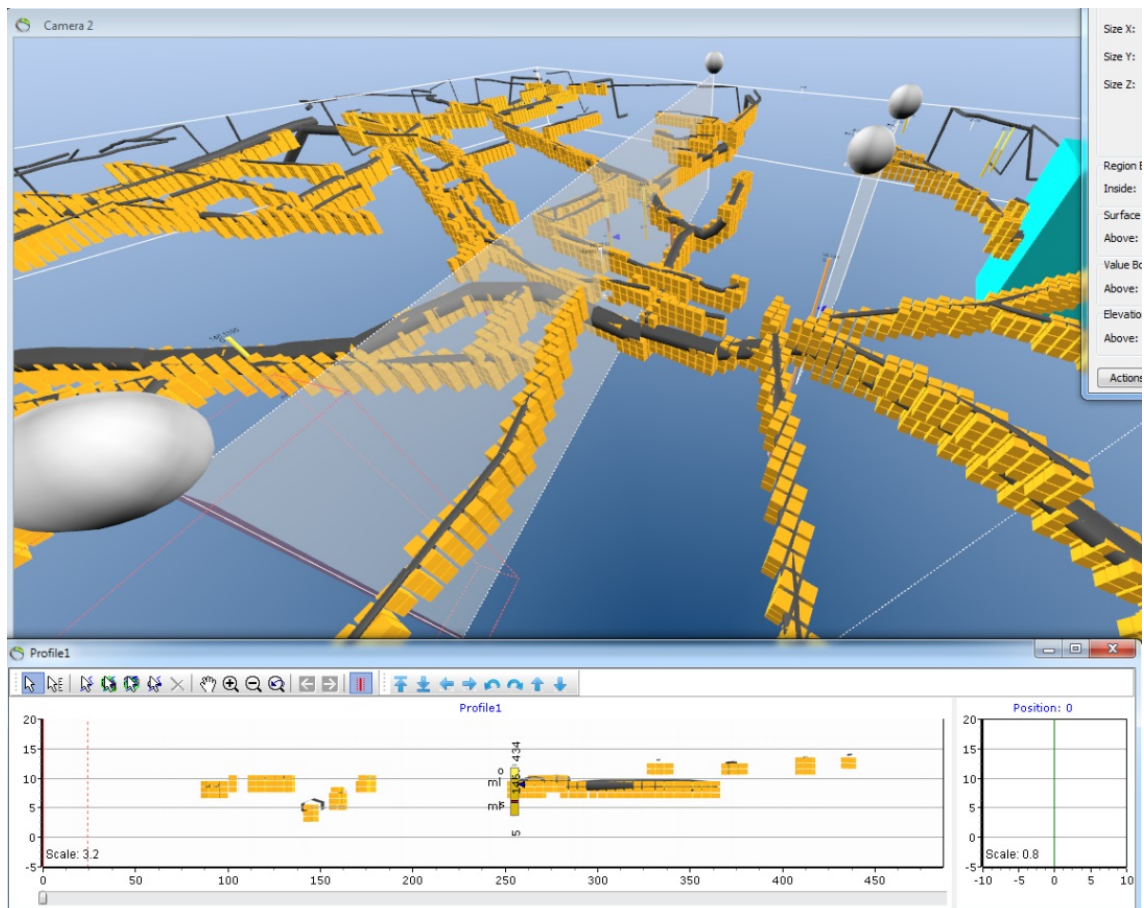
Figur 11. Registrering af billedmateriale på baggrund af bmp-fil med angivelse af koordinater samt top og bund kote.

3.1.4 3D objekters egenskaber overføres til voxler

Der er blevet fremstillet en funktionalitet til at overføre egenskaber fra 3D objekter til voxler. Dermed bliver det muligt, på en effektiv måde, at tilskrive rumlige egenskaber til voxler ved at overføre egenskaberne fra et 3D objekt, f.eks. en vejkasse. Det kan ske på forskellig vis, så det f.eks. er muligt at tilskrive en specifik litologisk værdi til en voxel.

Det er også muligt at tilskrive en værdi til en voxel relativt i forhold til den del af voxelen, der er gennemskåret af 3D objektet. F.eks. kan alle voxler, der berører en grav omkring en ledning, tilskrives et givent sand-indhold. Det går godt så længe voxelen er mindre end eller har samme størrelse som 3D objektet. Men hvis voxelen er væsentligt større end 3D objektet, vil rumfanget af voxelerne, der får tilskrevet en værdi, blive for stort. Derfor er der også en mulighed for at tage højde for det volumen, som 3D elementet gennemskærer af voxelen. Den resulterende værdi vil i det nævnte eksempel således være en sandprocent.

I Figur 12 ses et eksempel på en voxelering på baggrund af et ledningsnet.



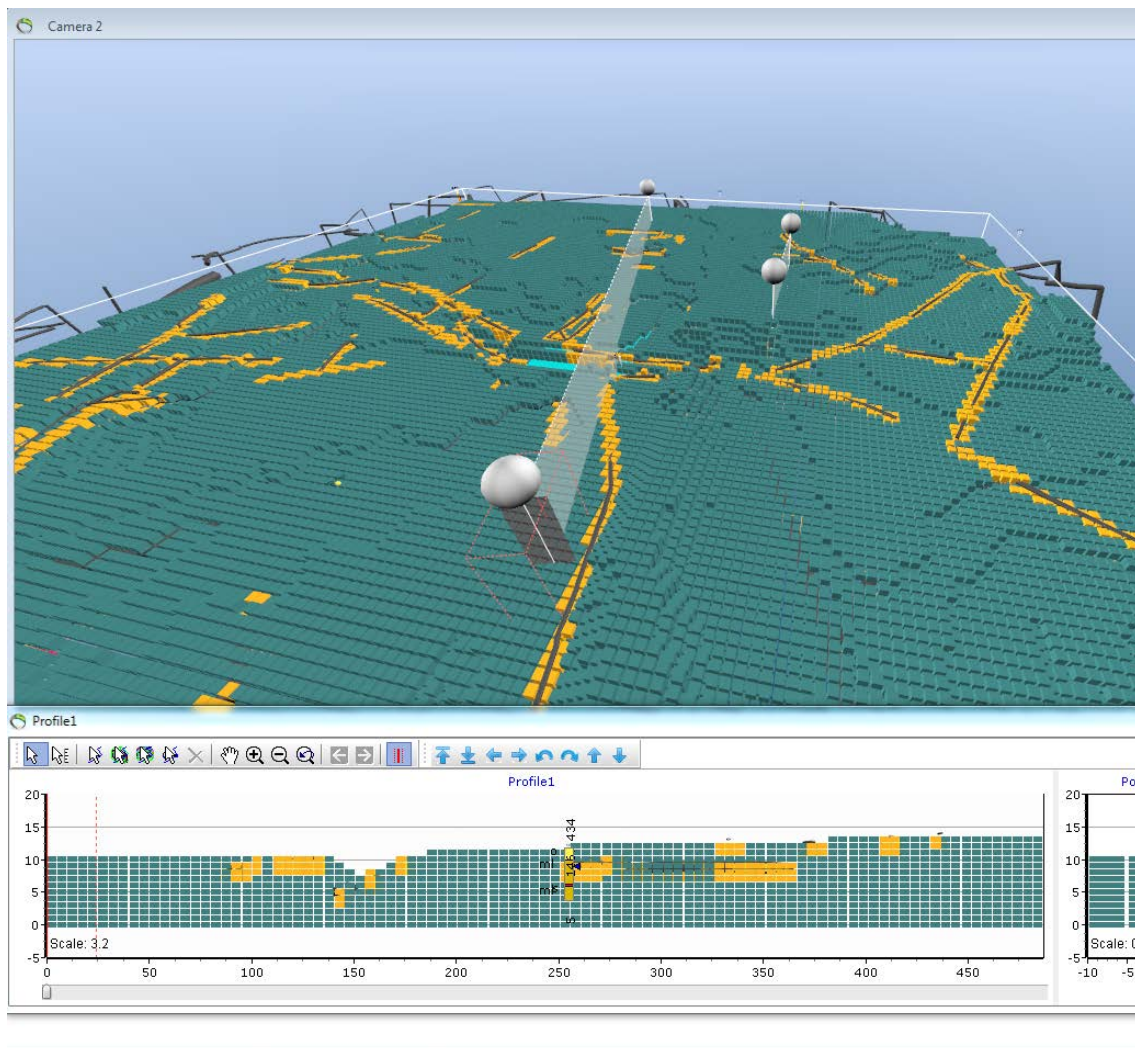
Figur 12. Eksempel på voxelering på baggrund af antaget lithologi/fyldtype omkring en rørledning

I Figur 13 ses samme model, hvor modellen nu er udfyldt med blågrønne voxler uden om de gule voxler fra ledningsnettet (Figur 12).

3.1.5 Fremstilling af buffer omkring ledning

Det er muligt at fremstille en buffer omkring et stregtema, f.eks. en ledning. Omkring denne ledning, kan der i GeoScene3D fremstilles en kasse eller et rør, som kan tilskrives en værdi. Det er muligt at benytte en attribut, f.eks. en bredde eller dybde og dermed oprette objektet så tro mod virkeligheden som muligt. Foruden ledninger kan der på lignende vis håndteres andre vektordatasæt, veje, huse, fundamentet osv.

Disse datasæt kan foruden en række andre datasæt, attributiseres på forskellig vis, så det f.eks. er muligt at håndtere en tidlig udvikling i data (tidspunkt for byggeriet, eller alderen af ledningsstykket).



Figur 13. Eksempel hvor der efter udfyldning af voxler berørt af ledningsnettet i Figur 12 (gul) er udfyldt voxler i den øvrige del af griddet (grøn).

3.2 Vejledning i anvendelse af værktøjer

Dette afsnit giver en overordnet beskrivelse af de værktøjer, der anvendes i forbindelse med udarbejdelse af voxelgriddet for det antropogene lag i TBT området. Der er ikke tale om en brugermanual, men der gives en beskrivelse af arbejdsprocessen og af hvordan værktøjerne anvendes, samt hvad de anvendes til. Det beskrives, hvordan værktøjerne er anvendt i nærværende projekt, og hvilke andre relevante anvendelsesmuligheder der er.

3.2.1 Oprettelse af 3D grid / voxelgrid

Indledningsvist oprettes et tomt 3D grid i GeoScene3D. I nærværende projekt kommer 3D griddet til at indeholde de voxler som modellen opbygges af. Et 3D grid kan indeholde mange andre slags data, eksempelvis geofysiske resistivetsmålinger eller forureningskon-

centrationer. Griddet dimensioneres efter den detaljegrad og områdestørrelse der ønskes arbejdet med. I GeoScene3D betaversion 10.0.8.438, som er anvendt i forbindelse med nærværende projekt, er der en øvre grænse for antallet af voxler i et 3D grid på ca. 8.000.000 voxler. Således er der en fysisk grænse for, hvor stort et 3D grid kan være i forhold til dets detaljegrad.

Nedenstående Figur 14 viser eksempler på, hvor mange gridceller et grid med en given dimension og opløselighed vil have.

Beregning af voxelceller ved grid-dimensionering

X (meter)	Y (meter)	Z (koteinterval)	Z (vertikal cellestr.)	XY (horisontal cellestr.)	Celler (total)
100	100	30	0,5	5,0	24.000
250	250	30	0,5	5,0	150.000
1.200	1.300	30	0,5	5,0	3.744.000
250	250	30	0,5	2,5	600.000

Figur 14. Antal gridceller i et grid med en given udstrækning og cellestørrelse. "Z (kote interval)" angiver kote intervallet for griddet. I de viste eksempler resulterer kote intervallet og den valgte vertikale gridcellestørrelse i et grid med 60 celler i vertikalt plan (vertikal cellestørrelse = 0,5 m eller 2 celler pr meter, svarende til 60 celler pr 30 m). TBT-området dimensionering er fremhævet med blå. For kommunemodellen arbejdes med 100x100 m gridceller.

Griddet oprettes via GeoScene3Ds "Setup Model Data Wizard" som et floating point grid, hvormed det bliver muligt at beregne vægtede værdier for de enkelte celler – se senere angående "Blend Mode".

I Figur 15 ses en række screenshots, der viser den overordnede arbejdsgang jfr. ovenstående.

