

3D bymodeller

- *Anvendelsesmuligheder og produktionsmetoder*



Navn:	Thomas von der Maase
E-mail:	trm@eba-cph.dk
Studium:	Bygningskonstruktør, Københavns Erhvervsakademi
Specialeretning:	Projektering og arkitektur
Årgang/hold:	Marts 2009, 7.A
Fagkonsulent:	Rasmus Lindeneg Johansen (Cowi, Silkeborg)

Indholdsfortegnelse

Indledning	4
3D-bymodeller og bygningskonstruktøren	4
Problemformulering	4
Metode	5
Afgrænsning	5
Digital kortproduktion – en kort historisk gennemgang	6
Hvad findes der i dag af modeller	7
Hvad er en 3D-bymodel	8
Modeltyper	9
Fysiske 3D-modeller	9
Digitale 3D-bymodeller	10
3D model – type 1	10
3D model – type 2	11
3D-model – type 3	11
3D-model – type 4	12
3D-model – type 5	12
Teksturer	13
Den databaseopbyggede model	13
Anvendelsesmuligheder	14
Visualisering af projekter	14
Turisme og kulturliv	15
Tele- og kommunikation	16
Analyse	16
Beredskabsplanlægning	17
Underholdning	17
Produktionsmetoder	18
Fotogrammetri	18
Fotogrammetrisk opbyggede bygningsmodeller	19
Ortofoto	21
True ortofoto	22

Laserscanning	23
DSM (Digital Surface Model)	24
DTM (Digital Terræn Model)	25
Fuldautomatisk/semiautomatisk generering af 3D- bymodeller	26
Terrænmodel ved opbygning af 3D-bymodel af København	27
Ajourføring	28
1. Totalajourføring	28
2. Udpeget ajourføring	28
3. Løbende ajourføring	28
Udveksling af data	29
CityGML	29
Det Digitale Byggeri	31
3D modeller	31
Informationsniveauer for 3D-modeller	31
Det Digitale Byggeri og 3D-bymodeller	32
Konklusion	33
Bilag 1	35
Udvekslingsformater	35
Bilag 2	36
Software til opbygning og visualisering af 3D-bymodeller	36
Litteraturliste	38
Links	39

Indledning

Formålet med denne rapport er at give et generelt og nutidigt billede af produktionsmetoder og anvendelsesmuligheder i forbindelse med 3D-bymodeller.

Jeg har en mangeårig interesse og praktisk erfaring med opbygning af større 3D-modeller. Således lavede jeg i begyndelsen af 90'erne en af de første større 3D-visualiseringer af et bygge- og anlægsprojekt, nemlig Storebælts-forbindelsen. I 1997 lavede jeg den vel nok første 3D-bymodel af København. Modellen fandt dog aldrig nogen anvendelse.

Der har de seneste år været en stigende interesse for etablering af 3D-bymodeller. Den primære grund til at det sker i netop disse år, er at det teknisk er blevet muligt. Det har længe været muligt at lave digitale 3D-modeller, men en 3D-bymodel indeholder tusindvis af flader, og det ville være alt for tungt at opbygge med traditionelt 3D-software og det ville kræve alt for mange mandetimer og dermed økonomisk dyrt. Det har derfor været vigtigt for opbygningen af 3D-bymodeller, at der er udviklet metoder med en høj grad af automatisering. Samtidig kræver flere af de teknikker, der benyttes til opbygning af modellerne rimelig stor computerkraft, hvilket er blevet tilgængeligt inden for de sidste 10 år. Ydermere er det på brugersiden er blevet teknisk muligt med en standard pc at navigere rundt i de store modeller og med de høje hastigheder vi har på internettet i dag, kan modellerne distribueres via nettet.

Det tekniske grundlag er således på plads og samtidig ser vi et stigende ønske fra både den offentlige og private sektor om at få adgang til 3D-bymodeller i forbindelse med projekter omhandlende planlægning, visualisering og analyse af byrummet.

3D-bymodeller og bygningskonstruktøren

Det valgte emne ligger lidt i randområdet af bygningskonstruktøruddannelsen. Jeg vil derfor her kort ridse de områder op, hvor bygningskonstruktøren kan møde 3D-bymodeller i sit erhverv:

- I projekteringsarbejde, hvor en 3D-model skal indsættes i en 3D-bymodel, f.eks. som grundlag for en visuel bedømmelse.
- Ved ansættelse i en kommunal byggesagsbehandling, som benytter en 3D-bymodel i deres sagsbehandling.
- Ved krav om aflevering af digitalt materiale til den kommunale byggesagsbehandling, f.eks. som beskrevet i "Det Digitale Byggeri". Flere kommuner, her i blandt Ålborg og København, stiller krav om, at kommunale byggeprojekter projekteres og indleveres i 3D. Dette materiale kan indsættes i en 3D-bymodel.

Problemformulering

Hvad kan 3D-bymodeller bruges til?

Hvilke metoder bruges til opbygning af 3D-bymodeller?

Hvad er CityGML og hvilke muligheder ligger der i formatet?

Metode

Denne rapport vil udelukkende være teoretisk og uden praktiske forsøg. Da jeg har meget lidt forudkendskab til emneområdet, og der dermed er meget for mig at skulle sætte mig ind i, vil min opgave være overvejende beskrivende frem for problematiserende. Dette afspejles også af de spørgsmål, som jeg har stillet i problemformuleringen. Rapporten vil være baseret på vidensopsamling, dels fra offentligt tilgængelige rapporter og hjemmesider på internettet og dels fra min fagkonsulent. Hvor det er relevant, vil jeg understøtte teksten med eksempler fra konkrete projekter.

Afgrænsning

Jeg vil tage udgangspunkt i 3D-bymodellen over Københavns Kommune. Dels fordi jeg har et stort kendskab til København og dels fordi det er den 3D-bymodel, der nok er skrevet mest om i Danmark. Således vil der optræde flere konkrete eksempler på produktionsmetoder og anvendelsesmuligheder fra Københavner modellen. Da emnet må siges at gå lidt ud over pensum for bygningskonstruktøruddannelsen vil jeg forsøge at udelade de mere tekniske sider af emnet. Man kan sige, at jeg vil forsøge at afdække emnet bredt, og ikke dybt.

Digital kortproduktion – en kort historisk gennemgang

Man har siden 1980'erne arbejdet på at digitalisere 2D-kortmateriale i Danmark og internationalt, hvilket blev muligt pga. den rivende udvikling indenfor den digitale verden. I takt med at computeren, samt produktionsudstyr er blevet bedre, er det digitale kortmateriale også blevet bedre, med højere detaljegrader og præcise data. Op igennem 90'erne begyndte man at arbejde med kortmaterialet ud over det rent geografiske og udstyre kortene med en lang række eksterne data, overordnet kaldet GIS (Geographical Information system). *"GIS er et IT-værktøj, der som analyse- og visualiseringsredskab kan give overblik over data med en geografisk relation: Når data kobles til digitale kort, bliver det muligt at afdække geografiske sammenhænge i data. Hidtil ukendte mønstre kan dermed fremtræde klarere og fremme kommunikationen, fordi alle kan forstå, hvad de ser på et kort."* (Wikipedia)

Med internettet blev en lang række korttjenester med GIS-funktioner umiddelbart tilgængelige for brugerne, såsom digitale matrikelkort, kort med udtræk af BBS-oplysninger og kortvejvisere (f.eks. krak).

Sideløbende har der op igennem 90'erne og frem til i dag været en rivende udvikling indenfor 3D-visualisering. Vi så det først primært inden for tv- og filmbranchen og senere computerspilbranchen. 3D-visualisering blev også brugt til visualisering af større byggeprojekter, såsom de store broprojekter, men byggebranchen var generelt lidt langsom til at adaptere mulighederne i 3D-værktøjerne. Dette skyldes primært, at det både var tidskrævende og økonomisk tungt at fremstille modellerne og at man kun kunne bruge 3D-modellerne i visualiseringsøjemed. Men i takt med at man er begyndt at projektere byggeprojekter i 3D, og modellerne udover at kunne bruges til 3D-visualisering, også kan bruges til at producere arbejdstegninger: planer, opstalter, snit osv. har branchen taget det til sig fuldt ud.

Fra midten af 90'erne er der set flere forsøg på at lave 3D-bymodeller. Som eksempel kan nævnes, at jeg i 1997 producerede en 3D-model af København ud fra et simpelt digitalt vejkort. Projektet blev dog skrinlagt, dels var det et rent hobby-projekt og dermed ufinansieret og dels var det tydeligt, at de data, der lå til grund for modellen, var for mangelfulde og upræcise.



Figur 1a - og 1b. Tidligt forsøg på en 3D-bymodel over København (1997) - www.vondermaase.dk/vrkbh

Et andet eksempel, er, at man på arkitektskolen lavede en model over Kongens Nytorv, med et historisk perspektiv. Man kunne således opleve torvet fra 3 forskellige tidsperioder. Bygningerne var konstrueret ud fra registreringer af området og papirtegninger; planer og opstalter. Et fint

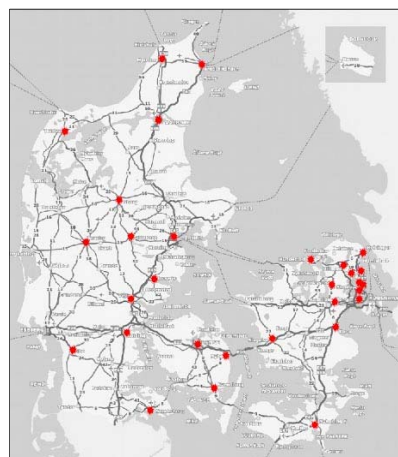
projekt, men det viste også, at det ville være helt uholdbart at konstruere en hel by på denne måde, idet det var et meget tidskrævende projekt og ville dermed også blive alt for dyr.

Hvad findes der i dag af modeller

I begyndelsen af 2001 var der i Københavns Kommune grundlag for etablering af en detaljeret 3D-bymodel over Københavns kommune. For det første havde kommunen fået henvendelse fra et antal ledningsejere og televirksomheder, som ønskede en vektorbaseret 3D-trådmodel af København. For det andet havde man i kommunen et behov for en tidssvarende bymodel. For det tredje var det tekniske grundlag i orden: dels havde man præcise digitale 2D-kort med bygningsomrids og dels eksisterede der kendte og afprøvede produktionsmetoder til etablering af 3D data, som kunne forsvares økonomisk. (Jönsson og Jensen, 2004)

Sidenhen har en lang række kommuner fulgt trop med modeller af hele eller dele af kommunen. Der findes i dag 3D-bymodeller over følgende kommuner:

Hjørring	Svendborg
Aalborg	Slagelse
Thisted	Køge
Viborg	Hillerød
Silkeborg	Allerød
Herning	Hørsholm
Århus	København
Horsens	Frederiksberg
Vejle	Frederiksværk
Kolding	Helsingør
Sønderborg	Egedal
Odense	Rudersdal
Ribe	



Figur 2 – Kort over eksisterende 3D-bymodeller

Et spændende projekt, som også bør nævnes her er, at BlomInfo har produceret en landsdækkende model indeholdende 2 mio. bygninger. Den er opbygget med en høj grad af automatisering og er baseret på en laserscannet højdemodel og bygningstemaet fra vektorkort¹.