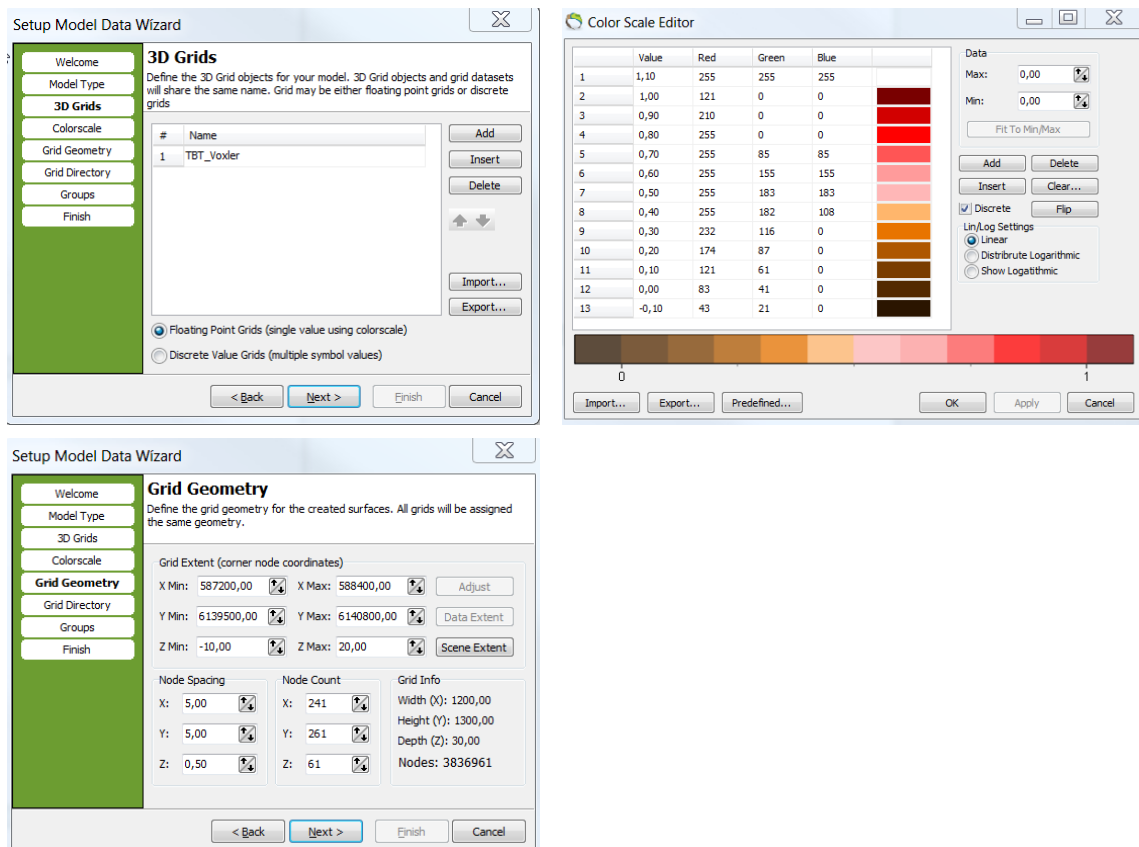
3.2.2 Indlæsning og anvendelse af vektortemaer

Indlæsning og anvendelse af vektor temaer sker i to trin: Først foretages en indlæsning via GeoScene3D's Object Manager, hvor de enkelte datasæts setup foretages. Dernæst anvendes datasættene i GeoScene3D's voxel-editerings modul til udvælgelse og udfyldelse af voxler i 3D griddet.

3.2.2.1 Attributter og visning i 3D

Tilskrivning og anvendelse af attributter er delvist beskrevet i Afsnit 2.2.5. Figur 16 -

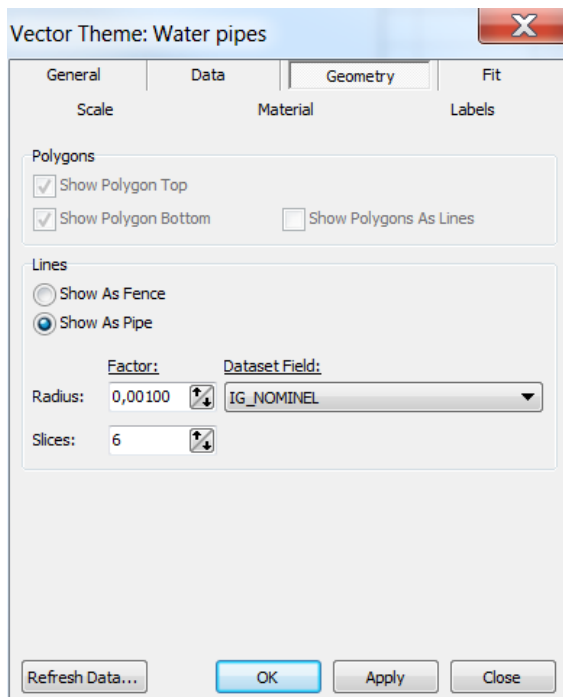
Figur 19 viser hvilke settings der er anvendt for det viste dataeksempel (vektor-tema "Water pipes" (datafil *ledning_van.shp*)). Relevante dele af figureerne er kort forklaret i den følgende tekst.



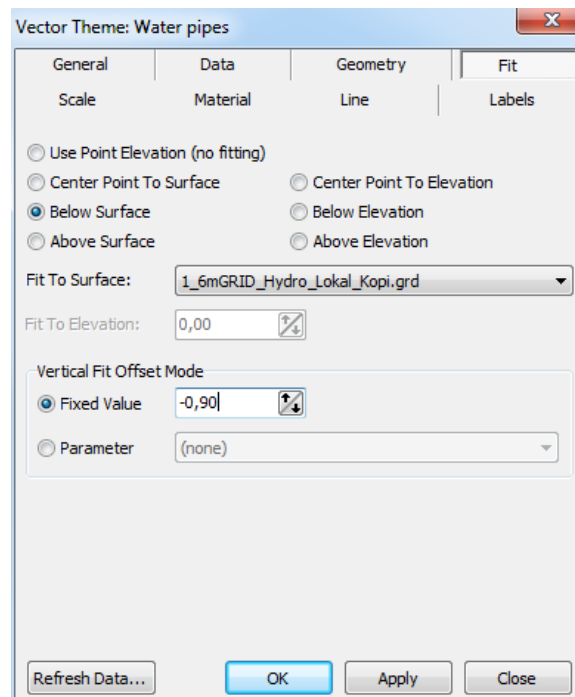
Figur 15. Arbejdsgangen ved oprettelse af det tomme 3D grid til brug for voxelering af det antropogene lag. Øverst t.v. navngives griddet og typen (her floating point) defineres. Øverst t.h. tilknyttes en farveskala. I dette eksempel er anvendt en skala der går fra 0 (mørkbrun, svarer til 0 % sand/100 % ler) til 1 (mørkrød, svarer til 100 % sand/0 % ler). Nederst t.v. angives griddets udstrækning ("Grid Extent") samt den horisontale og vertikale opløselighed ("Node Spacing").

I Figur 16 er der under "Dataset Field" mulighed for at vælge hvilken attribut der skal anvendes til tematisering. Her er valgt "IG_NOMINEL" som indeholder information og rørdiameter for de enkelte rørsektioner. Under "Factor" er anvendt en radius-faktor på 0,001, svarende til at attributten diameter i vektor datasættet er angivet i millimeter, hvor GeoScene3D i det valgte koordinatsystem regner i metre. Derfor ganges omregningsfaktoren på.

I Figur 17 vælges hvordan rørledningerne skal lægges i modellen. De anvendte vektor data indeholder ikke koter for selve rørsegmenterne, men for knudepunkter herpå. I GeoScene3D er det muligt at tilpasse den vertikale placering et givent element (hvad enten det er en bygning eller en rørledning) til en flade. Tilpasningen sker ud fra centerpunktet i det enkelte element. Jfr. Figur 17 er det valgt at tilpasse elementerne til terrænmodellen (her benævnt "1_6mGRID_Hydro_Lokal_Kopi.grd") og herfra forskyde rørene 0,9 mut. svarende til en anslået gennemsnitlig gravedybde på 90 cm.



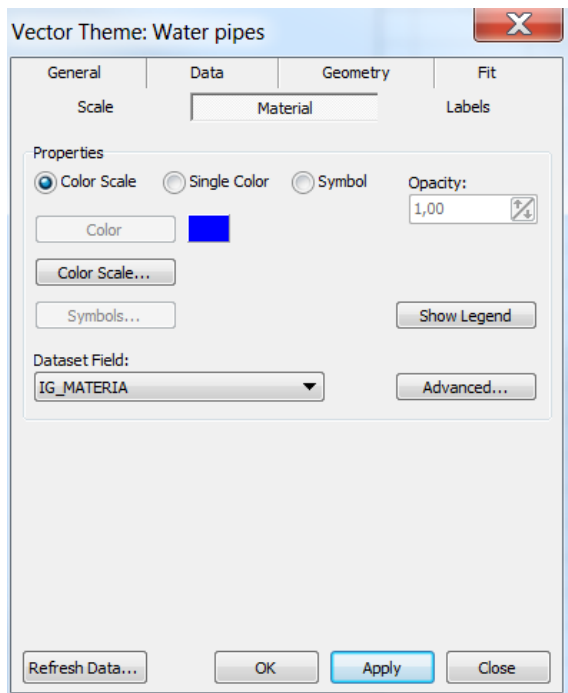
Figur 16. Geometri



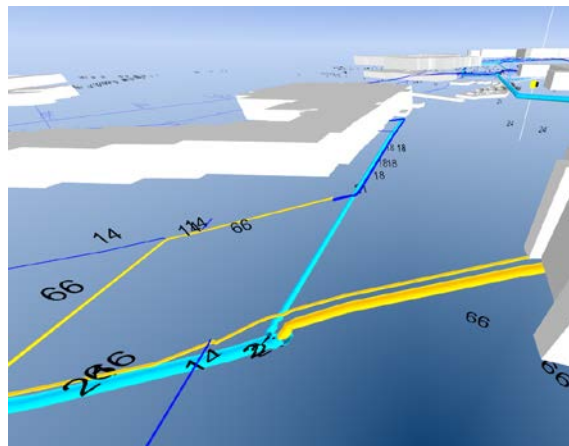
Figur 17. Tilpasning

I Figur 18 vælges om vektor temaet skal farvetematiseres. I det viste eksempel er det valgt at tematisere vandledningerne på baggrund af deres materialetype ("IG_MATERIA") og at anvende en farveskala, hvor hver materialetype har sin egen farve.

Resultatet ses i Figur 19, som således afspejler såvel rørdiameter (tykkelsen på de enkelte rørsegmenter) som materialetype (farven på segmenterne). Tallene på figuren er labels, hvor det i dette tilfælde er valgt at vise materialetypen (i vektor-tabellen angivet med et tal som attribut).



Figur 18. Farvetematisering



Figur 19. Visning i 3D

Ovenstående illustrerer arbejdsgang og muligheder for anvendelse og visualisering af vektor temaer i form af rørledninger. Tilsvarende kan gøres for alle andre vektor temaer, herunder bygninger og veje.

I forbindelse med nærværende opgave er forskellige anvendelsesmetodikker forsøgt. Med henblik på at gøre arbejdsgangen så strømlinet og smidig som muligt, er næsten alle de anvendte vektortemaer samlet til ét vektortema - se afsnit 4.1.1.

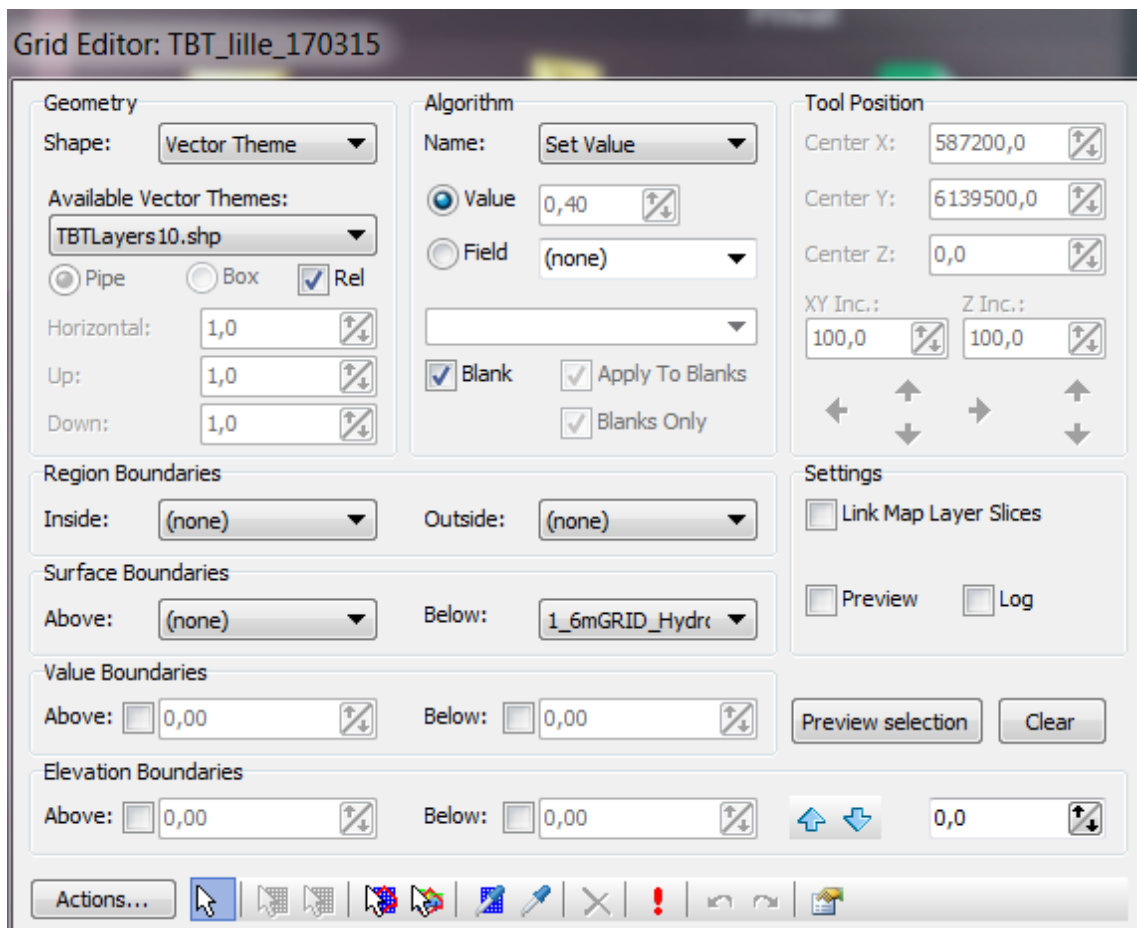
3.2.2.2 Voxelering i 3D grid

Efter ovenstående indlæsning og opsætning kan de enkelte datasæt anvendes som input til voxelgridet, bl.a. ved anvendelse af de nyudviklede værktøjer beskrevet i afsnit 3.1.

GeoScene3Ds voxelmodellerings brugerflade er vist i nedenstående Figur 20. Med udgangspunkt i denne figur, beskrives arbejdsgang og værktøjer i det følgende.

Valg af vektor tema og geometri

De aktive (indlæste) vektortemaer fremgår af dropdown-listen i feltet "Geometry". Her vælges hvilket vektor tema der skal voxeleres. I eksemplet er vist temaet "TBTLayers10.shp". I samme felt tages stilling til, hvorvidt voxeler i det bagvedliggende 3D grid skal vælges og udfyldes ud fra indstillingen "Pipe", "Box" eller "Rel".

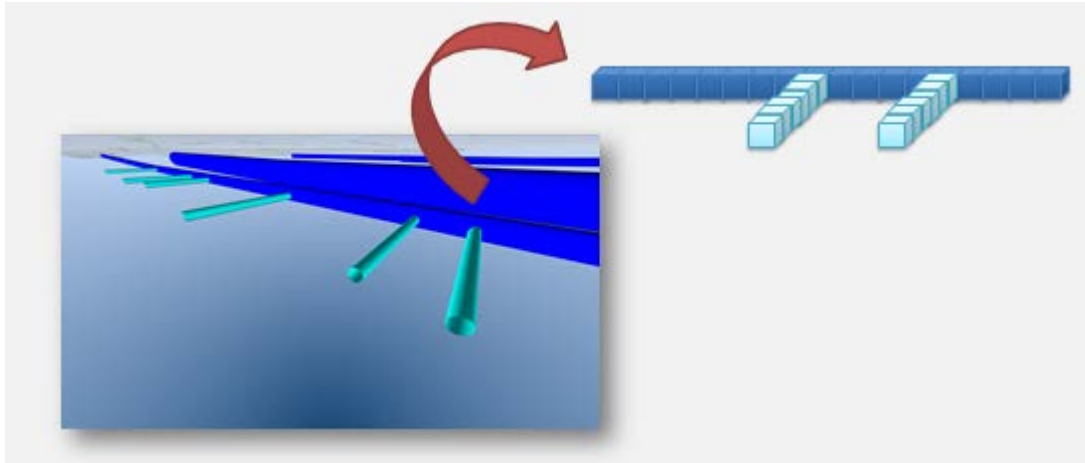


Figur 20. Voxelmøllering – brugerflade i GeoScene3D.

Disse valg giver følgende muligheder:

- **Pipe**
Her vælges alle voxler som er i berøring med det aktuelle vektortema.
- **Box**
Her defineres en selvvalgt kasse omkring det/de enkelte tema(er). Der kan således tages højde for dimensioner på vejtracér, ledningsgrave osv. Der kan indtastes dimensionsværdier over, under og til siderne for et givent tema.
- **Rel**
Her vælges at tage højde for den relative andel som en voxel skæres af et givent vektortema. Er det f.eks. kun et lille hjørne der berøres af en ledningsgrav, vil der tages højde for det i de efterfølgende beregninger.

Figur 21 viser et simpelt eksempel på, hvorledes et vektortema omsættes til voxler i 3D griddet.



Figur 21. Illustration af processen hvor et rørtema omsættes til voxler.

Regions- og fladeafgrænsning

Under "Region Boundaries" og "Surface Boundaries" kan brugeren vælge at begrænse udvælgelsen og voxeleringen inden for en række selvvalgte grænser (flader eller områdeafgrænsninger). I det viste eksempel er det valgt, at der ikke indsættes værdier i voxler som ligger over terræn (3D griddet er defineret med maksimal kote på baggrund af det højest beliggende terræn inden for modelområdet, hvorfor der vil forekomme 3D gridceller over terræn i dele af området).

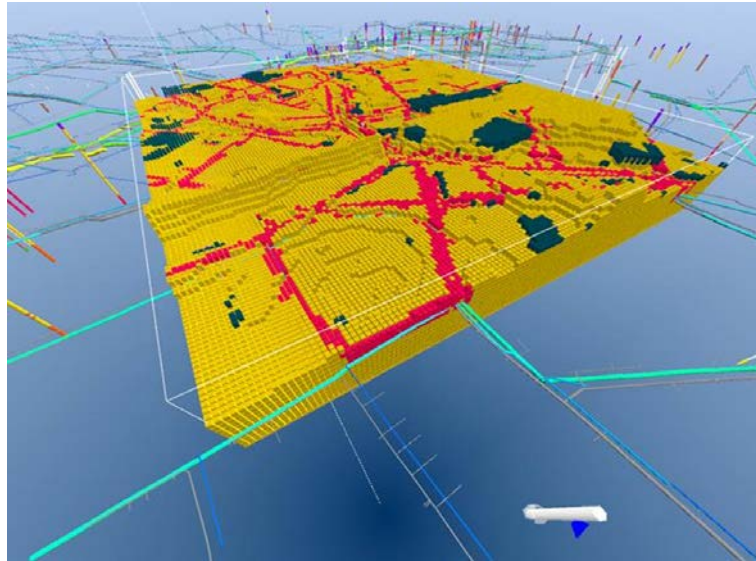
Algoritme/beregningsprocedure

Her styres, hvordan beregningerne i voxelgriddet skal udføres. Følgende 4 muligheder kan anvendes:

- **Set**
Her indsættes en fast værdi i de gridceller der udvælges på baggrund af valg i "Geometry" boxen. Værdien kan defineres individuelt ("Value") eller på baggrund af en attribut fra vektor datasættet ("Field").
- **Add**
Her adderes en værdi til de valgte celler. Værdien kan defineres individuelt ("Value") eller på baggrund af en attribut fra vektor datasættet ("Field").
- **Multiply**
Her ganges en værdi på de valgte celler. Værdien kan defineres individuelt ("Value") eller på baggrund af en attribut fra vektor datasættet ("Field").
- **Blend**
Her blandes med en værdi i de valgte celler. Værdien kan defineres individuelt ("Value") eller på baggrund af en attribut fra vektor datasættet ("Field").

Ad "Set"

Denne algoritme anvendes, hvis der skal indsættes en fast værdi i de valgte voxler, uanset eventuel allerede eksisterende værdi. I Figur 22 er vist eksempel på anvendelsen af denne funktion.



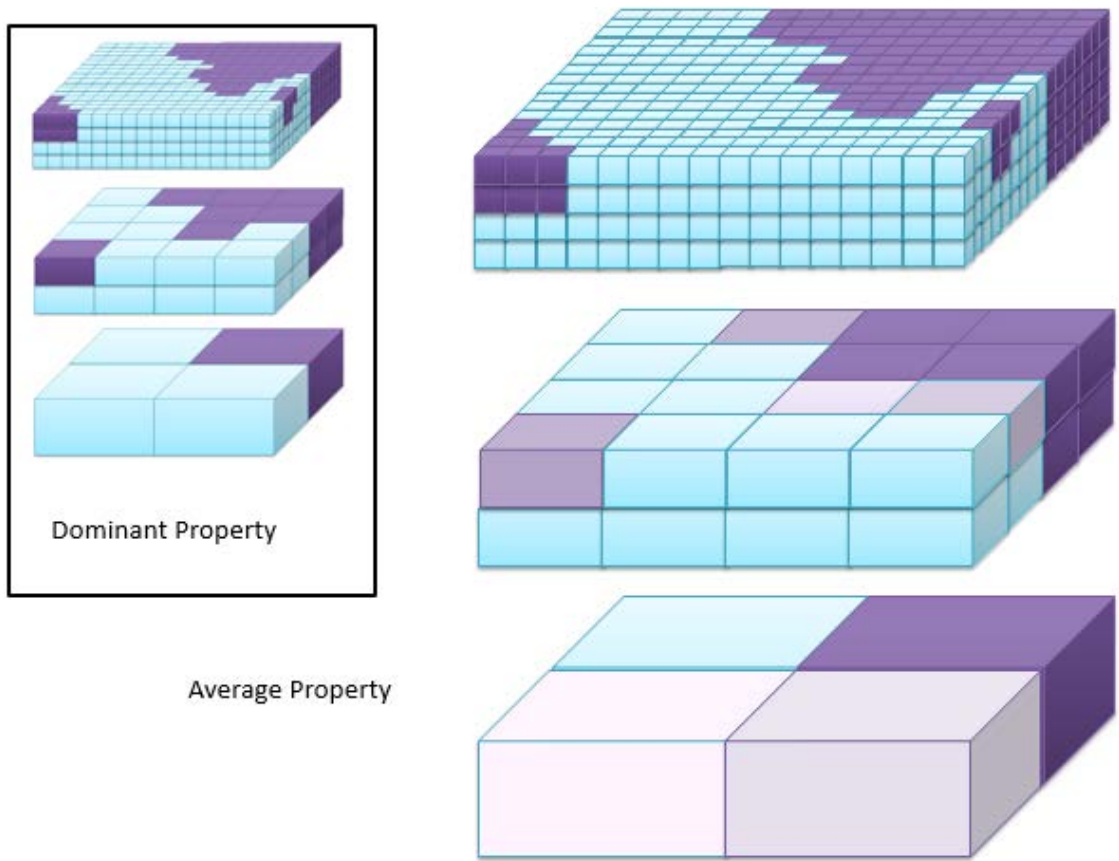
Figur 22. Eksempel på anvendelse af "Set" mode. Udgangsgridet indeholder en værdi svarende til ler (orangebrun farve). Efterfølgende er der voxeleret på baggrund af et vektortema for vandledninger og udfyldt sand omkring disse. Det giver anledning til de røde sandede ledningstracéer.

Ad "Blend".

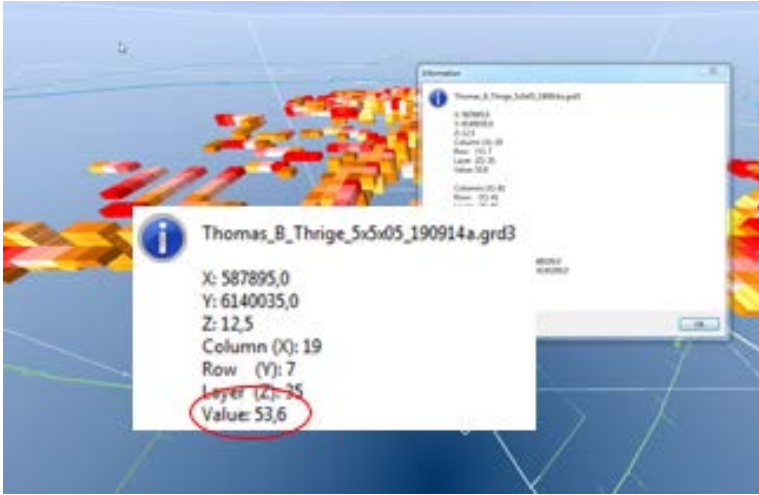
Denne algoritme er udviklet med henblik på at tage højde-/kompensere for at der er en nedre grænse for hvor små voxler der kan arbejdes med – rent beregningsmæssigt. Voxelgriddet er bygget op af 5x5x0,5 m celler, og derfor vil eksempelvis en lille stikledning ind til en ejendom ikke fylde ret meget i en sådan voxel. Anvendes "Set" algoritmen skal brugeren tage stilling til om det er den eventuelt allerede indsatte voxelværdi der skal gælde (såfremt en voxel f.eks. er udfyldt på baggrund af kendskab til fyldtypen i området) eller om det er værdien fra ledningsgraven i forbindelse med stikledningen der skal anvendes. Derved får en lille stikledning enten ingen eller meget stor betydning for det resulterende voxelgrid. Anvendes "Blend" laves en midling af de to fyldtyper der skal indarbejdes i samme voxel, og benyttes desuden "Rel" tages som beskrevet højde for den relative andel. Principperne er vist i nedenstående Figur 23.

I TBT-området er der ved voxeleringen anvendt "Rel" og "Blend Value", hvilket giver mulighed for at lave en vægtet udfyldning i 3D gridet. Der tages således højde for en vægtet fordeling af forskellige fyldtyper inden for én voxel.

Den resulterende voxelværdi kan efterfølgende aflæses ved brug af GeoScene3Ds Info Tool – se eksempel i Figur 24. Bygningskældre, som pr. definition er uigennemtrængelige for vand, er dog indarbejdet ved anvendelse af "Set" algoritmen.



Figur 23. Eksemplificering af effekten ved anvendelse af algoritmen "Blend".



Figur 24. Eksempel på aflæsning af unikke voxelværdier i et voxelgrid ved anvendelse af Info toolen.

4. Visualisering og modellering

Dette afsnit beskriver konkret hvorledes data er håndteret, herunder vist og anvendt, i GeoScene3D. Da visualiseringen og modelleringen i voxelmodellen hænger sammen, er det valgt at beskrive disse forhold i samme afsnit.

Det beskrives desuden hvordan eventuelle problemstillinger omkring de tilvejebragte og anvendte data er håndteret, herunder valgte løsningsmodeller.

4.1 Datahåndtering i byområdet

4.1.1 Vektordata

Der er ved datagennemgangen fundet mange forskellige datasæt i området, i alt over 80 datasæt. Af disse er de, for området og for modellen, mest betydende blevet anvendt til modellering. Dette er f.eks. veje, rørføringer og bygningsdata.

Da der som beskrevet i afsnit 4.2 er en begrænsning i detaljegraden af voxeldatasættet jfr. det maksimale antal voxler et 3D grid kan indeholde, er der grænser for hvor lille den enkelte voxel kan gøres. Derfor tilskrives voxlerne jfr. afsnit 3 en værdi der fremkommer ved at blande værdien i voxlerne med den værdi der kommer via det 3D objekt der skærer igennem voxlen.