En international søgning på 3D-bymodeller afslører et hav af igangværende eller afsluttede projekter overalt i verdenen.

Og så er der jo Google Earth: Hele verden i 3D – et rigtig spændende koncept må man sige. Ud over de 3D-byer, som standard ligger i Google Earth, f.eks. New York, så findes der en lang række byer som kan downloades og indsættes i programmet.

De førende firmaer inden for produktion af 3D-bymodeller i Danmark er BlomInfo, Cowi og Scankort.

¹ Læs mere om modellens tilblivelse under afsnittet "Fuldautomatisk/semiautomatisk generering af 3D-bymodeller"

Hvad er en 3D-bymodel

Begrebet 3D betyder at vi befinder os i det 3-dimensionelle (x,y,z) univers. Selvom 3D-begrebet ikke udelukkende bruges indenfor computerverdenen, så har det efterhånden fået den betydning i folks bevidsthed: 3D-visualisering, 3D-animationsfilm, 3D-spil osv., og det er da også sådan, det primært skal forstås i denne sammenhæng. Begrebet "model" betyder, som i andre sammenhænge, en simplificering og generalisering af virkeligheden. I tilfældet 3D-bymodel er det en visualiserbar model af eksisterende og fremtidige bygnings- og landskabsmæssige strukturer i forbindelse med en by eller et byområde. En 3D-bymodel kan både være en fysisk udskåret model og en digital model.

Der er ikke nogen klar definition på hvad 3D-bymodellerne skal indeholde eller noget klart krav til detaljeringsgrad eller nøjagtighed. Disse parametre kan variere meget i forhold til hvad modellen skal bruges til. Det er derfor vigtigt at der tages højde for målgruppe og slutbrugere før det egentlige arbejde med fremstillingen af 3D-bymodellen.

Overordnet kan man dele en 3D-bymodel op i følgende undergrupper:

- Terrænmodel
- Bygningsmodel
- Andre modeller
- Teksturer

En terrænmodel er en model af den fysiske terrænoverflade.

Bygningsmodellen beskriver de enkelte bygninger ved hjælp af geometriske grundelementer.

Bygningsmodellen kan være en trådmodel, klodsmodel eller flademodel evt. pålagt teksturer.

Andre modeller kan beskrive trafik, beplantning, byudstyr og hvad der ellers måtte være relevant i det konkrete projekt. Teksturer kan være ortofotos(luftfotos) og facadefotos (skråfotos taget fra luften eller facadefotos taget fra jorden), som draperes på henholdsvis terræn, tage og facader.

En 3D-bymodel er som regel en blanding af disse tre kategorier. En god 3D-bymodel har elementer af alle tre model-kategorier, men man vil også se modeller, der kun dækker en eller to af disse kategorier.

Problematikkerne vedr. digitale 3D-bymodeller er i dag ikke så teknisk betonet, naturligvis kan både metoder, software og udstyr videreudvikles, men den primære problemstilling ligger i dag snarere i at imødekomme de mange forskellige krav og forventninger til modellen. Vi ser derfor i dag en udvikling, der går fra den statiske CAD-model mod den intelligente model, der er objektorienteret og har en logisk sammenhæng med GIS løsninger.

En anden problematik er, at der ikke har været et fælles format til udveksling af data. Derfor har man i det internationale forum for geodata, Open Geospatial Consortium (OGC), udviklet formatet CityGML, specielt beregnet til udveksling af 3D-bymodeller. Formatet vil blive belyst senere i rapporten.

Herudover foregår der i øjeblikket et arbejde i OGC med at gøre formatet KML, som er det interne format i Google Earth og Google Map, til en OGC-specifikation.

Modeltyper

I dette kapitel vil henholdsvis fysiske og digitale 3D-modeltyper blive beskrevet.

Fysiske 3D-modeller

Fysiske modeller kan bl.a. være modeller skåret ud i træ, pap eller andet materiale og ses ofte i forbindelse med nye bygge- og anlægsprojekter. Det er en forholdsvis simpel form for model, men kan være ret anvendelig til nogle formål. Fysiske modeller kan også være baseret på en digital 3D-model som f.eks. er printet eller fræset ud. Fælles for modellerne er, at de er svære/umulige at vedligeholde. (Geoforum, Lars Flemming m.fl.)

Herunder gennemgås de forskellige typer af fysiske modeller:

Model udskåret i træ eller flamingo

Disse modeller bruges i høj grad ude på arkitekttegnestuerne i forbindelse med visualisering af bygge- og anlægsprojekter.

Som eksempel på en større fysisk 3D-bymodel, kan nævnes, at man på Stadsingeniørens Direktorat, Byplanafdelingen i København arbejdede fra 1949 og frem til 1984 på en træmodel over København. 2D-gundlaget var en papirkopi af grundkortet i målforhold 1:500 indeholdende matrikelskel, bygningsomrids og veje. En plan og hård masonitplade blev skåret op efter matrikelskel. Hver matrikelplade kunne således let tages op med bygningerne stående på for derefter at blive erstattet af en ny matrikelplade med et nyt bygningsprojekt. Bygningerne blev udført i solid mahogni.

Modellen kom til at dække næsten hele Indre by, Christianshavn, Frederiksstaden, Vesterbro nord for Ingerslevsgade, en del af Nørrevold og Indre Nørrebro samt en mindre del af Indre Østerbro. Ved arbejdets ophør havde man desuden påbegyndt etableringen i et område på Ydre Nørrebro, som imidlertid aldrig blev gjort færdig. (Jönsson og Jensen, 2004)

3D-printning

Et tredimensionelt objekt bliver skabt lag for lag og ved at forbinde successive tværsnit af materialelag. De mere avancerede 3D-printere benytter farvet pulver/materiale og kan således printe farvelagte 3D-modeller.

Udfræsning af 3D-modeller

Bruges f.eks. til opbygning af bygningsmodeller i pap eller plast. Bygningens vægge med dør- og vindueshuller, tagflader m.m. udfræses og samles til den færdige model.



Figur 3 – 3D-print af Bornholm

Digitale 3D-bymodeller

3D bymodeller har mange anvendelsesformål. De forskellige formål sætter forskellige krav til modellen, f.eks.:

- Skal modellen anvendes til byrumsanalyser og nye anlægsprojekter stilles krav til nøjagtighed i x,y,z
- Skal modellen ses i fugleperspektiv eller fra gadeplan og hvor tæt skal man kunne komme på bygningerne?
- Skal modellen distribueres via internettet i en realtime viewer (brugeren kan frit bevæge sig rundt i modellen) eller er slutresultatet en fotorealistisk rendering?
- Skal modellen bruges til analyse af f.eks. spredning af luftforurening, hvor det visuelle udtryk ikke er vigtigt?

Anvendelsesformålet samt økonomiske overvejelser (Der er store prisforskelle ved de forskellige fremstillingsmetoder af 3D-bymodeller) vil være med til at bestemme hvilken modeltype man vil vælge at bruge, til det konkrete projekt.

Der findes ikke en standardiseret type-klassificering af digitale 3D-bymodeller. Denne klassificering er baseret på Geoforums modeltyper, dog har jeg tilføjet en type 5, som er en laserscannet Digital Surface Model (DSM). Modeltyperne er klassificeret på baggrund af forskellige produktionsmetoder, samt forskellige detaljeringsgrader.

3D model – type 1

Denne modeltype er en "klodsmodel" og er den mest simple modeltype. Husene fremstår med flade tage.

Bygningerne er baseret på bygningspolygoner fra teknisk kort og rejst til deres taghøjde. (Cowi) Bygningshøjderne er taget fra BBR eller fra en Digital Surface Model (DSM)².

Modellen kan enten stå som rene "klodser", men kan også visuelt forbedres ved at drapere et ortofoto³ på bygningstage og terræn. Drapering på tagene giver en ganske god fornemmelse af tagformen. (Geoforum, Lars Flemming m.fl.)



Figur 4 – "Klodsmodel" med skyggeeffekt på terræn.



Figur 5 – "Klodsmodel" med draperet ortofoto på hustage og terræn.

² Læs mere om DSM i afsnittet "Laserscanning".

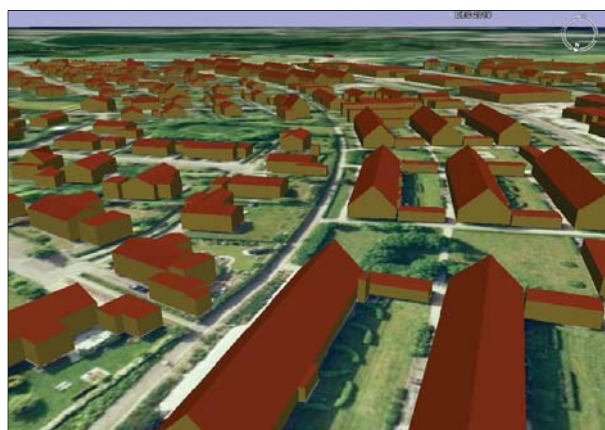
³ Læs mere om ortofotos i afsnittet "Ortofotos".

Modellen er bedst fra afstand og giver et fint indtryk af byrum. Modellen kan f.eks. bruges som kulisse til en mere detaljeret bymodel. F.eks. kunne bymidten være i en højere detaljegrad (type 3-4) og byens yderområder som "klodsmodel".

3D model – type 2

I denne modeltype er de mest basale tagflader rejst, dvs. primært saddeltag. Bygningsfacader er dannet ud fra bygningspolygoner fra et teknisk kort og tagflader er rejst automatisk eller semiautomatisk⁴ ud fra en laserscannet DSM.

For at give modellen lidt mere realisme kunne man vælge at opbygge markante bygningsværker, såsom kirker, slotte, museer og andre kendingsmærker, der vil hjælpe brugeren til at genkende bybilledet. Bygningsværkerne opbygges ud fra bygningstegninger eller vha. luft- eller terrestrisk fotogrammetri.



Figur 6 – Bygningerne står med enten flade tage eller saddeltage.

I forhold til type 1, så giver denne model et mere realistisk bybillede og vil derfor egne sig endnu bedre som kulisse end type 1. (Geoforum, Lars Flemming m.fl.)

3D-model – type 3

Denne modeltype er rejst med alle tagformer. Bygningerne er desuden suppleret med en lang række tag- og facadedetaljer, som er defineret ud fra mindstestørrelser efter aftale med rekvirenten. (Cowi, 3D bymodeller)

Bygningerne er fotogrammetrisk opbygget.