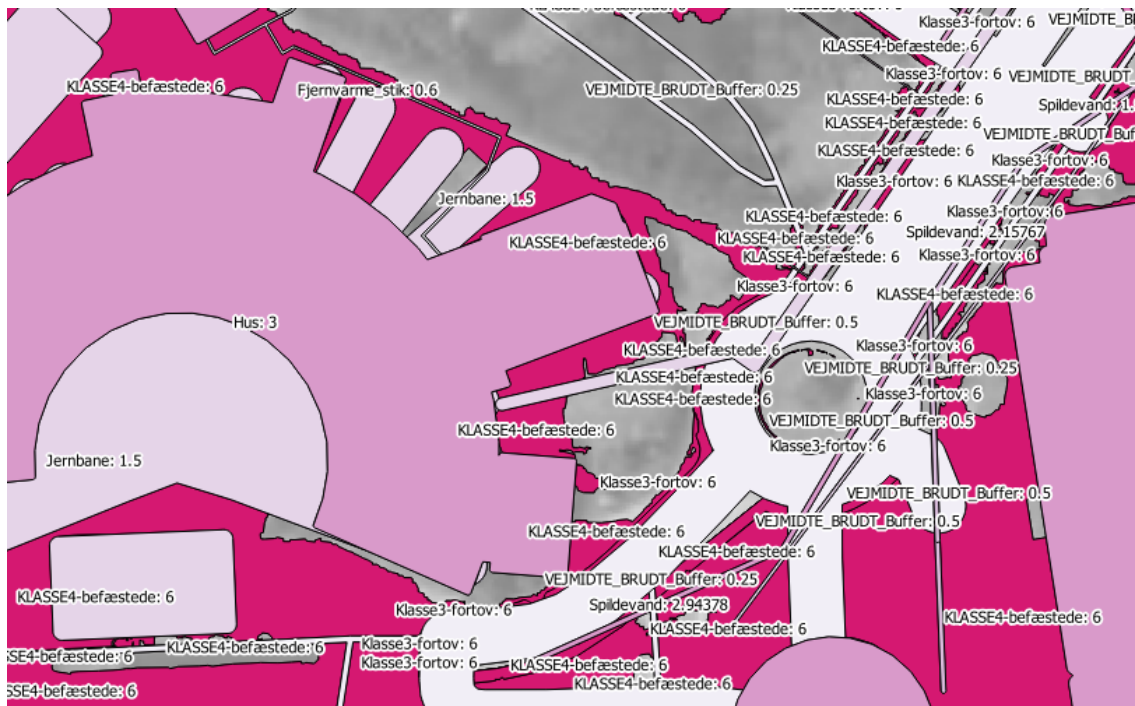
På grund af matematikken i opblandingsfunktionen, har det været vigtigt at voxlerne skæres af så få objekter som muligt, da der ellers ville ske en udtynding af værdien i de enkelte voxler der ikke er reel. Der er derfor fremstillet et samlet vektortema, hvor alle enkelttemaerne er samlet uden overlap – se Figur 25.

Det datasæt med bygninger, der er anvendt i denne model, har den begrænsning at enkelte bygninger ikke er udskilt i datasættet separat. Det betyder, at alle sammenhængende bygninger er samlet i en enkelt polygon, hvilket igen betyder, at det ikke er muligt at tilskrive de enkelte bygninger enkeltværdier og tage disse i anvendelse. Bygningerne kan f.eks. være opført på vidt forskellige tidspunkter, med og uden kældre, og med forskellige byggetoder, forskellige fundaments-værdier såsom størrelse af sandpude osv. Arbejdet med at adskille karreerne i enkeltbygninger pågik under modelleringsarbejdet i Odense, men var ikke færdiggjort til brug i modellen.

4.1.1.1 Håndtering af problematikker vedr. data der ikke følger terræn.

I forhold til at anvende f.eks. bygningstema til voxelering i det antropogene lag, viste de frembragte datasæt sig at frembyde følgende problematik: Bygningerne ligger som større eller mindre enheder, hvis centerpunkter tilpasses til terræn (jfr. afsnit 4.1.1). Det bevirker, at i områder, hvor terrænet er kuperet, vil større eller mindre dele af bygningerne ofte ligge

over eller under terrænoverfladen. Dermed kan de ikke anvendes korrekt ved den efterfølgende voxelering, hvor der netop udvælges og tildeles voxelværdier på baggrund af disse bygningers berøring med voxler. Med henblik på i nogen grad at kompensere for dette, er det forsøgt at splitte de enkelte datasæt i mindre blokke (10x10 m). Figur 26 og Figur 27 viser et eksempel for temaet *bygningeskældre*, hhv. før og efter denne opsplitting.



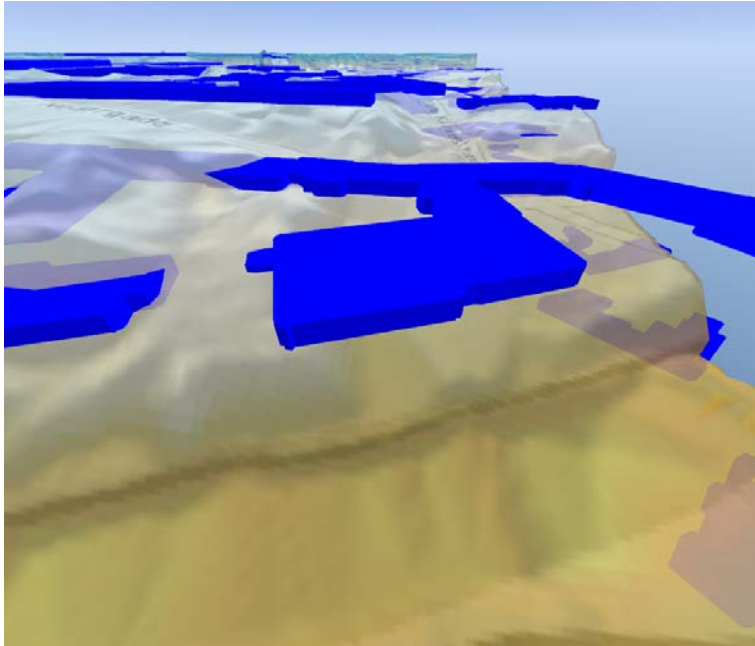
Figur 25. Eksempel på udseende af samlet vektortema bestående af en lang række deltemaer (befæstede arealer, veje, bygninger m.m.).

4.1.2 Boredata

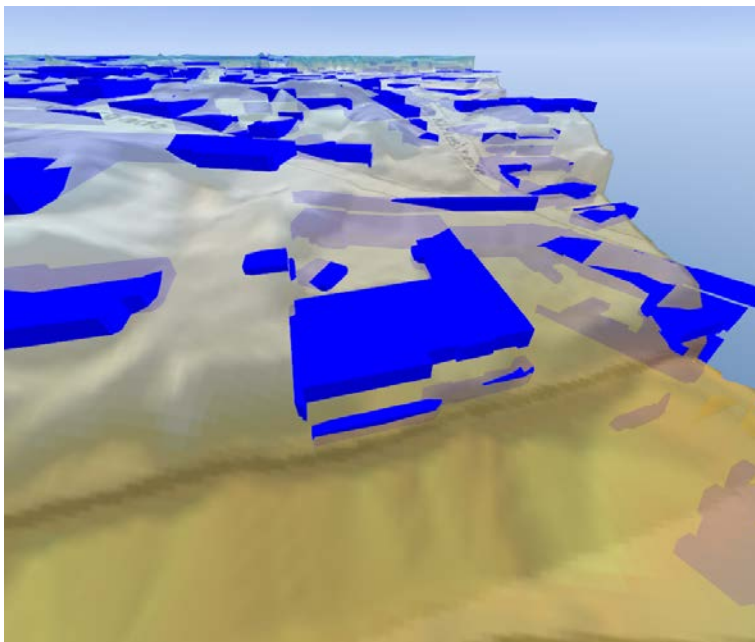
Inddragelse og anvendelse af boredata er beskrevet i afsnit 2.2.4.

I Jupiterdatabasen findes flere borer, hvor der ikke er foretaget prøvebeskrivelse hos GEUS, men hvor den oprindelige borejournal er indscannet og vedhæftet. Det er af afgørende værdi at gennemgå alle disse borejournaler, hvilket også er gjort i forbindelse med nærværende projekt.

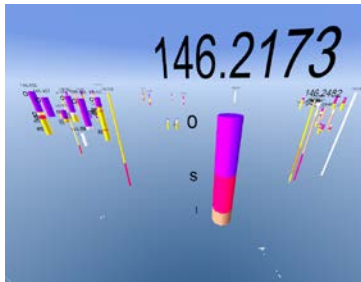
Figur 28 viser et eksempel, hvor en boring i Jupiter-databasen ikke umiddelbart bidrager med brugbar information omkring fyldlagets beskaffenhed, men hvor den tilknyttede pdf-fil med brøndborerbeskrivelserne bidrager med vigtige detaljer.



Figur 26. Bygningsfundamenter i udsnit af TBT området. De blå kasser er kældre. Den farvede flade er terrænoverfladen (semi-transparent). Bemærk hvordan kældrene flere steder svæver i luften.



Figur 27. Bygningsfundamenter i udsnit af TBT området efter opsplitting i 10x10 m sektioner. De blå kasser er kældre. Den farvede flade er terrænoverfladen (semi-transparent). Bemærk hvordan kældrene nu i højere grad følger terrænet.



M. u. terræn

Top	Bund	DGU-symbol	Beskrivelse
0	0,5	fyld - o	FYLD, (fyld).
0,5	1,5	fyld - o	FYLD, (fyld).
1,5	2	fyld - o	FYLD, (fyld).
2	2,5	sand - s	SAND, (sand).
2,5	3,5	sand - s	SAND, (sand).
3,5	3,65	sand - s	SAND, (sand).
3,65	4	ler - l	LER, (ler).
4	4,3	ler - l	LER, bbb slirer af sand. (ler).

Dybder i m u. terræn	Beskrivelse af jordlagenes beskaffenhed, farve, vandføring m.v.
0- 0,05	Asfalt
0,05-0,5	Stabil grus, tegl, muld
0,5-1,5	Fyld, ler, sand, muld, År
1,5-2,0	Do, let fugtig
2,0-2,5	Sand, let fugtig
2,5-3,5	Sand, våd

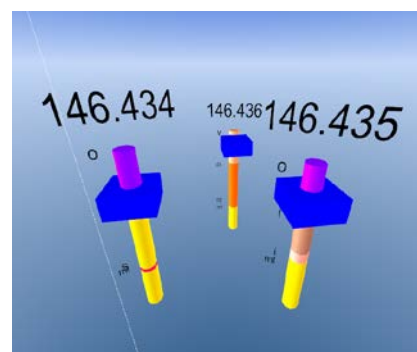
Figur 28. Eksempel på information lagret i PC-Jupiterdatabasen. Figuren øverst til venstre viser boringen (DGU nr. 146.2173) når den indlæses i GeoScene3D. Figuren øverst til højre viser boringsoplysningerne i Jupiter mens figuren nederst til højre viser den oprindelige brøndborerjournal.

Tilpasning af boringer til terræn

Da der efterindlæsning af boringer i GeoScene3D i flere tilfælde sås forholdsvis store afvigelser mellem top boring og terræn (der er jfr. Tabel 1 anvendt en højopløst terrænmodel med 1,6 m cellestørrelser), valgtes det at anvende funktionen "Fit to terræn", hvorved toppen af boringerne tilpasses den anvendte terrænoverflade. Det har selvsagt betydning for de tolkningspunkter, der efterfølgende sættes i forhold til tolkningen af såvel bunden af fyldlaget som selve fyldtypen i halvmeterintervaller.

4.1.2.1 Fastlæggelse af bund af fyldlag

For hver boring er der foretaget en tolkning af bund fyld. For boringer hvor der ikke er konstateret fyld, er der sat et tolkningspunkt (defineret ved en X, Y og Z-værdi) i toppen af boringen. I boringer med fyld er punktet sat ved overgangen til intakte aflejringer. Bunden af fyldlag defineres som grænsen mellem fyld og intakt materiale. I nogle tilfælde kan der være tvivl om, hvorvidt en prøve repræsenterer fyld eller intakt materiale. Her er der foretaget en faglig vurdering i forhold til grænsedragningen. Eksempelvis indikerer en beskrivelse som "Morænelerler, stenet, muldet, enkelte teglstykker" at der sandsynligvis er tale om fyldmateriale. I boringer uden lithologiske beskrivelser er der ikke sat tolkningspunkter.



Figur 29. Eksempel på tolkningspunkter (blå kasser) for bund af fyldlag i GeoScene3D.

I GeoScene3D er der oprettet en tolkningspunktsdatabase der indeholder en tabel med tolkningspunkter for bunden af fyldlaget. I hver boring er der sat et tolkningspunkt (defineret ved en X, Y og Z værdi), der markerer bunden af fyldlaget (se Figur 29). Punkterne er knyttet til de enkelte boringer ("snapped" i GeoScene3D terminologi) og tilskrevet en unik ID i form af boringsnummer.

Punkterne interpoleres efterfølgende til en sammenhængende flade, der dækker hele detailområdet og som definerer bunden af fyldlaget - se detaljer i se afsnit 4.2.

Det er væsentligt at bemærke, at den tolkede bund af fyldlaget ikke nødvendigvis er sammenfaldene med bunden af det antropogene lag. Dette lag vil flere steder strække sig dybere, da der her indgår bygninger med kældre og andre anlægstyper.

4.1.2.2 Tolkning af fyldtype

På baggrund af boringsgennemgangen er fyldtypeperne inddelt i 3 kategorier, der spænder over leret fyld til meget sandet/stenet fyld. Vurderingerne er baseret på subjektive skøn. I voxelgriddet arbejdes med en skala fra 0 til 1, hvor 0 er 100 % ler og 1 er 100 % sand. Kategorierne baseres således på lithologi i form af ler-sand andele. Grove fylttyper er kategoriseret som meget sandholdige, mens de mere finkornede fylttyper kategoriseres som mere lerede.

Fyldtype afspejler jordlagenes strømningsmæssige egenskaber. For hvert halve meter koteinterval ned gennem fyldlaget, er der defineret et tolkningspunkt, der er tilskrevet en fyldtype.

Fyludet er kategoriseret i nedenstående typer og med den viste anslåede ler/sand-fordeling.

Som beskrevet er det vigtigt at gøre sig klart, at denne inddeling er subjektiv. Dertil kommer den usikkerhed, der ligger i kraft af dens basis i prøvebeskrivelser, som i naturen er subjektive og baseret på punktoplysninger. Metoden vurderes dog fuldt ud anvendelig i nærværende projekt.

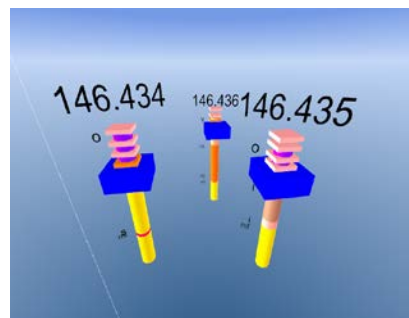
Tabel 2. Eksempler på typiske fyldtypebeskrivelser og kategorisering i forhold til ler/sand-indhold (angivet som procentvis sandindhold). Det anslåede sandindhold afspejler indirekte den hydrauliske ledningsevne.

Fyldtype	Anslået sandindhold (%)
Sand med tegl, siltrig Ler, muldet, med tegl Ler, sandet Dynd, sandet, med tegl	30
Sandmuld med tegl Sand, ret groft, beton, tegl, trækul Muld med tegl Muld, sandet Tørvemuld Muld, leret, sandet, tegl	60
Sand og grus med beton Sand, ret groft, stenet	80

Med henblik på at opnå en systematik i datapunktfordelingen, og fordi der er stor variation i detaljegraden/prøvetagningsfrekvensen fra boring til boring, er det valgt at definere fyldpunkter for halv-meter kote-intervaller ned gennem lagserien. Det sikrer desuden en relativt ensartet vertikal punktafstand, hvilket er af betydning for den efterfølgende 3D interpolation – se senere.

Figur 30 viser et eksempel på punktfordelingen ned gennem fyldlaget i en række boringer.

Fyldtypen interpoleres efterfølgende ud i det antropogene 3D-grid – se detaljer i afsnit 4.2.



Figur 30. Eksempel på fordeling af fyldlagspunkter (lyserøde kasser) ned gennem fyldlaget i en række boringer. De blå kasser markerer bunden af fyldlaget.

4.2 Interpolation og voxelering

De følgende afsnit beskriver processen omkring de interpolationer og øvrige forhold der gør sig gældende i forbindelse med udfyldelse af voxelgriddet.

4.2.1 Bund af fyldlag (2D interpolation)

Tolkningspunkterne for bunden af fyldlaget er interpoleret til en sammenhængende flade i GeoScene3D betaversion 10.0.0.436.

Metode og parametre er angivet i Tabel 3. Der er valgt en interpolationsmetode, som er forholdsvis simpel, og en søgeradius som resulterer i en gridflade uden huller. Gridfladen er efterfølgende korrigeret i forhold til terræn, således at den ikke ligger over terræn nogle steder (det kan blandt andet opstå ved interpolation).

Tabel 3. Interpolationsmetode, anvendte settings og gridcelle størrelse for fladen "Bund fyld".

Metode (algoritme)	2D Inverse Distance Weighting
Exponent	10
Smooth factor	10
Point limits	none
Search radius	X = 1000 y = 1000
Cellestørrelse (node spacing - XY)	5 x 5 m
Grid extent	Scene Extent
Filnavn og -format	Bund_Fyld_170315_Adjusted.grd
Gridtype	Regulært 2D

4.2.2 Fyld i voxelgriddet (3D interpolation)

4.2.2.1 De kendte fyldtyper - tolkningspunktsbaseret

Tolkningspunkterne for fyldet er ved 3D interpolation interpoleret i et 3D grid (typen floating point). Da der er tale om punktobservationer, som varierer kraftigt over meget korte afstande såvel vertikalt som horisontalt, er der anvendt relativt små søgeradier. Det bevirker, at det kun er en mindre del af 3D griddet, der udfyldes ved interpolationen. De resterende gridceller vil indledningsvist fremstå tomme og udfyldes først senere i processen.

Metode og parametre er angivet i Tabel 4. Der er valgt en interpolationsmetode, som er forholdsvis simpel. 3D griddet er beskåret i forhold til terræn og bund fyld.

4.2.2.2 De ukendte fyldtyper – gennemsnitsbaseret (anslået fyldtype)

De terrænnære geologiske forhold er generelt præget af moræneler (se delrapport 4). Det antages derfor at en del af fyldet i modelområdet overvejende er lerpræget, da det må anses som sandsynligt, at en del moræneler i forbindelse med gravearbejder er forsøgt genindbygget. Den del af voxelgriddet, som ikke er udfyldt på baggrund af 3D interpolationen, er derfor udfyldt med voxler med en værdi på 0,4 svarende til 40 % sand.

I GeoScene3D's voxelediterings redskaber er ovenstående voxler indsat i alle tomme voxler i 3D griddet ved anvendelse af algoritmen "Set Value" med en value = 0,4 (svarende til 40 % sand).

Tabel 4. Interpolationsmetode, anvendte settings og gridcelle størrelse for voxelgriddet for det antropogene lag.

Metode (algoritme)	3D Inverse Distance Weighting
Interpolationsværdi	Point Value
Exponent	10
Smooth factor	0
Point limits – Max Count	3
Search radius	X = 50 Y = 50 Z = 0,6
Cellestørrelse (node spacing, XYZ)	5 x 5 x 0,5 m
Grid extent	Horisontalt: Scene Extent. Vertikalt: 20 - -10
Filnavn og -format	Fyld_lithologi_080415_Blanked_above_terraen.grd3
Gridtype	Regulært 3D floating point

4.2.2.3 De vektorbaserede fyldtyper

De vektorbaserede fyldtyper er fyld i ledningsgrave, i vejtracéer, under befæstede arealer osv. I nærværende model er der antaget én gennemsnitlig værdi for alle disse fyldtyper (0,75 svarende til sandet/gruset). Det er dog muligt, såfremt kendskabet hertil eksisterer, at tilskrive unikke fyldtyper som attributter i de enkelte datasæt, og derved tilgodese forskellige fyldtyper. Anvendte fyldtyper kan historisk set variere med årstal men også med anlægstype.

I GeoScene3D er det jfr. afsnit 3 muligt, at variere såvel bredde som bund og top af ledningsgrave og vejkanter ud fra f.eks. en rørlednings forløb og diameter. Delrapport 2 – Indsamling og vurdering af data (Kristensen m.fl., 2015) beskriver detaljer omkring anvendte data i den resulterende antropogene model. Afsnit 3 viser og beskriver den overordnede arbejdsproces i forbindelse med opbygningen af voxelgriddet.

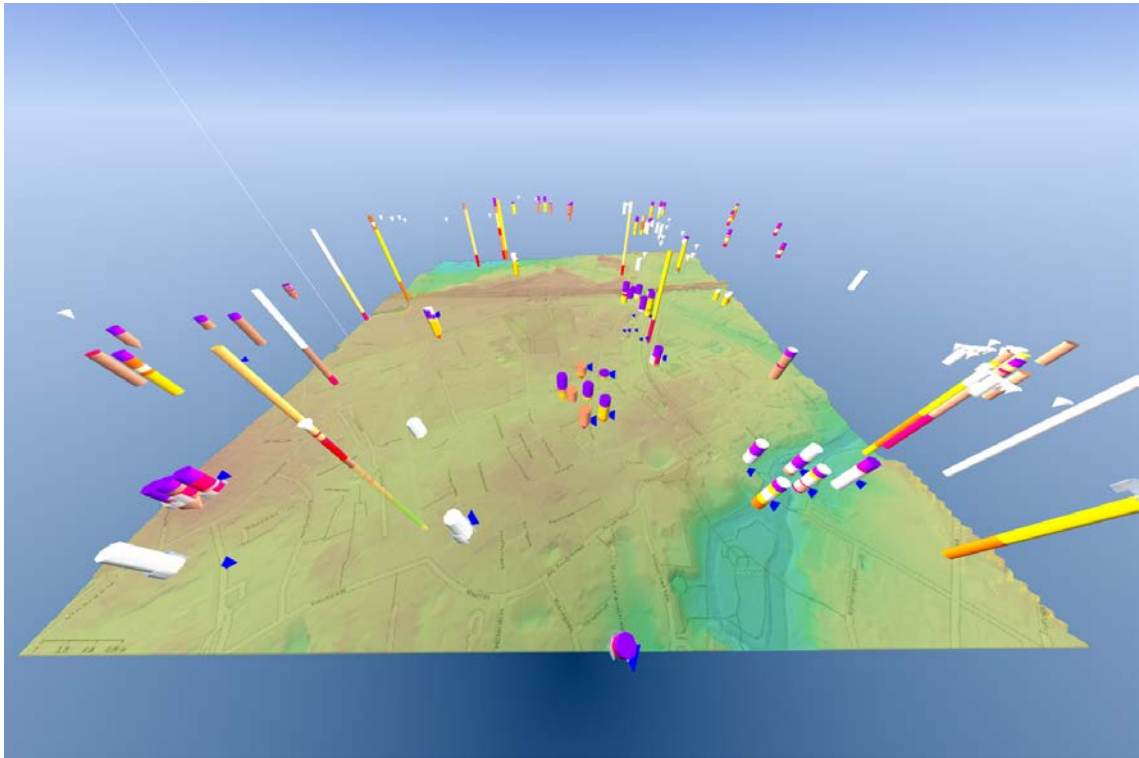
4.2.3 Arbejdsproces og visualisering

Ved at anvende GeoScene3D som værktøj i visualiseringen er det muligt at vise modellen på forskellig vis. Der kan frit fremstilles tværsnit og foretages en lang række udsøgninger af data. Tillige kan modellen suppleres med eventuelle projekttegninger. Hvis projekttegninger findes i 3D i de rette formater, kan disse hentes ind i modellen og visualiseres sammen med denne (se evt. Figur 38).

For en udenforstående, uden indgående kendskab til GeoScene3D, kan der fremstilles kort og tværsnit, som sammen med billeder fra 3D visualiseringen kan anvendes i rapporter.

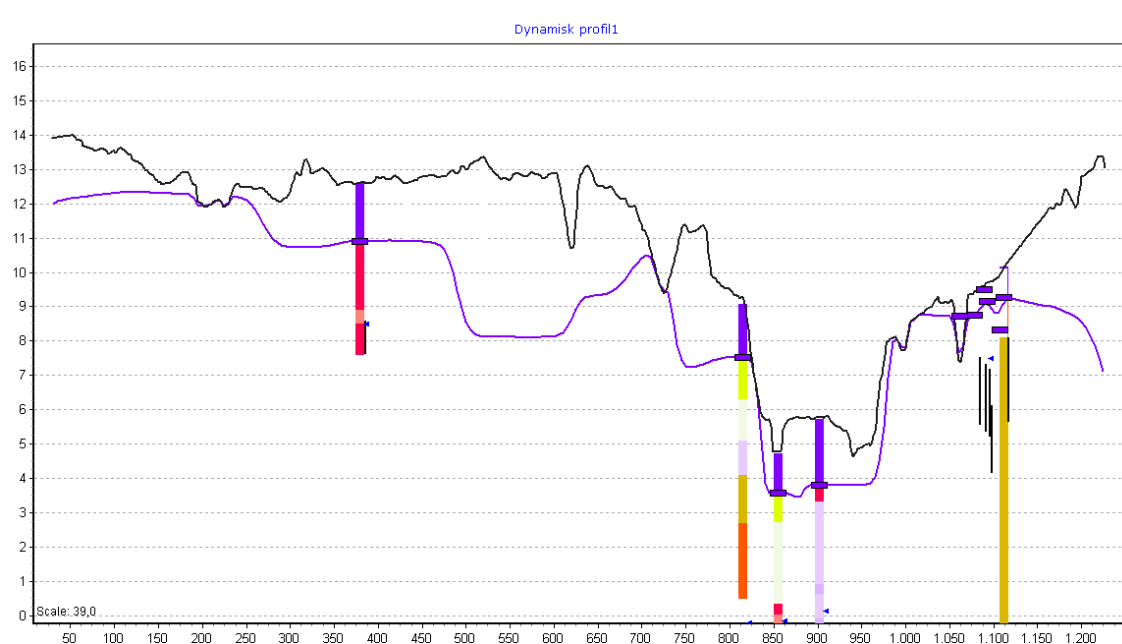
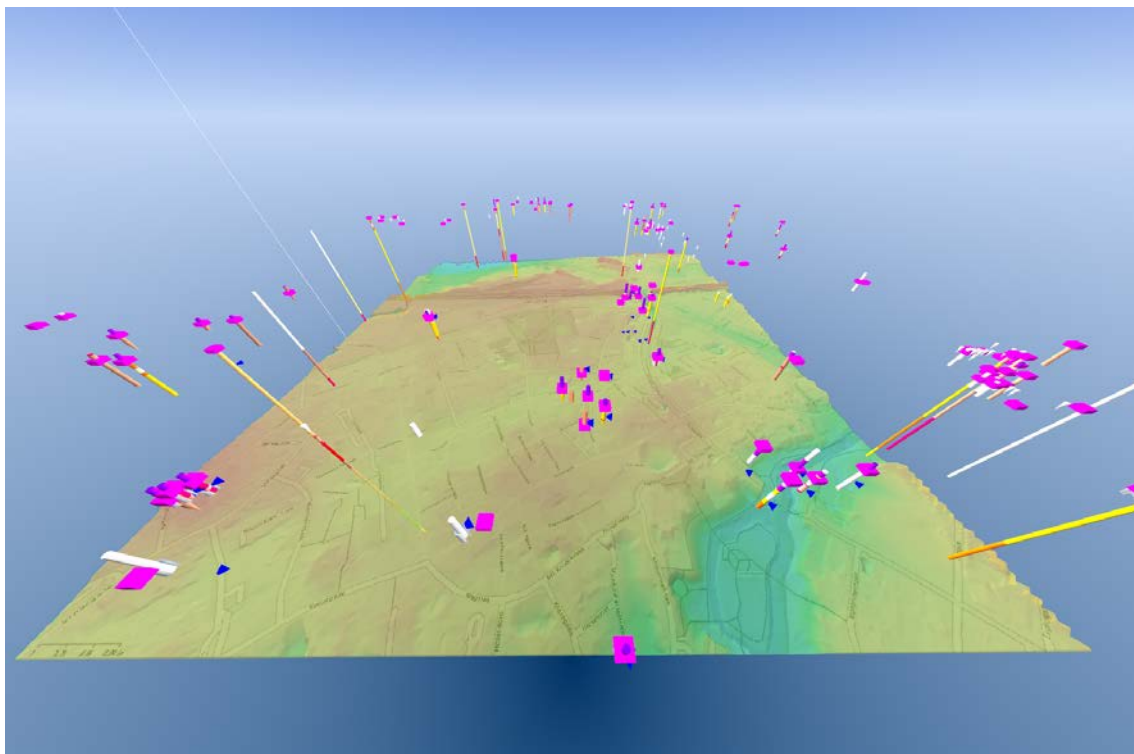
I de følgende figurer vises en trinvis opbygning af voxelmodellen via figurer og en kort summarisk tekstbeskrivelse. Baggrunden er beskrevet i detaljer i de foregående afsnit.