Modellen kan fremstå som nær baggrund for nye byggeprojekter. I denne model er det muligt at komme i gadeniveau og fornemme byens rum, som det kommer til at fremstå med et nyt projekt. (Cowi, 3D bymodeller)



Figur 7 – Bygninger med tag- og facadedetaljer

Denne modeltype vil normalt være fremstillet med meget høj nøjagtighed (10 cm i planen og 15 cm i højden), men det kan variere. Denne modeltype vil således, ud over det rent visuelle, også være velegnet til analyser⁵, som kræver en høj grad af geometrisk nøjagtighed.

⁴ Se afsnittet "Automatisk/semiautomatisk generering af 3D-bymodeller".

⁵ Se kapitlet "Anvendelsesmuligheder" – Her vil en lang række analytiske formål blive beskrevet.

3D-model – type 4

Denne model er geometrisk identisk med type 3. Den primære forskel er, at facaderne er tilføjet teksturer, hvilket giver et fotorealistisk udseende.

Modeltypen egner sig til at visualisere nye byggeprojekter. F.eks. er det muligt at få en god ide om hvordan facaderne på et nyt byggeprojekt spiller sammen med de eksisterende bygningers facader. (Cowi, 3D bymodeller)



Figur 8 – Facader med teksturer, samt diverse byudstyr.

Tillæg/optioner

Specielt for denne type vil det være relevant at tilføje modellen en række ekstra objekter, som kan være med til at højne det visuelle udtryk. Herunder gives eksempler på mulige tillæg/optioner:

Detaljer af bygningsmodellen:

- Udskæring af porte, broer mm.
- Altaner
- Tagudhæng
- Kældre

Bepantning:

To eller flere lodrette firkanter, som kan have følgende egenskaber:

- højde, kronens største udstrækning og trætype.
- En horisontal cirkel i kronens ydre afgrænsning placeret i kronens højde.
- Punkt i træets toppunkt.
- Computergenereret flademodel af det enkelte træ.

Byudstyr:

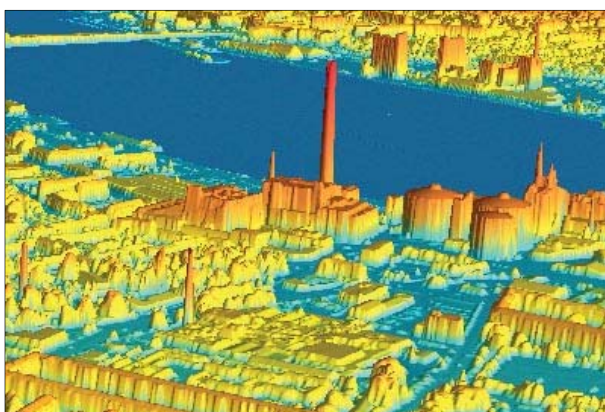
- Skilte
- Bænke
- Skraldespande
- Master
- Lyssignaler
- Overflade signatur, f.eks. kørebaner
- mm.

3D-model – type 5

Denne modeltype er en Digital Surface Model (DSM) og er skabt med laserscanning.

Den har en høj grad af nøjagtighed; ca. 15 cm i højden. (Cowi, 3D bymodeller)

I modsætning til de andre modeltyper, består denne model af rasterdata. Der kan derfor ikke modelleres videre på bygningerne eller tilknyttes attributter. (Cowi, 3D bymodeller)



Figur 9 – Digital Surface Model (DSM)

Den er ikke velegnet til visualisering af realistiske bymodeller, men er specielt egnet til analyser, såsom line-of-sight analyser i telebranchen, røgspredningsanalyser eller analyser i forbindelse med oversvømmelses scenarier.

Teksturer

For at øge modellens visuelle udtryk kan man lægge teksturer på overfladerne.

Alle vandret orienterede flader, såsom tage og terræn, kan draperes med et ortofoto. Et Ortofoto er et flyfoto, som har gennemgået en række processer, så det er blevet målfast. Dvs. at billedet er gjort kongruent med andet kortmateriale.

Lodrette flader, hvilket primært vil være facader, kan draperes enten med skråfotos (billeder taget fra luften i en 45 graders vinkel) eller med billeder taget fra jorden med håndholdte kameraer. Specielt på billeder taget fra jorden, vil der ofte være uønskede elementer, som skygger for facaden: Biler, cykler, skraldespande m.m. Disse fjernes manuelt i et tegneprogram.



Figur 10 – Fuldt tekstureret 3D-bymodel - München (Cowi)

Den databaseopbyggede model

3D-bymodeller kan bygges op omkring en database. Dette giver en række muligheder:

- Bygningsmodellen kan ajourføres vha. kommunens tekniske kort. Fra det tekniske kort hentes informationer om nedrevne/nyopførte bygninger ind i modellen, hvorved bygninger som skal ajourføres kan udpeges.
- Bygningsmodellen kan sammenknyttes med ejendomsregistre såsom BBR⁶ og ESR⁷.
- De enkelte bygninger kan tilknyttes attributter. F.eks. informationer om hvad bygningen bruges til: bolig, erhverv, kirke, museum, skole osv.

Når den geometriske model er fremstillet foretages en geokodning af bygningsmodellen. Dette gøres ved at give hver enkel bygning i modellen sin egen bygningsident. Ved at lade bygningsidenten i modellen være identisk med bygningsidenten i BBR eller kommunens tekniske kort, kan der skabes en entydig relation imellem model og database.

Det er kun modeller, hvor bygningerne er klart afgrænsede, som kan bruges i en databasemodel. Således kan 3D-model – type 5 (DSM) ikke bruges, da denne type er ét sammenhængende grid.

⁶ BBR: Bygnings- og Boligregistret

⁷ ESR er et landsdækkende register, der indeholder oplysninger om ejerforhold

Anvendelsesmuligheder

Der er en stigende interesse for etablering af 3D-bymodeller. Dette skyldes bl.a. at det er et utrolig stærkt visuelt værktøj til planlægning og visualisering af bygge- og anlægsprojekter, både i den offentlige byggesagsbehandling og for bygherren/arkitekten. Samtidig er det et stærkt analyseværktøj f.eks. i forbindelse med støj- og røgspredning samt vandspejlsstigning (aktuelt i disse globale opvarmningstider) m.m.

Det er oftest den kommunale administration, som ejer modellerne og det er også dem, som sørger for at vedligeholde modellerne.

Man har valgt forskellige strategier i de forskellige kommuner for, hvordan modellerne udbydes. I nogle kommuner, f.eks. Århus, har man valgt at lade deres model være frit tilgængelig. Men i de fleste kommuner opkræves der et gebyr for at få adgang til dele eller hele modellen. I København har man lagt en gratis lavdetaljeret model ud til download, mens en højdetaljeret model kan købes pr. ha. (Hele bymodellen af Københavns Kommune kan købes for ca. 2 mio. kr.)

Målgruppen og brugere af 3D-bymodeller findes i både den offentlige og private sektor. Herunder er eksempler på de målgrupper og fagområder, som kan have nytte af modellerne:

- Byplanlægning
- Arkitekter
- Miljø- og byggesagsbehandling
- Politisk beslutningsgrundlag
- Museums- og kulturaktivitet
- Beredskabsmæssig administration
- Teleselskaber
- Turister

Herunder gennemgås de mange anvendelsesmuligheder (Også fremtidige):

Visualisering af projekter

Planlægning og byggesagsbehandling

Dette er vel nok det område vi finder den højeste grad af anvendelse i dag. Med en 3D-bymodel får kommunens byggetekniske afdelinger et stærkt værktøj, dels i forbindelse med planlægning, dels som analyseværktøj i forbindelse med byarkitektoniske vurderinger. 3D-bymodellen kan give umiddelbar indsigt i forhold som:

- Hvordan passer byggeriet ind i det omgivende miljø mht. volumen og udformning?
- Giver byggeriet uhensigtsmæssige skyggeforhold?
- Giver byggeriet indbliksgener for de omkringliggende ejendomme?

I forbindelse med lokalplansforslag, kan kommunen benytte 3D-visualisering i dialogen med offentligheden.

Vurderingsgrundlag - projekters indvirkning på bymiljøet (VVM⁸/VVP⁹)

Med VVP bymodeller er man i stand til at sammenholde byggeriers volumen med eksisterende bygninger og vurdere proportioner og arkitekturen i bymiljøet.

"I følge planloven må visse typer af virksomheder og anlæg på land ikke påbegyndes, før kommunen eller Miljøministeriet har fastsat retningslinjer for virksomhedens eller anlæggets udformning og beliggenhed, samt godkendt/meddelt tilladelse til anlæggets etablering."
(www.vvm.dk)

Grundlag for nye arkitekt-/anlægsprojekter

Arkitekter eller bygherrer på nye større byggerier kan præsentere fremtidige løsninger i det rette miljø.

Arkitektkonkurrencer

Ved at sætte de forskellige indkomne forslag ind i en 3D-bymodel, får man et godt sammenligneligt grundlag for bedømmelse. Der er ikke mulighed for at "snyde" med visualiseringen.

Politiske beslutninger og borgerhøringer

En 3D-bymodel er et stærkt visuelt værktøj når f.eks. store bygge- og anlægsprojekter skal gennemføres. Således får både de politiske beslutningstagere og borgerne et lettilgængeligt materiale til at forstå et konkret projekts indvirkning på lokalområdet, hvilket kan lette dialogen betragteligt.

Turisme og kulturliv

Turist- og kulturinformation

Man kunne forestille sig en model, hvor brugeren kan klikke sig rundt i modellen og trække informationer ud om seværdigheder – ikke meget forskellig fra de muligheder, som allerede ligger i Google Earth. I den avancerede udgave kan man også få informationer om aktuelle udstillinger(museer o. lign), teaterforestillinger og events(musikspillesteder o. lign), som foregår i den aktuelle bygning. Det ville være oplagt at kæde en sådan model sammen med allerede eksisterende internettjenester, såsom AOK.dk

Historiske modeller

Ved at knytte modellen til BBR's ejendomsregister, kan man vha. af GIS-forespørgsler få et billede af bybilledet fra forskellige tidsperioder, idet opføringsår er noteret i BBR-registret. Dog er det ikke muligt at se de bygninger, som er revet ned for at give plads til nye bygninger. Dette kan der måske tages højde for i fremtiden, ved at "gemme" nedrevne bygge- og anlæg.

En søgning på Google afslører en masse projekter vedr. 3D-visualisering af gamle kulturelle bygningsværker og områder som f.eks. gamle bydele (nutidige eller fortidige) og arkæologiske udgravninger.

⁸ VVM: Vurdering af Virkninger på Miljøet (planloven)

⁹ VVP: Virtuel Vurdering af Planlægning

Som eksempel på en historisk model kan nævnes at arkitektskolen i 1997 lavede en model over Kongens Nytorv, med et historisk perspektiv. Man kunne således opleve torvet fra 3 forskellige tidsperioder.

Tele- og kommunikation

Teleanalyse

Ved planlægningen af placeringen af telemaster er det vigtigt at disse giver den optimale dækning af det omkringliggende område og ved visse master er det endvidere vigtigt, at der er frit sigte mellem to master (line-of-sight). Til denne analyse vil man generelt benytte sig af en god overflademodel (DSM).

GPS

Med 3D-kort kan bilisterne lettere danne sig et overblik på især ukendte steder, da der er umiddelbar genkendelighed mellem skærmens billeder og omgivelserne.



Figur 11 - 3D-navigation i en simpel demoudgave.

Analyse

Skyggediagram

Ved hjælp af en 3D-bymodel kan man generere præcise skyggediagrammer for både eksisterende og fremtidige forhold, f.eks. i forbindelse med byggesagsbehandling. Her kan sagsbehandleren f.eks. vurdere indbliksgener ved at 'gå ind i' modellen og vurdere synsvinkler fra f.eks. en ansøgt tagterrasse.

Trafiksimulering

Eksempel (Cowi, 2005): I forbindelse med etablering af den nye letbane på Ring 3 i København ønskede man en analyse af hvordan letbanen ville påvirke de trafikale forhold.

Udover en traditionel analyse i et trafiksimuleringsprogram ønskede man også at have en visualisering af projektet som grundlag for evt. offentlige diskussioner.

En detaljeret 3D-bymodel blev således kombineret med data fra trafiksimuleringsprogrammet. Resultatet var en virtuel model, som man frit kunne bevæge sig i, samtidig med at trafikken blev afviklet.



Figur 12 -3D-visualisering af de trafikale forhold i forbindelse med etablering af letbane på Ring 3.

Læs mere om projektet i rapporten "3D visualisering af trafik omkring ny letbane"

Støjberegninger

I forbindelse med nybyggeri kan det være gavnligt at få et billede af støjdbredelsen fra byggetomten. Af andre projekter hvor støjberedning kan indgå, kan nævnes vejprojektering, vindmøller og støjende industri.

Beredskabsplanlægning

Politi- og terrorberedskab

Anvendelsen kan her være i form af visualisering af koordinerede politiauktioner, evakueringsplaner mv.

Brandmyndighed

Ved hjælp af analyseværktøjer kan man simulere røgspredning, beregne tid til evakuering, såkaldt 'crowdcontrol' og egentlige brandforløb.

Miljømæssige opgaver

Med en 3D-bymodel kan man simulere forskellige scenarier og give meget præcise visualiseringer af de mest problemfyldte områder langs kysterne og i de lavtliggende områder langs åer og vandløb. Det er derfor oplagt at inddrage bymodeller/højdemodeller til kystsikring, i beredskabsplanlægningen og i forbindelse med Stormrådets arbejde.



Figur 13 – Visualisering af oversvømmet område ved en given stigning i vandstanden.

Underholdning

Computerspil

Vi har allerede set flere spil, som foregår i realistiske bymodeller fra den virkelige verden som f.eks. bilspil, der foregår i New Yorks gader eller det danskproducerede skydespil "Hitman", hvor flere af missionerne foregår på "virkelige" lokationer i bl.a. Amsterdam og Bruxelles. Og så er der jo også de altid underholdende fly-simulator spil.

Virtual Reality/Multiuser by

I stil med Second Life¹⁰ med voice- og tekstchatmuligheder og avatar, men med den klare forskel at 3D-modellen er forankret i en virkelig by. Brugere "går" rundt i gaderne og kan kommunikere med hinanden. En lang række informationer kan trækkes ud af modellen, svarende til dem der er beskrevet i punktet "Turist- og kulturinformation". Evt. kunne man lave onlinesalg fra butikkerne.

¹⁰ Second Life er en virtuel verden på internettet, hvor man deltager pr. stedfortræder – en såkaldt *avatar*, som man selv designer med køn, race, fysiske karakteristika, frisure og påklædning.

Produktionsmetoder

I det følgende afsnit vil jeg gennemgå de 3 gængse teknikker til etablering af 3D-bymodeller.

- Fotogrammetri
- Laserscanning
- Fulldautomatisk/semiautomatisk generering af 3D-bymodeller

Før produktionen af en 3D-bymodel påbegyndes er det vigtigt at alle krav og ønsker til modellens anvendelse og funktion belyses. Det er vigtigt at gøre klart, om der udelukkende er æstetiske ønsker til en 3D-bymodel eller om der også skal kunne trækkes forskellige data ud fra modellen. Skal modellen ikke bruges til visualisering, men til at køre analyser, såsom line-of-sight analyser, spredning af luftforurening eller modellering af gasudslip, behøver man ikke en dyr fotogrammetrisk opbygget model, man kan vælge at bruge en laserscannet DSM.

Således vil anvendelsen og de opstillede krav bestemme, hvilke metoder der benyttes.

Fotogrammetri

Fotogrammetri beskriver den teknik, som ved hjælp af fotografiske billeder, samt mønstre af elektromagnetisk strålingsenergi, kan udtrække informationer om genstandes geometri og beliggenhed.

Fotografierne kan både være optaget terrestrisk (fra jorden), fra fly kaldet flyfotogrammetri eller fra satellitter. Jeg vil her kun beskæftige mig med flyfotogrammetri, da dette er det mest brugte i forbindelse med opbygning af 3D-bymodeller.

Flyfotogrammetri har længe været brugt, også længe før computerens indførsel. Fra ca. 1930 udførtes en overvældende del af den topografiske kortlægning ved flyfotogrammetri. Efter 2. Verdenskrig var teknologien så udviklet at stort set alle former for kortlægning kom til at foregå på den måde. I slutningen af 1980'erne var computeren efterhånden så kraftig at en del af arbejdet kunne lægges over på den. Siden da er computerne blevet enormt forbedrede, ikke mindst på den grafiske side, og arbejdet med det grafiktunge fotomateriale er blevet lettere og mere effektivt. Samtidig er fotomaterialet, pga. nyere og bedre udstyr, klart forbedret. Dette har åbnet op for en række nye anvendelsesmuligheder indenfor fotogrammetrien, f.eks. opbygning af 3D-bymodeller.

I dag foregår fotogrammetrien fuldstændig digitalt fra optagelse til fremstilling af produkter som:

- Kommunernes tekniske kort til bl.a. bebyggelsesplanlægning
- Topografiske kort
- Ortofotos
- Højdemodeller
- 3D-bymodeller

Fotogrammetrisk opbyggede bygningsmodeller

Til opbygning af bygningsmodeller til 3D-bymodeller er fotogrammetri den klart mest anvendte metode i dag.

Kort fortalt går teknikken ud på at man ved hjælp af overlappende fotografier taget fra fly kan skabe et stereoskopisk billede i computeren. Herefter gennemgår en stereooperatør billederne og registrerer bygninger og andre elementer som f.eks. bevoksningsgrupper og enkeltstående træer.

De overlappende fotografier, skal tages på en sådan måde at man er sikker på at alle punkter er repræsenteret i mindst to efterfølgende billeder. Det optimale overlap mellem fotografierne er 60 %, og mellem flyvelinjerne er 20-30 %.

Før flyet går i luften laves en flyveplan. Her bestemmes flyvehøjden, de flyvelinjer som flyet skal følge, samt hvornår kameraet skal udløses. Dette sker automatisk vha. GPS, og skal sikre at billederne får det korrekte overlap.

Et godt billedmateriale er afhængigt af følgende faktorer:

Flyvehøjden: Detaljeringsgraden i billederne bestemmes ved flyvehøjden. Luftfoto til fotogrammetrisk brug tages fra 600-3800 m højde, alt efter hvad de skal bruges til. Til opbygning af bygningsmodeller ønskes en høj detaljegrad.

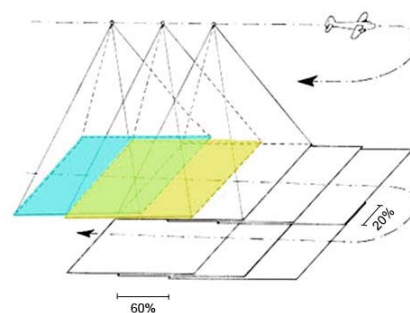
Optagetidspunkt: Luftfotografering er bedst fra midten af marts til midt i maj. Denne periode er optimal da der ikke er kommet blade på træerne, hvilket gør det nemmere at genkende og dermed registrere objekterne. (Skal billederne kun bruges til at kigge på, f.eks. til ortofotos, tages billederne om sommeren, når træerne er sprunget ud). Det skal desuden være klart vejr. Også solindfaldet har en påvirkning på resultatet. For lav solvinkel giver store slagskygger ved bygninger og andre genstande, der rager op af terrænet. Solvinklen bør derfor være over 30 grader.

Udstyr: Sidst men ikke mindst har udstyret naturligvis en del at skulle have sagt. I dag bruger man stort set kun digitale kameraer. De har selvfølgelig den fordel, at billederne ikke skal fremkaldes. Derudover har de den fordel, at man kan registrere flere forskellige spektrale områder samtidigt. Det betyder, at s/h billeder, farvebilleder og falskfarve billeder optages samtidigt. Et digitalt kamerasystem kan have op til 8 linser.

For at anvende flybillederne til kortlægning skal kameraets position(x,y,z) bestemmes. Dette gøres ved hjælp af det Globale Positioneringssystem (GPS). Der sidder således en GPS modtager i flyets kamera. Man er naturligvis interesseret i at få en så præcis positionsmåling som muligt. Dette gøres ved at pejle sig ind på så mange GPS-satellitter som muligt (op til 12 pr. måling). Da GPS-satellitterne flytter sig i forhold til jorden, måles til de samme satellitter fra en fast GPS modtager



Figur 14 – Luftfotografierne bearbejdes af såkaldte stereooperatører på COWI's kontor i Indien.



Figur 15 – Overlap skitse
(Kilde: www.scankort.dk)

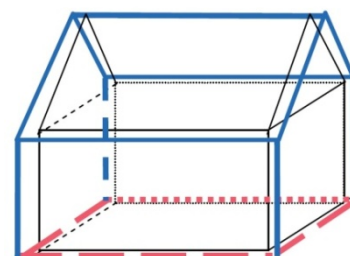
på jorden. Når kameraet udløses, gemmes de to positionsmålinger for senere at blive sammenholdt i computeren.

Udover kameraets position skal også hældningsvinkler af kameraets optageakse være kendt. Denne ydre orientering af flybilleder eller georeferering kan bl.a. bestemmes vha. paspunkter. Et paspunkt skal være af en sådan fysisk størrelse, at de kan ses på luftfotoet. Det kan typisk være et brønddæksel eller et andet synligt objekt i terræn. Paspunkternes nøjagtige positioner bestemmes vha. terrestrisk landmålerudstyr. Da dette er en dyr og besværlig proces, ønsker man at reducere paspunkterne. Dette gøres vha. aerotriangulation.

Overgangen til digitale kameraer har gjort aerotriangulation mere nøjagtig og er i dag en automatiseret proces. Grundlaget er en masse punkter som automatisk genkendes og måles i to eller flere overlappende billeder. Billederne bliver således knyttet sammen. Få paspunkter måles i billederne manuelt, og den ydre orientering af billederne beregnes vha. computersoftware.