Figur 31 viser de anvendte borer indlæst i GeoScene3D's 3D vindue.



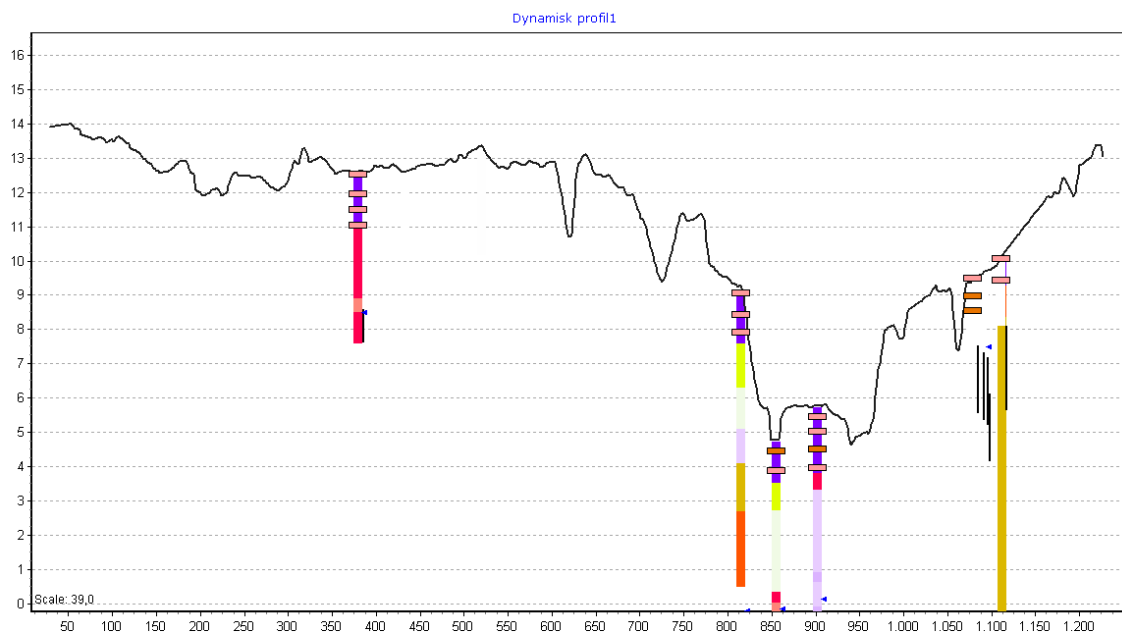
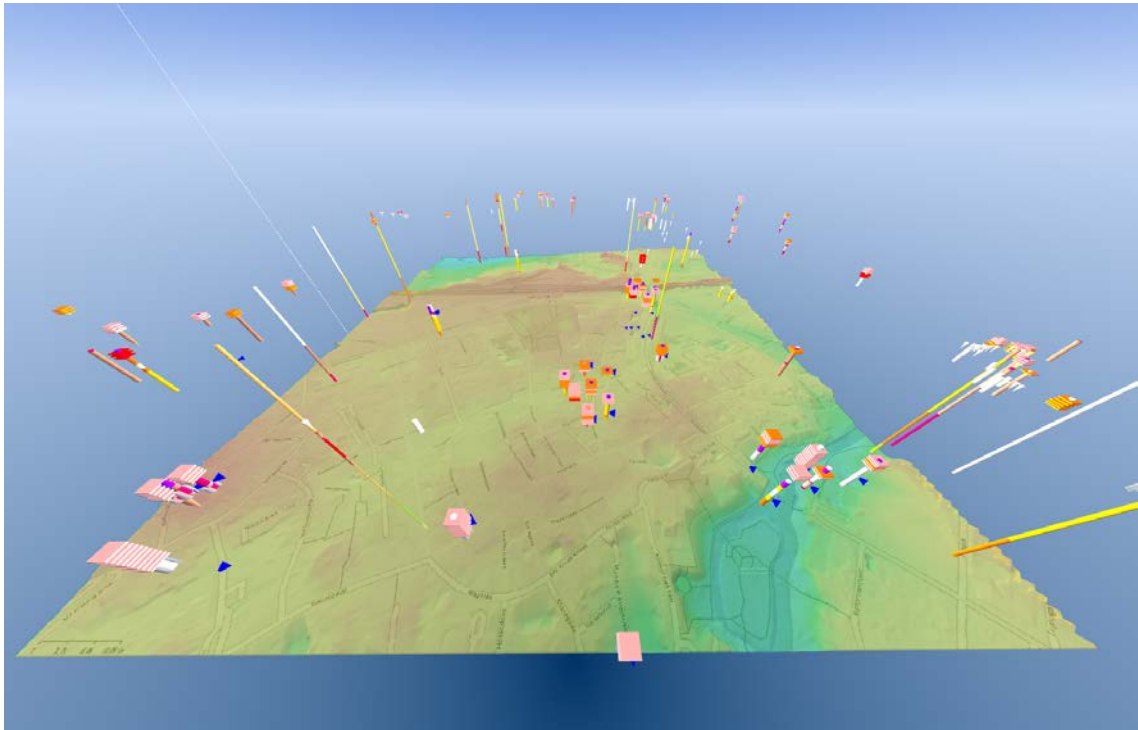
Figur 31. Indlæsning af boredata og visning i GeoScene3D's 3D vindue.

Efter indlæsning af boredata foretages tolkningen af bunden af fyldlaget – se Figur 32.



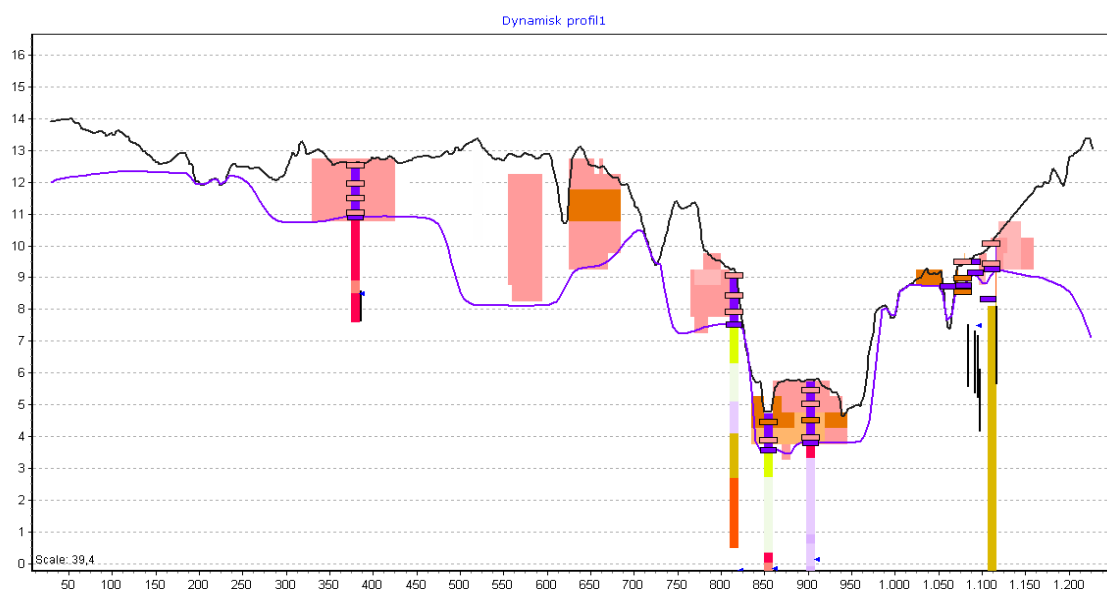
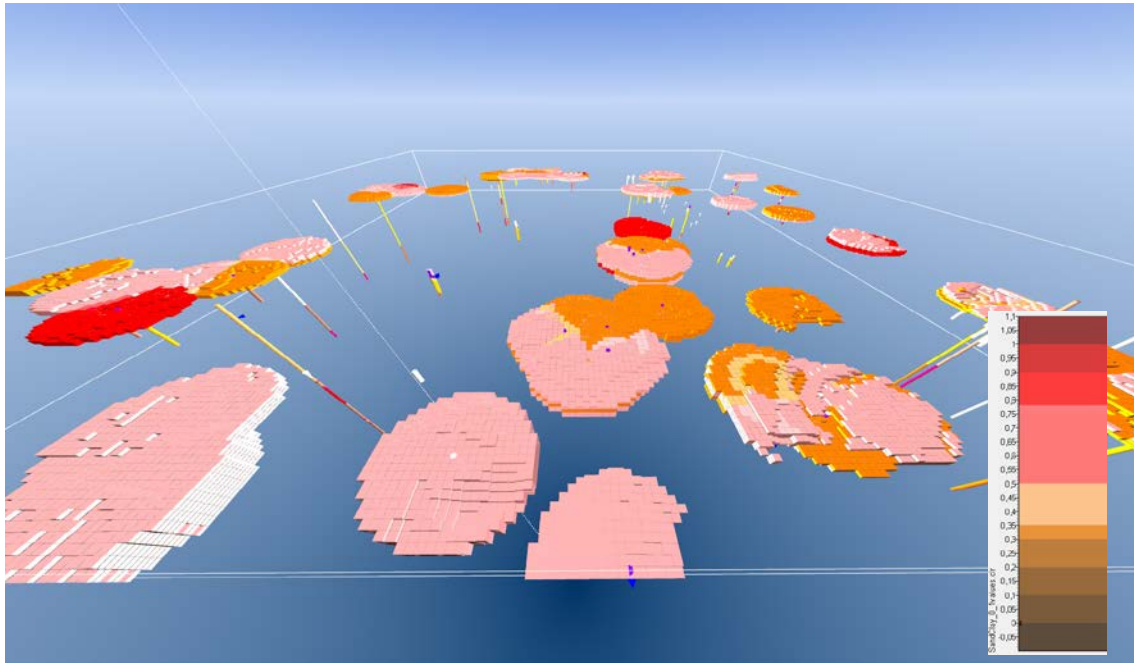
Figur 32. Tolkning af bund fyld og interpolation af fladen bund fyld. De enkelte tolkningspunkter ses som pink kasser i det øverste 3D billede og som lilla kasser i profilsnittet nedenunder. Den lilla linje i profilsnittet er den resulterende interpolerede flade for bunden af fyldlaget. Profilets placering er irrelevant i forhold til illustrationen.

Herefter tolkes fyldtyperne i halvmeter koteintervaller (Figur 33).



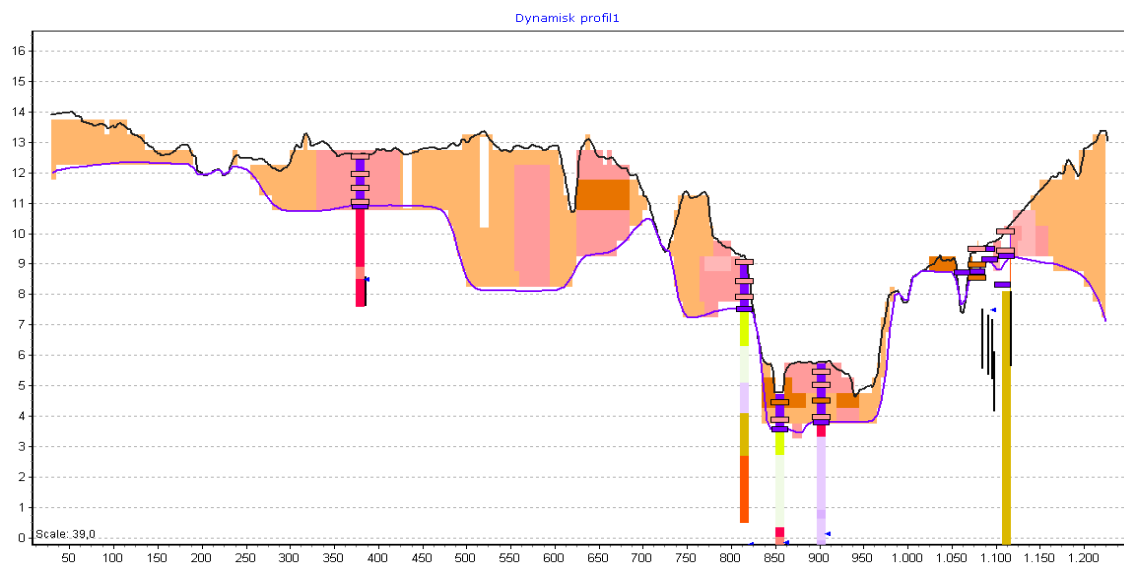
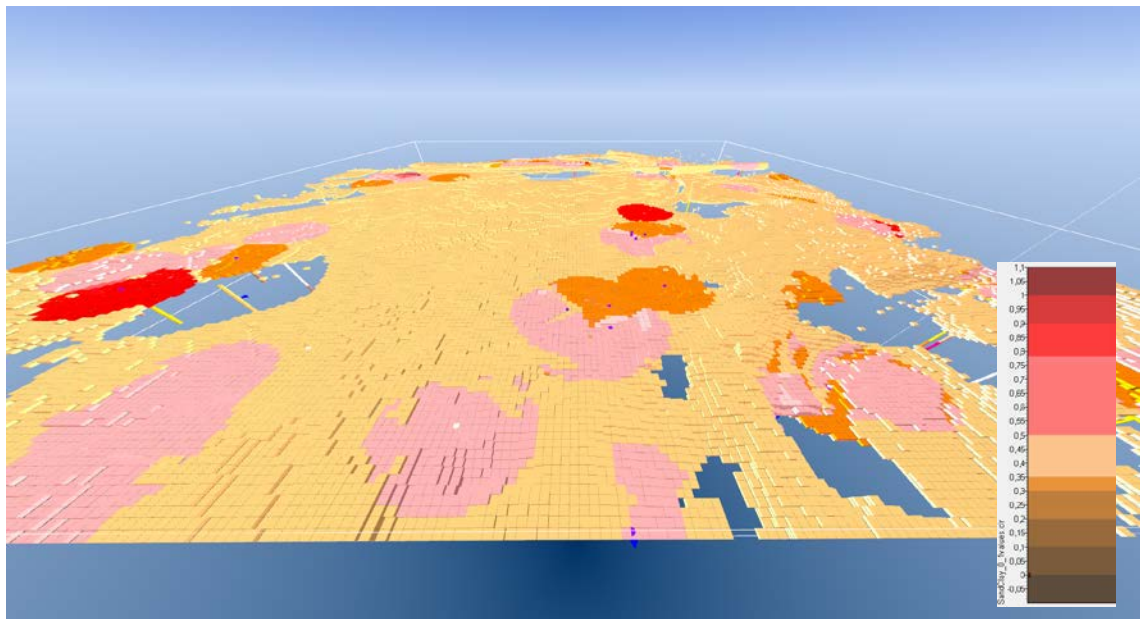
Figur 33. Tolkning og visning af fyldlags-lithologi i halvmeter koteintervaller (vist som farvede kasser i 3D og på profilsnittet). Farverne angiver antaget sand-ler forhold.