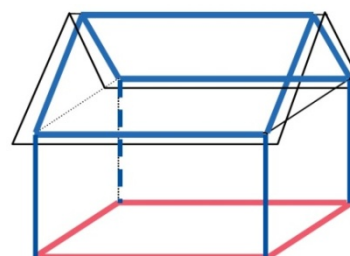
For at få en mere nøjagtig aerotriangulation og for yderligere at reducere paspunkter kan man bruge det, der hedder "Inertial Navigation System" (INS). Med INS er man i stand til at opsamle observationer om flyets rotation og bevægelser, mens man flyver. Sensorer, monteret i flyet, registrerer med høj frekvens vinkler og positionsforandringer om de tre akser. Disse såkaldte Inertia Measuring Units eller IMU's giver sammen med GPS'en den direkte georeferering af flyfotos.

Når billederne er sammenkædet og de nødvendige beregninger er udført, er der nu skabt et stereoskopisk billedmateriale som stereooperatøren kan bevæge sig i, 3-dimensionelt. Der foretages nu en manuel registrering af tagkonstruktioner, tagdetaljer (f.eks. kviste, skorstene, tårne, spir og brandkamme), samt andre objekter såsom karnapper, altaner, broer og træer. Hvad der skal med i modellen varierer fra projekt til projekt og defineres fra projektstart. Der sættes også gerne en grænse for hvor store objekter skal være for at blive registreret. Også mere avancerede geometriske former, såsom krumme og dobbeltkrumme objekter kan registreres vha. fotogrammetri.



Figur 16 – Lodlinier fra fotogrammetrisk opmålt tagomrids "Bruttobygning"

Bygningsmodellens facader skabes ved enten, at der trækkes lodlinjer fra tagomridset (bruttobygning) eller der trækkes lodlinjer fra bygningsomridset fra kommunens tekniske kort (nettobygning) til tagkonstruktion. Den sidste løsning er at foretrække da det giver et bedre redskab i den kommunale sagsbehandling: dels giver det mulighed for at ajourføre 3D-bymodellen i forhold til kommunens tekniske kort¹¹ og dels er facaderne korrekt placeret. Kun København og Frederiksberg Kommune har en sådan model.



Figur 17 – Lodlinier fra bygningsomrids fra teknisk kort "Nettobygning"

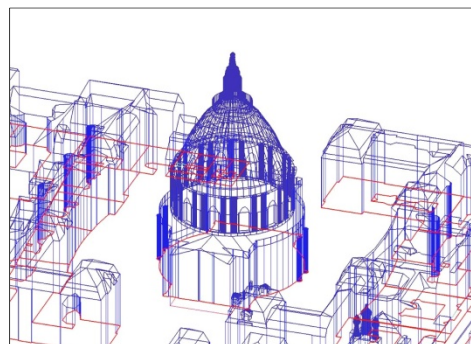
¹¹ Se afsnittet "Udpeget ajourføring"

Der er ikke tagudhæng i en fotogrammetrisk opbygget bygningsmodel.

Lodlinjerne tilpasses efterfølgende til bygningens grundrids vha. en terrænmodel.

Udover bygninger kunne man også vælge at registrere træerne. De indmåles f.eks. ved kronecentrum og med et z-koordinat svarende til træets top samt angivelse af kroneradius.

Basisproduktet, som man får ud af den fotogrammetriske registrering af bygninger og bygningsdetaljer mv., er en trådmodel. Trådmodellen er i sig selv ikke velegnet til visualisering, da bygningernes overflader ikke kan renderes (tegnes) med farver eller teksturer. Den næste opgave er derfor at skabe en flademodel. Fladerne skabes i første omgang ved en automatisk proces i computeren, hvorefter modellen gennemgås manuelt for fejl.



Figur 18 – Trådmodel af marmorkirken. De røde bygningspolygoner, der ses ved foden af facaderne er fra et teknisk kort.

Til det fotogrammetriske arbejde med opbygning af trådmodellen benyttes specielle stereoarbejdsstationer med specialdesignet software og udstyr. Når der er dannet flader i modellen benyttes traditionel CAD-software, såsom Microstation og AutoCAD¹².

Nøjagtigheden på fotogrammetrisk fremstillede bygningsmodeller er ret god. Der kan opnås en nøjagtighed på 10 cm i planen og 15 cm i højden ved optagelser i 750 m. højde. Dette burde være godt nok til enhver form for visuel og analytisk anvendelse.

Fotogrammetri er i dag den klart mest overlegne måde at fremstille detaljerede 3D-bygningsmodeller på. Da det involverer en stor mængde manuelt arbejde er meget af dette arbejde flyttet til Asien eller lignende steder med højt IT-niveau og lave lønninger.

Ortofoto

Grunden til at jeg har taget ortofotos med her er, at de kan bruges som tekstur på terrænmodel og hustage i 3D-bymodeller. Samtidig er ortofotos resultatet af luftbilleder korrigeret vha. luftfotogrammetri.

Ortofotos kender vi måske bedst fra Google Maps og Google Earth, samt fra internetbaserede kortvejvisere som krak.dk og eniro.dk, hvor ortofotos over hele Danmark, kan ses alene eller som baggrund til vektoriserede vejkort.

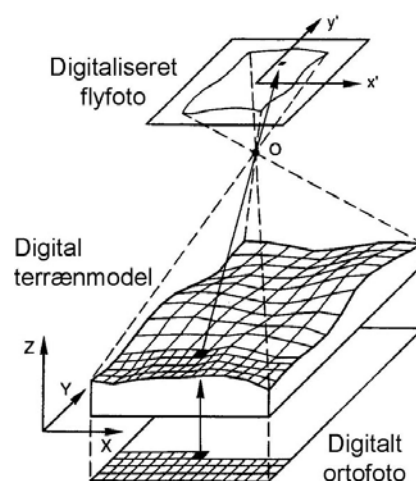
Ortofotos ligner umiddelbart almindelige luftfotos, men ortofotoet har gennemgået en række matematiske processer, der gør at de kan anvendes som kort, og dermed også anvendes i kombination med andre kort.

¹² Se Bilag 2 "Software til opbygning og visualisering af 3D-bymodeller" for en gennemgang af eksisterende software.

Til forskel fra luftfotoet er ortofotoet:

- gjort målfast, dvs. at man kan måle direkte på det.
- gjort sømløst, dvs. at luftfotoene er sammenhængende og som oftest uden synligt overlap.
- placeret i et koordinatsystem svarende til andre kortprodukter.

"Den afgørende forskel på et luftfoto og et ortofoto er, at et luftfoto er en centralprojektion, mens et ortofoto er en ortogonalprojektion. I en centralprojektion ses alle objekterne i billedet fra ét centralt punkt - linsen. Dette betyder at objekter i billedet på nær de, der er beliggende i billedmidten, mere eller mindre er taget fra siden. Endvidere giver en centralprojektion fortegninger i billedet (ved højdevariation) samt variationer af målforholdet i billedet. I en ortogonalprojektion betragtes alle punkter i billedet taget lige oppe fra - strålerne ligger parallelt. Dette sikrer et ensartet målforhold samt at variationer i højden i landskabet ikke giver fortegninger i billedet." (Geoforum, Søren Buch m.fl.)



Figur 19 – Fra flyfoto til ortofoto
(Specifikation for Ortofotos, Geoforum)

Som grundlag for fremstilling af ortofotos skal man kende billedorienteringen. Metoden til bestemmelse af billedorienteringen er den samme som beskrevet i det foregående afsnit: "Fotogrammetrisk opbyggede bygningsmodeller", nemlig ved brug af aerotriangulation fra paspunkter suppleret med GPS/INS.

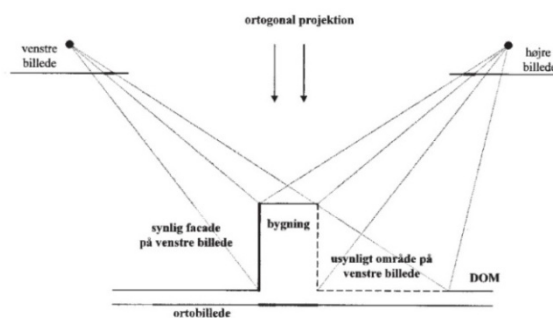
Udover billedorienteringen skal der bruges en digital terrænmodel. Nøjagtigheden af terrænmodellen har stor indflydelse på kvaliteten af ortofotos. En laserscannet terrænmodel ville være et godt valg pga. den store nøjagtighed.

Ud fra dette grundlag fremstilles ortofotoet ved at resample billedet pixel for pixel på computere med stor regnekraft.

True ortofoto

Ved true ortofoto fjernes forskydninger af objekter over jorden, såsom huse og broer. Som grundlag til fremstilling af true ortofotos benyttes enten en Digital Surface Model, en klodsmode med korrekte bygningshøjder eller en færdig 3D-bymodel.

Husfacader fjernes på baggrund af bygningsmodellen, dette efterlader et hul i billedet, som erstattes med billedinformation fra et andet billede.



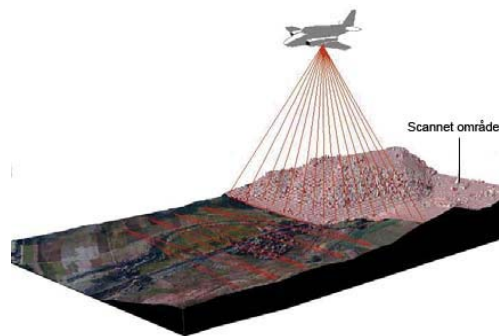
Figur 20 – "Princip ved fremstilling af true ortofotos"
"Det venstre billede har ingen billedinformation bag huset og dette område fyldes med billedinformation fra det højre billede. Husets facader fjernes, og taget er kortlagt ved hjælp af den korrekte højde (DOM højde). (Kilde: Joachim Höhle, AAU)"

True ortofotos er specielt velegnede til brug som drapering på terrænmodeller til 3D-bymodeller frem for ordinære ortofotos, da fejlplacerede tag og husfacader ikke vil rage ud under bygningsmodellen.

Laserscanning

Luftbåren laserscanning er en effektiv teknologi til at lave digitale højdemodeller med høj nøjagtighed og detaljerigdom sammenlignet med andre fremstillingsmetoder, som f.eks. fotogrammetri. Anvendelse af laserscanning i forbindelse med fremstilling af højdemodeller er forholdsvis ny (Cowi indførte teknologien i 2001).

Kort fortalt går teknikken ud på at indsamle højdedata ved hjælp af en laserscanner monteret i bunden af et fly. Under flyvning udsender scanneren laserstråler som reflekteres af det underliggende terræn og returneres tilbage til scanneren. Den tid det tager for strålen at returnere angiver afstanden til det enkelte scannede punkt. Scanneren udsender laserstrålerne med høj frekvens, mellem 100.000 til 150.000 gange i sekundet, alt efter laserudstyr, og samtidig svinger scanneren fra side til side for at scanne et bredt bælte af terrænet. Hvor bredt der scannes afhænger dels af flyvehøjden og dels af den vinkel som strålerne udsendes med. Jo højere vinklen er, jo bredere område kan der scannes, hvilket sparer flyvetid. Dog bør vinklen ikke være for stor, da der kan opstå skyggeproblemer, idet bygninger eller andre højtravende objekter kan skygge for det bagvedliggende terræn.



Figur 21 – Laserscanning af terræn.
(Kilde: Geoforum)

Under indsamling af de laserscannede punkter, måles flyets position og orientering. Dette gøres ved hjælp af INS og GPS¹³.

Følgende faktorer har betydning for et godt scanningsmateriale:

Flyvehøjden: Detaljeringsgraden af højdemodellen bestemmes af flyvehøjden. Jo lavere der flyves, jo højere punkttæthed og dermed højere detaljerigdom.

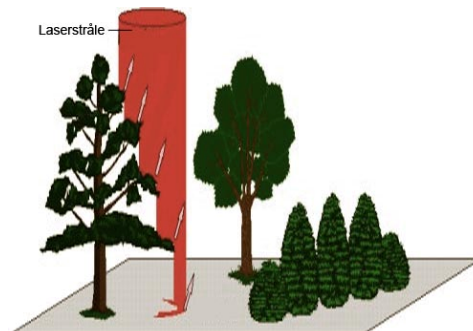
Optagetidspunkt:

- Der skal flyves under skydækket
- Træerne må ikke have for mange blade på og markerne ikke stå i fuldt flor
- Der må ikke være for meget vind
- Der må ikke være sne

Udstyr: Der er sket en kraftig forbedring af scanningsudstyret de sidste 10 år, idet scanningsfrekvensen er voldsomt forøget. Hvor scanningsfrekvensen tidligere var på 5.000 – 10.000 Hz er den i dag på 100.000 – 150.000 Hz. Dette giver mulighed for at øge flyvehøjden eller man kan udnytte den øgede frekvens til at få en højere punkttæthed og dermed højere detaljeringsgrad af terrænet.

¹³ Læs mere om positionering og orientering med INS/GPS under afsnittet "Fotogrammetrisk opbyggede bygningsmodeller"

Når laserstrålen rammer terrænet har den en diameter på typisk 30-100 cm ("footprint"). Når strålen bevæger sig igennem f.eks. vegetation resulterer det i flere målinger af den returnerede signal. Scanneren kan sættes til at registrere enten det første eller det sidste modtagne signal. Man er generelt interesseret i det sidstankomne signal, da man er interesseret i at måle til terrænet og udenom vegetation.

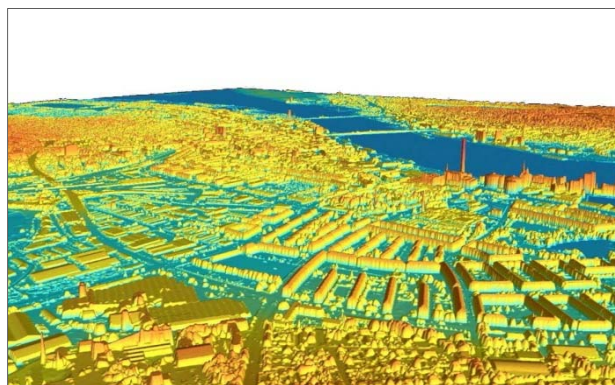


Figur 22 – Laserstråle, "footprint".

Laserscanningen kan desuden fortælle noget om hvad det er for et materiale, som er blevet scannet. Dette skyldes at forskellige overfladetyper, returneres med forskellig intensitet. Det er således muligt at bestemme om der er scannet til vej(asfalt), vegetation, bygning (teglsten på taget), trækrone mv. Det er dog svært at opstille en generel model for det scannede materialer, da flere faktorer kan indvirke på intensitetssignalet f. eks fugtigheden af det målte. Intensitetsmålinger benyttes derfor kun i begrænset omfang.

DSM (Digital Surface Model)

Det indsamlede scanningsmateriale udgør et meget stort antal punkter (punktsky), op til flere punkter pr. kvadratmeter. Der foretages nu en grundig kvalitetskontrol af punktskyen. Indledningsvis fjernes eventuelle fejldata forårsaget af f.eks. flyvende fugle og ovenlysvinduer (laserstrålerne går gennem vinduet og måler gulvet og ikke taget). Der foretages en udtynding af punkter i flade og homogene områder. Dette giver en lettere model at arbejde med, uden at nøjagtigheden forringes mærkbart.



Figur 23 – Laserscannet DSM (Digital Surface Model)

Ud fra denne punktsky, samt positions- og orienteringsdata fra GPS/INS beregnes en DSM. Som med den fotogrammetriske trådmodel, skabes der flader ved en automatiseret proces.

DSM'en indeholder højdeinformationer om terrænet, vegetation, bygninger, biler mm. Den består altså både af terrænet og de objekter, som befinder sig på det.

Modellen er ikke særlig velegnet til realistiske visualiseringer. Da den bygger på punktdata, er de forskellige elementer, herunder bygningerne ikke skarpt afgrænsede, men fremstår med bløde konturer.



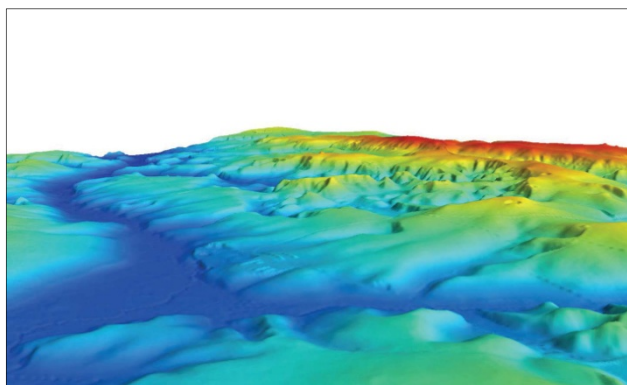
Figur 24 – DSM med ortofoto - er uegnet til realistiske visualiseringer.

Modellen har i midlertidig mange andre oplagte anvendelsesmuligheder. For det første vil en DSM normalt være et godt sted at checke bygningshøjder og andre strukturer, der ikke umiddelbart lader sig checke uden brug af traditionelle landmålingsmetoder.

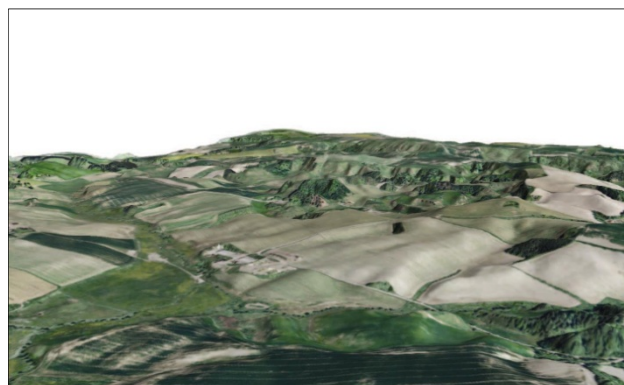
Der er også andre anvendelser, hvor det drejer sig om spredning af luftforurening eller modellering af gasudslip. Her er der ikke umiddelbart brug for en traditionel bymodel, men blot en nogenlunde nøjagtig repræsentation af bymodellens overflade. Det er også et produkt, der kan være nyttigt i forhold til modellering af havspejlsstigninger og hydrologi i øvrigt. (Geoforum, Lars Flemming m.fl.)

DTM (Digital Terræn Model)

I mange situationer er man kun interesseret i terrænet, bl.a. til brug i 3D-bymodeller eller som grundlag for fremstilling af ortofotos. Til at skabe en DTM findes der forskellige algoritmer, som automatisk kan klassificere punktdata som terræn eller ikke terræn. Algoritmerne er dog ikke fejlfrie, hvorfor modellen efterfølgende må gennemgås manuelt. Der vil i dette arbejde specielt fokuseres på f.eks. skråninger og tæt bevoksning, da det er her de fleste fejl opstår.



Figur 25 – DTM "Digital Terræn Model"



Figur 26 – DTM med draperet ortofoto (Kilde: Geoforum)

Terrænmodeller kan i forbindelse med 3D-bymodeller bruges til:

- visualisering af selve modellens terrænoverflade evt. draperet med ortofoto.
- fremstilling af bygningsmodeller. I de fotogrammetrisk opbyggede trådmodeller "tilskæres" lodlinier i forhold til terrænmodellen.
- fremstilling af ortofotos.

Både Cowi og Blominfo/Scankort har produceret detaljerede landsdækkende Digitale Terræn Modeller.

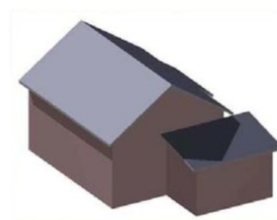
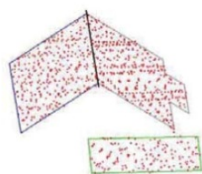
Ved laserscannede digitale højdemodeller kan der typisk opnås en nøjagtighed/usikkerhed på ca. 15 centimeter i højden. Usikkerheden i planet afhænger af punkttætheden. Scannes der f.eks. i et grid på en meter er usikkerheden 0,5 m.

Fuldautomatisk/semiautomatisk generering af 3D- bymodeller

Der er forsket en del i konstruktion af 3D bygninger ud fra laserscanningsdata og tekniske kort, og de første modeller har nu set dagens lys. Således har BlomInfo lavet en landsdækkende 3D-model af Danmark, indeholdende 2 mio. bygninger. Den store gevinst ved denne metode er naturligvis en minimering af manuelt arbejde, hvilket gør den forholdsmæssig billig. Metoden har imidlertid en del begrænsninger. Komplicerede bygninger kan ikke bygges op med denne metode. Der er problemer med at visse tagtyper såsom tage med tagpap og sortglaseret tegl

Grundlaget for generering af 3D-bygningsmodellen var:

- Top10DK (Kort- og matrikelstyrelsens landsdækkende digitale kort)
- Kommunernes tekniske kort
- En laserscannet højdemodel (med en grid på 1,6m x 1,6m)



Fuldautomatisk generering

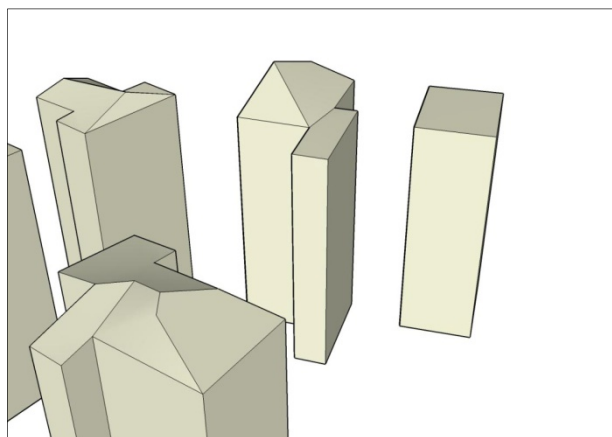
Tagfladerne i 3D-bygningsmodellen dannes ved at udtrække og filtrere informationer fra den laserscannede højdemodel indenfor bygningspolygonerne fra vektorkortet. Ud fra punktskyen beregnes tagvinklen og hvor tagfladerne støder sammen ved tagryg.