Efter tolkning af fyldtyper foretages 3D interpolation, jfr. afsnit 4.2 – se Figur 34.



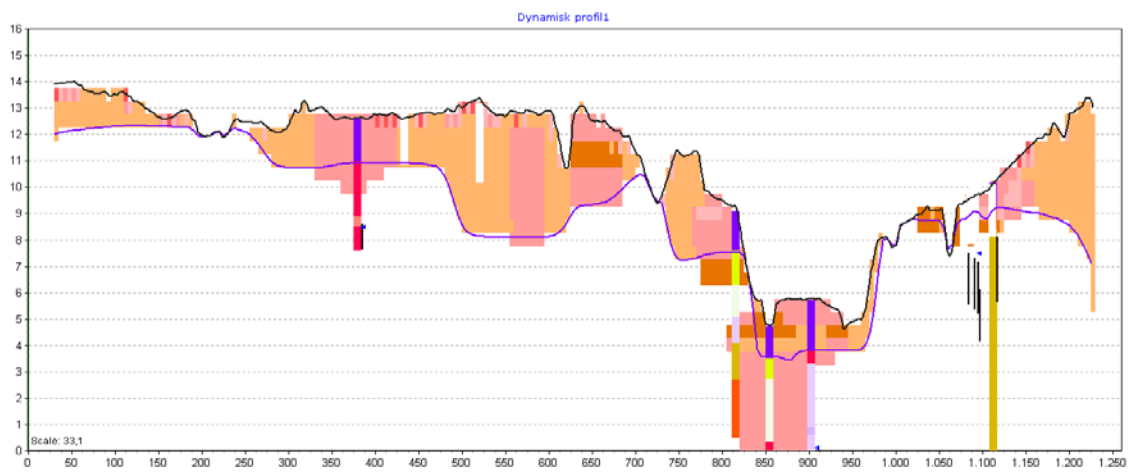
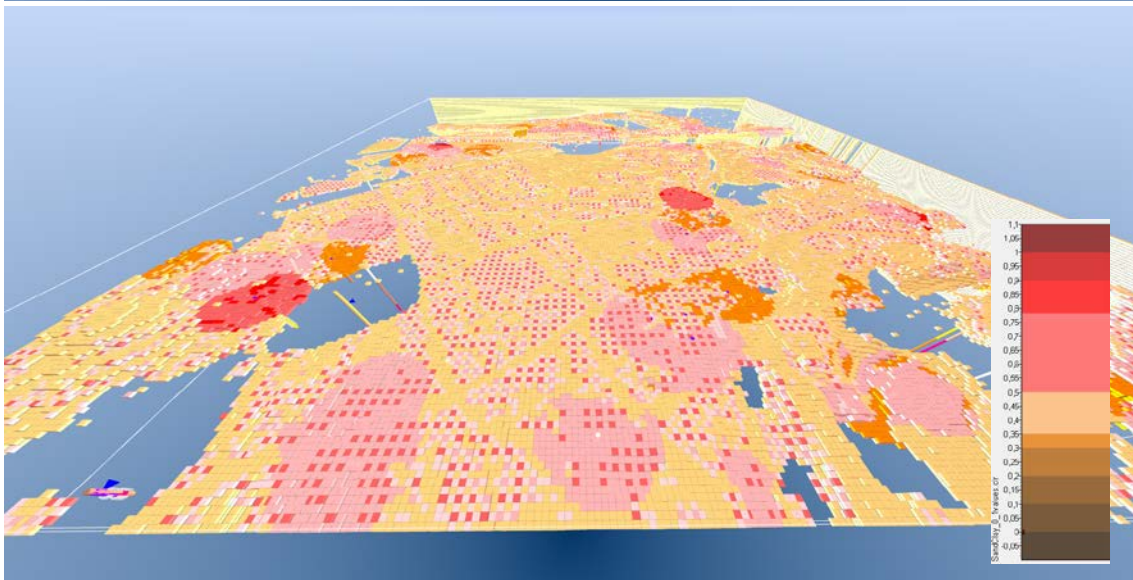
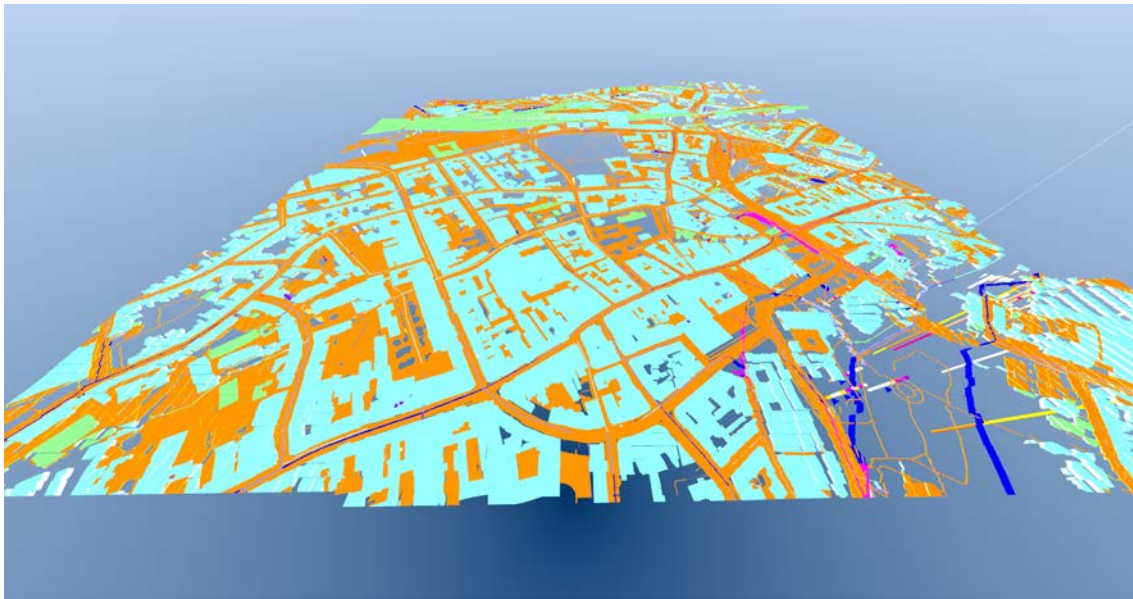
Figur 34. 3D interpolation af fyldlagspunkterne til et 3D grid.

Efter 3D interpolation af fyldlagspunkter udfyldes resten af 3D griddet mellem terræn og bunden af fyldlaget med den antagne gennemsnitsfyldtype – Figur 35.

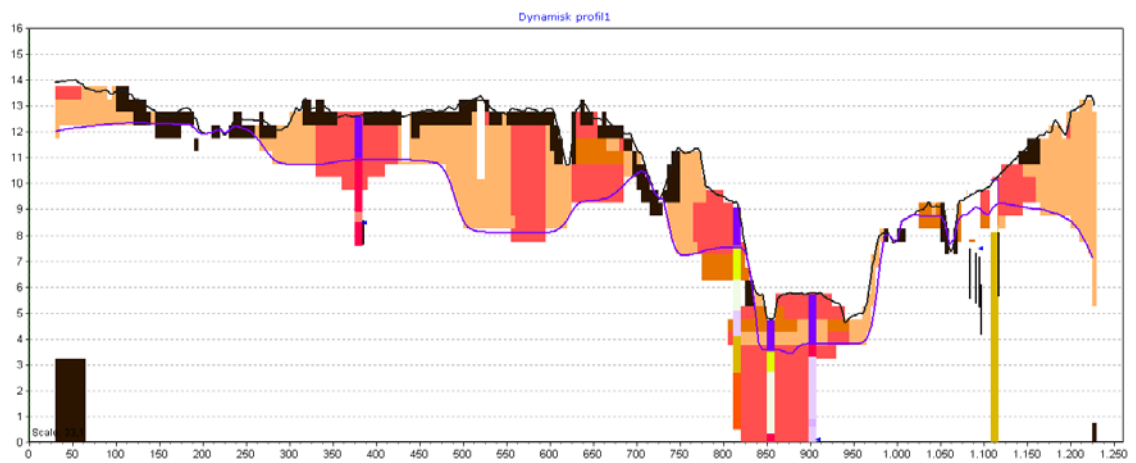
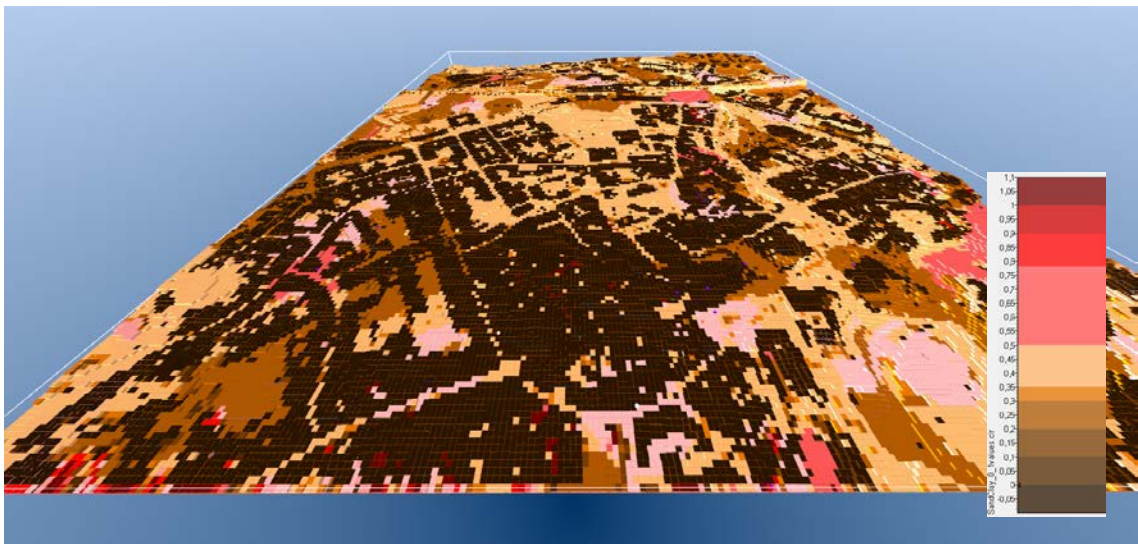
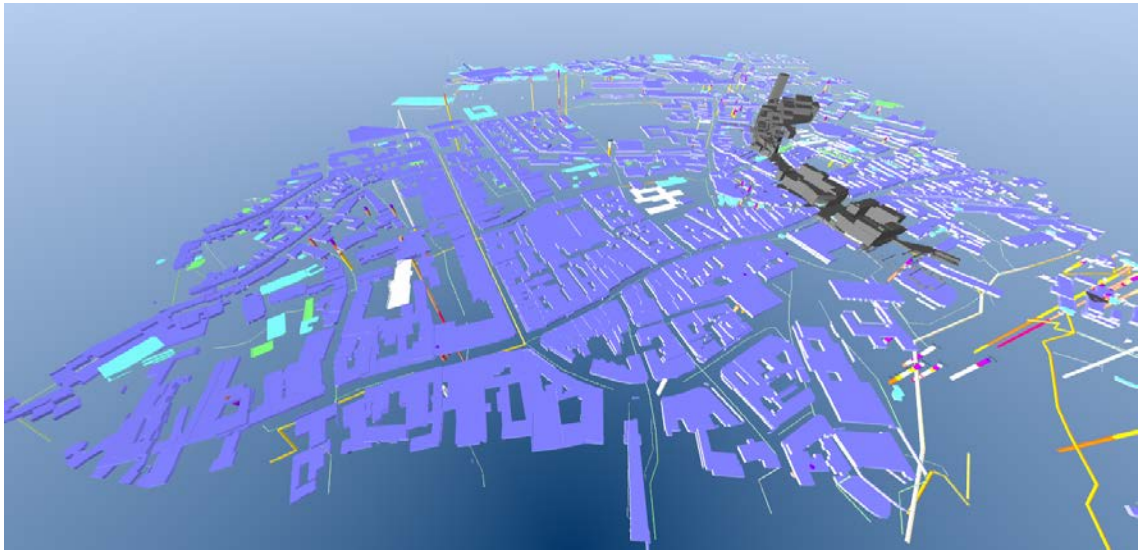


Figur 35. Udfyldning af den resterende del af 3D griddets fyldlag med den antagne gennemsnitsfyldtype. Brune farver er ler, røde er sand.

Det udarbejdede 3D grid/voxelmodel indeholder nu fyldlagslitologi. Derefter indarbejdes de antropogene elementer i form af bygge- og vejanlæg, rør- og ledningsføringer m.m. - Figur 36.



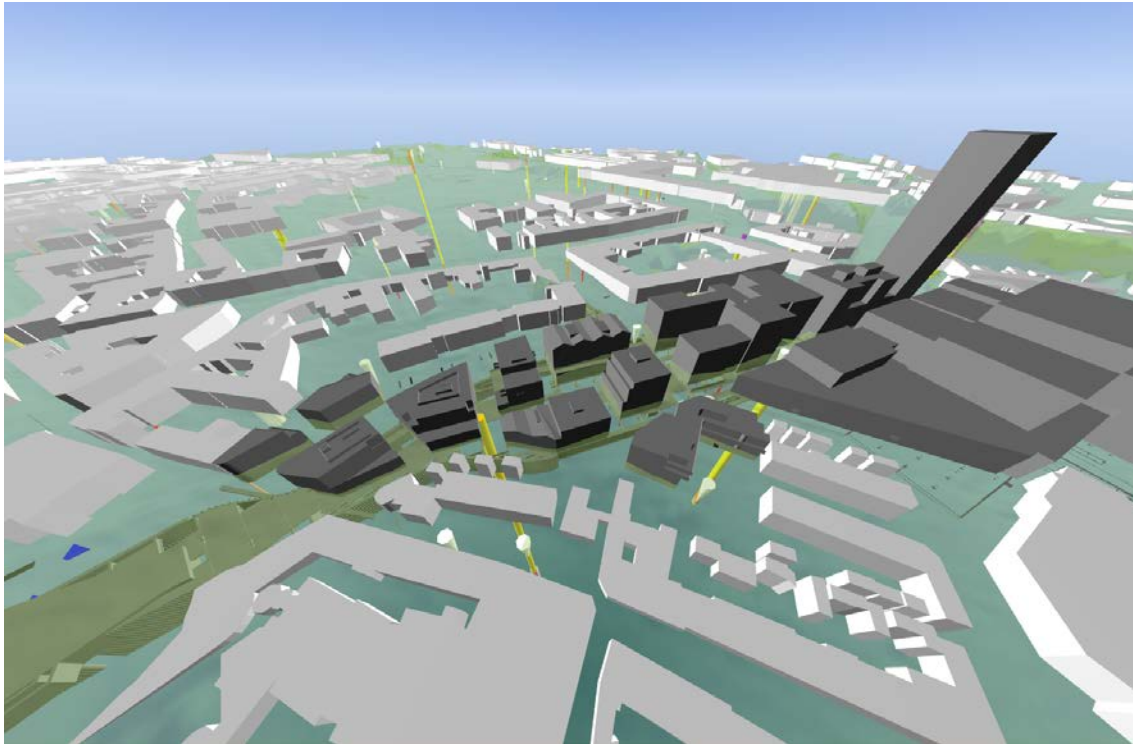
Figur 36. Indarbejdelse af anlæg i form af vejtraccer, rørføringer m.m. Brune farver er ler, røde er sand.



Figur 37. Indarbejdelse af kældre m.m. Brune farver er ler, røde er sand. De sortbrune svarer til hydraulisk set uigennemtrængeligt ler (100 % ler) og repræsenterer bygningskældre og fundamenter

Til sidst indarbejdes kældre og øvrige strukturer, som er uigennemtrængelige for vand (svarende til 100 % ler).

3D objekter i form af bygninger og lignende kan indlæses og vises som illustreret i eksemplet nedenfor, hvor et kommende anlægsprojekt i Thomas B. Thriges gade er illustreret ved hjælp af en indlæst 3D figur.



Figur 38. Kommende byggeri (mørkgrå bygning) i TBT området. De lysegrå kasser er eksisterende bygninger. De olivengrønne kasser under den grønne terrænoverflade er de dele af byggeriet som ligger under terræn.

5. Resultater

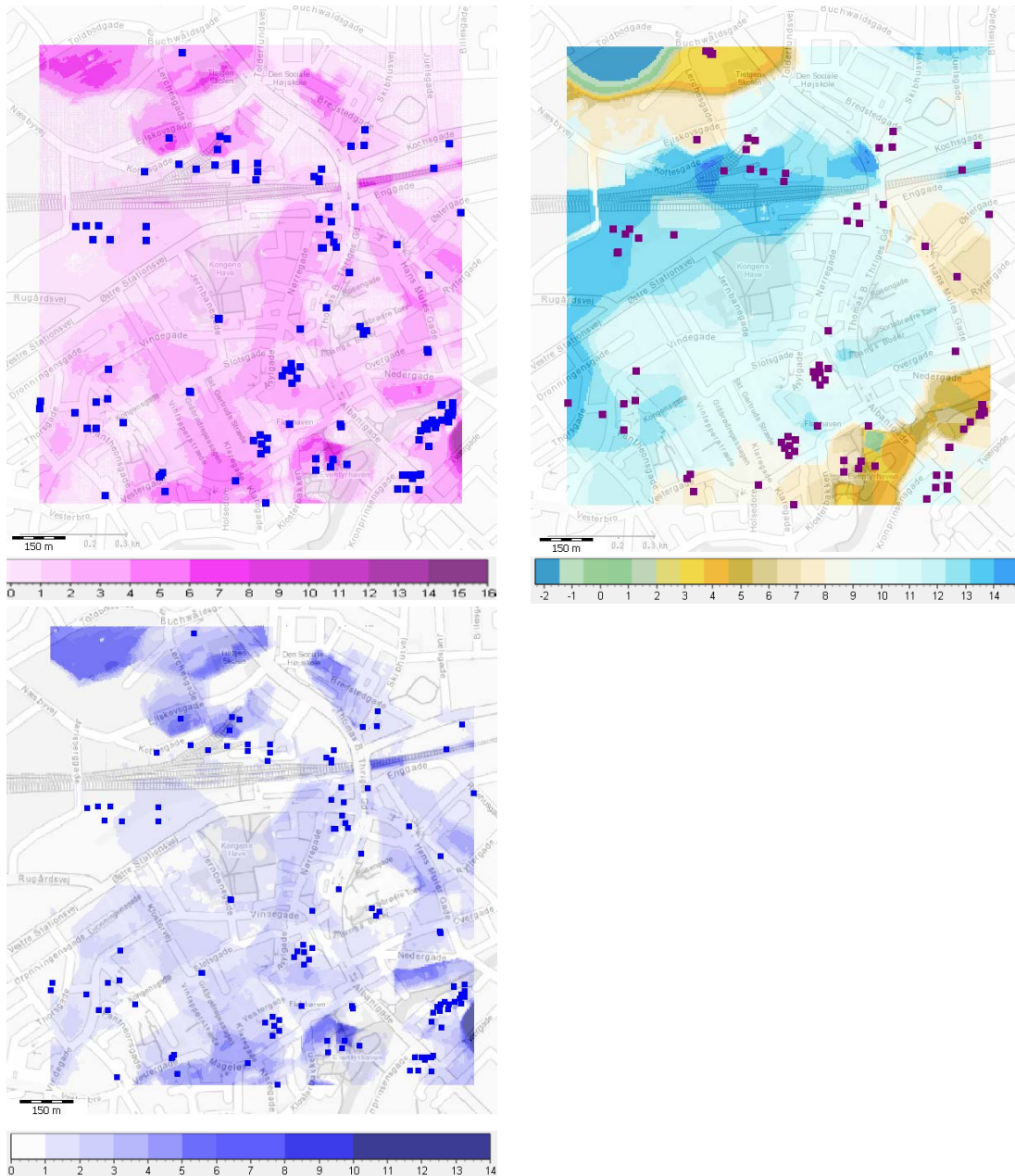
Den udarbejdede antropogene model for TBT området dækker et areal på 1200 x 1300 m, svarende til 1,56 km² og strækker sig fra kote 20 til -10. Den omfatter det antropogene lag, defineret som de jordlag, der er ændret som følge af menneskeskabt aktivitet. Voxelgriddet strækker sig fra kote 20 til -20, de enkelte voxler er 5x5x0,5 m, og griddet indeholder 3,84 mio. voxler i alt.

Tolkningerne af bunden af fyldlaget er baseret på 125 tolkningspunkter, defineret på baggrund af ca. 180 boringer.

Fyldlagets lithologi, defineret ved et anslået ler-sand forhold, er baseret på i alt 308 tolkningspunkter. Den horisontale fordeling af punkterne fremgår af Figur 39.

Voxelgriddet kan splittes i enkeltintervaller som vist i nedenstående Figur 40, hvor ler-sand fordelingen for hhv. 14,0 og 12,5 kote intervallerne er vist.

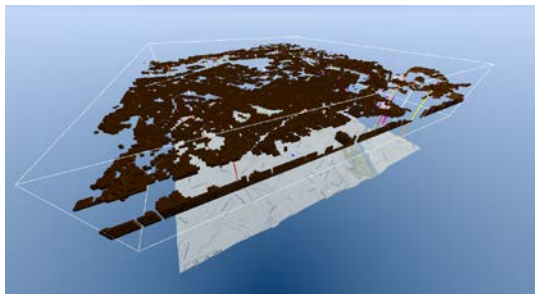
Der kan udføres volumenberegninger baseret på voxelgriddet. I nedenstående Figur 41 er beregnet det samlede volumen af voxler i kategorierne 0 % sand/100 % ler, 1-20 % sand, 20-50 % sand og 50-80 % sand, jfr. fyldlagskategorierne. Områder med 80-100 % sand findes pr. definition ikke i området. Beregningerne er lavet for det samlede voxelgrid i TBT-området, men kan sagtens begrænses til et mindre område, f.eks. en matrikel, en udvalgt del af en vejtrace eller over/under en given flade eksempelvis et grundvandsspejl.



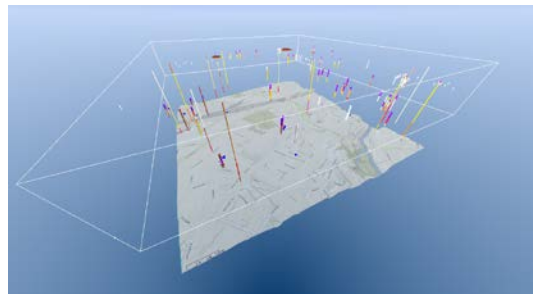
Figur 39. Fordelingen af tolkningspunkter for hhv. bunden af fyldlaget (øverst til venstre) og fyldets anslåede ler-sand fordeling (øverst til højre). Baggrundskortene viser hhv. den interpolerede flade (koter, med legende) og terrænoverfladen. Nederst til venstre ses fyldlagets mægtighed. Punkterne markerer datapunkter for hhv. bund af fyldlag samt lithologi i fyldlag (afhængigt af viste korttema).



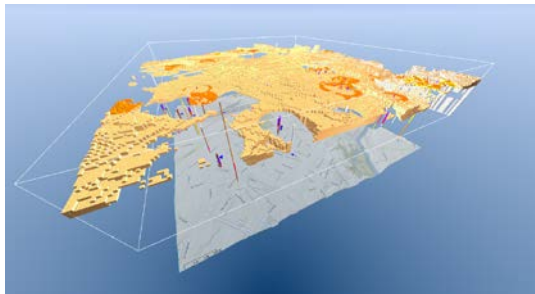
Figur 40. Eksempel på udtræk af lithologi i koteniveauer fra voxelgriddet. Snittene er vist i retningen VNV og den bagvedliggende terrænoverflade er forskudt 100 m ned.



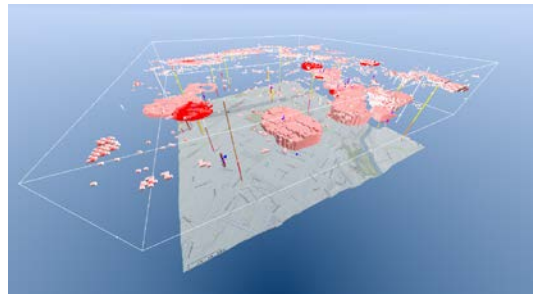
0 % sand / 100 % ler.
Samlet volumen = 630.000 m³.



1-20 % sand.
Samlet volumen = 5.200 m³.



20-50 % sand.
Samlet volumen = 1.960.000 m³.



50-80 % sand.
Samlet volumen = 387.000 m³.

Figur 41. Eksempler på visning og beregning af fyldlagskategorier i voxelgriddet (volumen af voxler inden for et givent ler-sand interval). Den bagvedliggende terrænoverflade er forskudt 100 m ned.

6. anbefalinger og konklusioner

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 fyldd typer og geologi

I nærværende projekt er det valgt at tilskrive de enkelte voxler en fylddtype, 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 fyldb beskrivelser 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 fylldtypekategorier.

Tæthed af fylldtypepunkter (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 fylldlaget er væsentlig.

Den anvendte gennemsnitsfylldtype, 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 arbejds gange. 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 fundamenter 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.

7. Referencer

- 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.
- 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
- Mielby, S., Jespersen, C. E., Ammitsøe, C., Laursen, G., Laursen, G., Jeppesen, J., Linderberg, J., Søndergaard, K., Kristensen, M., Hansen, M., Jensen, N.-P., Sandersen, P. & Pallesen, T. M., 2015:
Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Synteserapport. Udarbejdet i VTU-projektet
- 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
- 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

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

DELRAPPORT 5 INTERAKTIV MODELLERING AF ANTROPOGENE LAG

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.