Figur 27 – Til venstre to bygninger med en stor mængde laserpunkter. Til højre de to bygninger konstrueret ud fra punkterne.

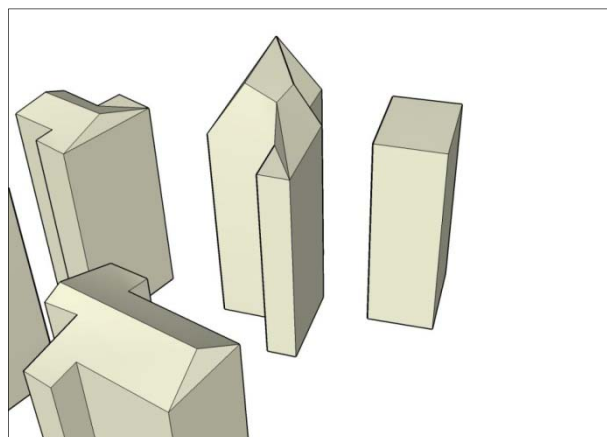
Resultatet ved fuldautomatisk generering af 3D-bymodeller er ikke altid tilfredsstillende, bl.a. fordi unøjagtigheder i de beregnede tagflader giver synligt skæve flader: tagryg ligger forskudt eller skævt i forhold til facaderne.

Semiautomatisk generering

Dette kan forbedres ved manuelt at lægge hjælpelinjer ind som angiver placering af tagryg i forhold til bygningspolygonerne. Dvs. for saddeltag lægges en hjælpelinje midt i bygningen– og parallelt med facaderne.



Figur 29 – Fuldautomatisk



Figur 28 - Semiautomatisk

I forhold til den fotogrammetrisk opbyggede bygningsmodel er denne model langt simplere og ikke særlig nøjagtig. Modellen er helt uden tagdetaljer og det er kun de simpleste tagformer, som kan genereres, saddeltag, halvtage o. lign. Mere komplekse bygninger vil fremstå med flade tage eller opbygges med andre metoder.

Men ellers må man sige, at i forhold til en simpel klodsmode, så giver denne model et langt mere realistisk billede, og kan fint bruges som baggrund for fremtidige bygge- og anlægsprojekter.



Figur 30 – Et udsnit fra Blominfo's landsdækkende 3D-model: 3D-DK

Bygningsmodellen kan suppleres med farver, tekstur eller skråbilleder på facaderne. Ortofotos kan endvidere draperes på terrænet.

Terrænmodel ved opbygning af 3D-bymodel af København

Jeg har taget dette eksempel med, da det viser at man med lidt kreativ tænkning kan finde alternative produktionsmetoder til opbygning af 3D-bymodeller ud fra allerede tilgængelige data.

Eksempel: Til rådighed ved opbygningen af terrænmodellen over København havde man en database med ca. 100.000 indmålte nedløbsriste og kloakdæksler (ca. 11 riste/dæksler pr. ha). Dæksler og riste var udover den vandrette placering, også indmålt i højden med en dækselkote. Da dæksler og nedløbsriste primært er beliggende i vejarealer blev der suppleret med et antal fotogrammetrisk målte brud- og strukturlinjer, typisk i gårdarealer og i andre arealer, hvor der var højdeforskelle i forhold til vejarealerne. På baggrund af disse data blev terrænmodellen opbygget. Det er ikke alle byer at man kan bruge en metode som denne, men i en by som København, som kun er ganske lidt kuperet var resultatet fornuftigt.

Ajourføring

Det er vigtigt at 3D-bymodellerne løbende ajourføres, dels for at kunne give det korrekte billede af, hvordan nye byggeprojekter spiller ind i lokalområdet, dels for telebranchen i forbindelse med line-of-sight analyser. (Geoforum, Lars Flemming m.fl.)

Der er forskellige strategier for ajourføring 3D-bymodeller. Det optimale ville være at modellerne løbende blev opdateret i forhold til den løbende byggesagsbehandling f.eks. ved hjælp af indleverede CAD-modeller, men praksis er i dag at modellerne ajourføres fotogrammetrisk hvert 2.-4. år. Herunder gennemgås tre strategier for ajourføring:

1. Totalajourføring

Den meste udbredte ajourføringsform i dag er fotogrammetrisk totalajourføring, som foretages hvert 2. – 4. år alt efter økonomi og behov. Producenten gennemgår hele modellen og registrerer alle synlige ændringer ud fra nye luftfotos.

2. Udpeget ajourføring

Kunden/kommunen udpeger selv de bygninger som ønskes ajourført. Det giver mulighed for kun at udpege de væsentligste bygninger (største, højeste mv.), men generelt må det være ønskværdigt at alle nyopførte bygninger ajourføres. Udpeget ajourføring er billigere end totalajourføring, men kræver at der er overblik over hvad der bygges og hvad der rives ned. (Geoforum, Lars Flemming m.fl.)

Hvis der er sammenhæng mellem bygningerne i 3D-bymodellen og det tekniske kort, kan man ajourføre 3D-bymodellen ud fra de ændringer der er foretaget på det tekniske kort. Dette er muligt da nye bygninger registreres med opførselsdato, og kan dermed bruges til at udpege, hvor der er sket ændringer, i forhold til sidste ajourføring. Dette sikrer en fortsat overensstemmelse mellem det tekniske kort og 3D-bymodellen.

(Geoforum, Lars Flemming m.fl.)

3. Løbende ajourføring

I forbindelse med den løbende byggesagsbehandling i kommunen ville det være oplagt løbende at ajourføre 3D-bymodellen. Det er i midlertidig ikke realiserbart i dag, da de fleste projekter fortsat indleveres i papirform. Det ville derfor kræve et alt for stort arbejde at modellere bygningerne op i 3D. Men i takt med at flere og flere projekter indleveres digitalt (Det Digitale Byggeri), burde der være mulighed for at denne metode kan implementeres, om ikke andet, som supplement til totalajourføring.

Den fotogrammetriske ajourføring kan formentlig ikke undværes, da den sikrer at alt kommer med, samt at bygningerne har samme detaljeringsgrad og nøjagtighed. (Geoforum, Lars Flemming m.fl.)

Udveksling af data

Udveksling af 3D-data er en vigtig del af det at have en 3D-bymodel, dels i forbindelse med udveksling af data fra producent til køber (kommuner), dels i forbindelse med videregivelse/salg til 3.part (f.eks. bygherrer, arkitekter m.fl.) (Geoforum, Lars Flemming m.fl.)

Det mest udbredte udvekslingsformat er i dag DXF/DWG, da det understøttes af en lang række softwareplatforme. Det er i midlertidig ikke et særligt velegnet format, da det f.eks. ikke kan håndtere topologiregler, objektorienterede datamodeller, teksturer m.m. Der findes flere formater, som kan håndtere disse områder (Se bilag 1: Udvekslingsformater), men de er afhængige af at blive afviklet på specifikke platforme.

Der har derfor været behov for at udvikle et standardiseret udvekslingsformat, som er platformuafhængigt og som hele branchen kan tilslutte sig. Resultatet af dette udviklingsarbejde er CityGML.

CityGML

CityGML (City Geography Markup Language) er udviklet specielt med henblik på udveksling af 3D-bymodeller.

CityGML er baseret på det åbne dataformat XML, som er et format, der kan skræddersys til lige præcis at indeholde de objekter/egenskaber/attributter mv., der er behov for.

Målet med udviklingen af CityGML er at nå til en fælles definition for de basale enheder, attributter og relationer der er behov for i en 3D-bymodel. Dette er specielt vigtigt i forbindelse med en omkostningseffektiv og bæredygtig vedligeholdelse af 3D-bymodeller og giver mulighed for at udveksle de samme data til forskellige applikationsområder.

CityGML repræsenterer ikke blot det grafiske udtryk af 3D-bymodellen, men er et samlet udtryk for de semantiske¹⁴ og tematiske forhold, samt hierarkiet i hele modellen. CityGML er således både et udtryk for en geometrisk og en tematisk model.

Den geometriske model tillader at der kan lægges en lang række foruddefinerede geometriske og topologiske egenskaber/attributter ind i de forskellige rumlige objekter i 3D-bymodellen.

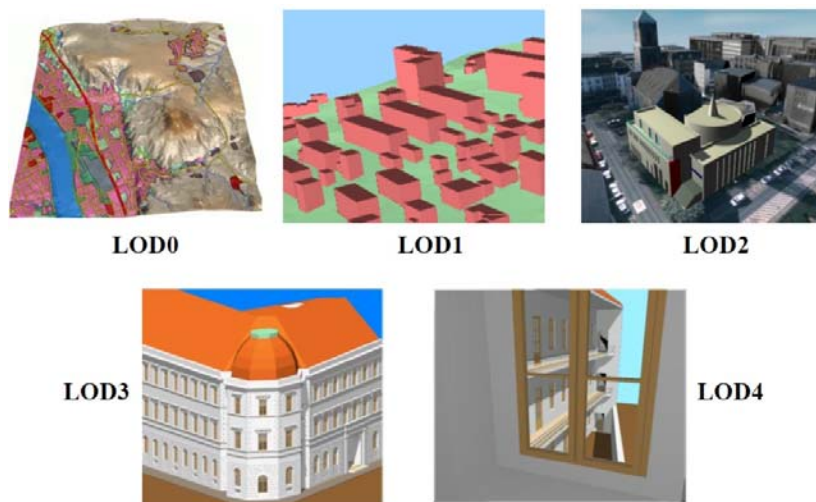
Den tematiske model indeholder definitioner for de vigtigste tematiske områder som kendetegner en 3D-bymodel, såsom Digitale Terræn Modeller, bygningsobjekter (bygninger – og i fremtiden også broer og tunneler), vegetation, vandområder(floder, kanaler, søer og bassiner), transport faciliteter og byudstyr.

Objekter, som ikke er defineret i CityGML, kan oprettes som generiske objekter og attributter. (OGC, Gerhard Gröger m.fl., 2008-08-20)

¹⁴ Den semantiske model beskriver formålet med 3D-bymodellen og hvilke informationer, der skal være tilgængelige om modellen.

Herunder oplistes en række funktioner/muligheder i CityGML:

- Objekter, som endnu ikke er defineret i CityGML, kan repræsenteres som generiske objekter og attributter.
- Der er mulighed for at lave biblioteker af objekter (f.eks. træer eller byudstyr), som kan genbruges i 3D-bymodellen.
- Objekter kan grupperes, som f.eks. flere bygninger til et bygningskompleks.
- Objekter, der ikke er modelleret som lukkede solider, kan virtuelt lukkes, i forbindelse med volumenberegninger (f.eks. tunneler og hangarer).
- 3D-objekter kan integreres med den Digitale Terræn Model på den korrekte position for at forhindre f.eks. bygninger i at hæves/sænkes i forhold til terrænet.
- Objekterne i CityGML kan repræsenteres i forskellige detaljeringsgrader, såkaldte Levels of Detail (LOD). Der differentieres mellem 5 detaljeringsgrader, jo højere LOD jo højere detaljering. Fungerer f.eks. ved at bygningerne bliver mere detaljerede, jo tættere man kommer på dem.



Figur 31 – Level of Detail (LOD)

- Udover de normale geometriske objekter, kan der laves "ikke synlige" objekter baseret på f.eks. infrarød stråling, støjforurening eller jordskælvspåvirkning. Disse "objekter" kan være resultater af analyser foretaget i forskelligt analysesoftware, og kan indsættes i modellen i visualiseringsøjemed.
- Objekter i CityGML kan tilknyttes eksterne databaser.
(OGC, Gerhard Gröger m.fl., 2008-08-20)

Den officielle version af CityGML, version 1.0.0, blev lanceret den 29. oktober 2008 af Open Geospatial Consortium (OGC), hvor det også er udviklet. Det er derfor helt nyt, hvorfor vi ikke har set det implementeret i Danmark endnu, men det er formentlig kun et spørgsmål om tid. Der går også noget tid før formatet er implementeret på de forskellige softwareplatforme med import/eksport funktion.

Det Digitale Byggeri

I dette kapitel vil primært de områder i "Det Digitale Byggeri", som har relevans for opbygning og ajourføring af 3D-bymodeleller blive beskrevet.

Det Digitale Byggeri er et regeringsinitiativ, som siden 1. januar 2007 har pålagt statslige bygherrer at stille en række krav til anvendelse af informations- og kommunikationsteknologi (IKT), som byggeriets virksomheder skal opfylde, hvis de vil byde på statslige byggeopgaver. (www.ebst.dk/detdigitalebyggeri)

Det Digitale Byggeri mål er at få virksomheder til at anvende samme data og samme tegninger i alle faser af en byggeproces. Ved at få byggeriets parter til at tale og forstå hinanden i ét arbejdsprog, kan man bedre undgå misforståelser, fejl og forsinkelser i byggeriet.

De digitale bygherrekrav omfatter en vifte af specifikke enkeltkrav, fordelt på følgende fire felter:

- udbud, tilbudsgivning og licitation via internettet
- **anvendelse af 3D modeller**
- brug af fælles projektweb
- digital aflevering af driftsrelevante data fra byggeprojektet.

3D modeller

Arkitekter og ingeniørrådgivere skal anvende 3D modeller i projekteringen, når det skønnes hensigtsmæssigt ud fra en samlet bedømmelse af økonomi og nytteværdi. Ved byggesummer over 20 mio. kr. er kravet obligatorisk.

3D modeller i projekteringen skal opfylde en række krav til indhold, informationsniveauer mv. i de forskellige faser, som bygherren skal specificere for det enkelte projekt. Modellerne skal kunne udveksles i IFC-formatet¹⁵ med mindre andet aftales.

Informationsniveauer for 3D-modeller

Der anvendes forskellige informationsniveauer i bygningsmodellen. Informationsniveauet og indholdet i bygningsmodellen hænger nøje sammen. I løbet af et byggeprojekt vil informationsniveauet stige i takt med beslutningerne vedrørende projektet. Det betyder, at mængden af information om geometri, rum og bygningsdele bliver mere detaljeret.

1. Volumenmodel - En volumenmodel beskriver bygningens geometriske grundformer
2. Rummodel - Viser bygningens rum - det vil sige bygningens nyttevolumen.
3. Elementmodel - Er en overordnet funktionel nedbrydning af bygningens bestanddele.
4. Bygningsdelsmodel - Indeholder en detaljering svarende til afklaringsniveauet ved udgangen af et projektforslag.
5. Konstruktionsmodel - Svarer til niveauet, som er nødvendig for at kunne opføre bygningen.

¹⁵ IFC-formatet er et standardiseret udvekslingsformat for byggesektoren.

Hvordan og hvilke modeltyper, der kan bruges i forbindelse med 3D-bymodeller vil blive beskrevet i det følgende afsnit.

Det Digitale Byggeri og 3D-bymodeller

Flere kommuner er begyndt, på eget initiativ, at implementere hele eller dele af kravene fra "Det Digitale Byggeri".

Kommuner, der har en 3D-bymodel, eller tænker på at anskaffe sig en, bør overveje at stille krav om aflevering 3d-data i sagsbehandlingen, da disse kan bruges i forbindelse med ajourføring af 3D-bymodellen.

Skal modellerede 3D-modeller indsættes i 3D-bymodeller, bør de have det samme udtryk (detaljeringsgrad), som bygningerne i 3D-bymodellen. Hvordan dette kan gøres, vil blive beskrevet herunder.

Volumenmodellen (Informationsniveau 1), vil umiddelbart være den modeltype, som man bør bruge i forbindelse med 3D-bymodeller. Modellen er en lukket solid, det vil sige at modellen ikke er bygget op med mure, men er blot udadvendte flader, og er uden vindues- og dørhuller. Denne model svarer nogenlunde til den detaljegrad, som de fotogrammetrisk registrerede bygninger i 3D-bymodellen har.

Det er ikke altid, at en volumenmodel kan leveres, på trods af at byggeriet er projekteret i 3D-CAD. Dette skyldes, at man i deciderede byggeCAD-programmer, modellerer bygningerne med 3-dimensionelle vægge, tagflader mv., dvs. at de elementer der modelleres med ikke blot er flader, men også har en tykkelse. Så mange gange vil den første projekterede 3D-model være en rummodel (Informationsniveau 2). Derudover er det ikke unormalt, at der frem til udgangen af projektforslagsfasen sker ændringer, som har indflydelse på byggeriets oprindelige geometri. Da man naturligvis er interesseret i, at den model man sætter ind i 3D-bymodellen svarer til det færdige byggeri, vil det sandsynligvis være bygningsdelsmodellen (Informationsniveau 4), som vil ligge til grund for den nye bygning i 3D-bymodellen.

Bygningsdelsmodellen er i midlertidig ikke særlig velegnet til brug i 3D-bymodeller, da den afviger for meget i forhold til de andre bygninger. Dels er den geometrisk tung, da den består af mange flader(polygoner) dels indeholder den vindues- og dørhuller, indervægge, etagedæk og en lang række andre bygningsdele og detaljer som man ikke er interesseret i at få med over i 3D-bymodellen. Hvis denne modeltype skal bruges, er opgaven derfor at simplificere modellen, så den i højere grad svarer til de andre bygninger i 3D-bymodellen.

Der findes ikke umiddelbart nogen kendte metoder til at foretage denne simplificeringsproces, men umiddelbart burde det være muligt. Afleveres projektet i et standardiseret digitalt format, som f.eks. IFC-formater, er alle bygningsdelene klassificeret. Dette kan bruges til at slette alle bygningsdele på nær ydervægge og tag. Derefter skal der skabes en volumenmodel ud fra den tilbageværende bygningskrop. Der findes formentlig allerede programmer/funktioner/plugins, som kan foretage dette, men ellers kan dette udvikles.

Så der er visse problematikker, som først skal løses, for at en løbende ajourføring vha. modellerede 3D-modeller kan implementeres som en del af kommunens ajourføringsstrategi i forbindelse med 3D-bymodeller.

Konklusion

Min problemformulering består af 3 spørgsmål omhandlende anvendelsesmuligheder, produktionsmetoder og udvekslingsformatet CityGML. Ud fra disse spørgsmål har jeg forsøgt at skabe et samlet overblik af 3D-bymodeller fra tilblivelse til slutbruger.

3D bymodeller kan finde anvendelse indenfor en lang række områder.

Ikke overraskende finder 3D-bymodeller stor anvendelse indenfor visualisering og analysering af nye byggeprojekter. I den kommunale sagsbehandling er det et redskab til at vurdere og analysere byggeprojekters indvirkning i det omgivende miljø. Arkitekten kan bruge 3D-bymodellen til at visualisere byggeprojekter i, og bruge det som hjælp til at vurdere materialer, farver og form i forhold til det omgivende miljø. I forbindelse med større byggeprojekter, som har stor indflydelse på bybilledet, er det et stærkt redskab, idet det kan lette dialogen mellem bygherrer, politiske beslutningstagere og borgere.

Et andet område, hvor 3D-bymodeller har fundet stor anvendelse er indenfor telebranchen, som bruger 3D-bymodeller som grundlag for placering af telemaster i byrummet. Dette har lettet deres arbejde med opsætning af master med line-of-sight, idet man før brugen af 3D-bymodeller, var nødsaget til manuelt at vurdere line-of-sight fra tagene. Telebranchen har fra fremstillingen af de første 3D-bymodeller haft stor interesse i at benytte 3D-bymodellerne og har dermed også været med til at finansiere nogle af modellerne.

Indenfor det miljømæssige område kan 3D-bymodeller bruges til en lang række simuleringer, såsom støjberegninger, spredning af giftige gasser og vandspejlsstigninger. Specielt simulering af vandspejlsstigninger er relevant, da det kan give meget præcise situationsbilleder ved eventuelle fremtidige stigninger af havene i forbindelse med nedsmeltning af polerne.

I fremtiden vil vi evt. se 3D-bymodeller anvendt i GPS-produkter, turistsites og computerspil. Der vil, i fremtiden, formentlig også udfoldes nye spændende anvendelsesmuligheder, men det må fremtiden jo vise.

De primære produktionsmetoder til fremstilling af 3D-bymodeller er luftfotogrammetri og laserscanning. Begge metoder er baseret på indsamlet data fra fly. De to metoder, har hver deres styrker, og er begge med til at skabe grundlaget for detaljerede 3D-bymodeller.

Fotogrammetri er specielt velegnet til opbygning af detaljerede og nøjagtige bygningsmodeller. På trods af at metoden involverer mange mandetimer, er der ingen alternative metoder, som kan modsvare denne i forhold til økonomi/nøjagtighed.

Laserscanning er specielt velegnet til at producere detaljerede og nøjagtige terrænmodeller. Produkterne ved laserscanning er henholdsvis en Digital Surface Model (DSM) og en Digital Terræn Model (DTM). DTM'er kan bruges til både at fremstille den fotogrammetriske bygningsmodel og som det underliggende terræn for bygningsmodellen i den færdige 3D-bymodel. DSM'er kan bruges i forbindelse med en lang række simuleringer og beregninger, samt til automatisk/semiatomatisk generering af bygningsmodeller. Metoden er løbende forbedret igennem de sidste 10 år, primært pga. forbedret laserscanningsudstyr, og denne udvikling vil formentlig fortsætte et stykke ud i fremtiden.

Den sidste beskrevne metode, automatisk/semiatomatisk generering af bygningsmodeller er baseret på tekniske kort og en DSM. Den er interessant til at bygge modeller, som strækker sig over store områder. Metoden giver modeller med kun ringe nøjagtighed og detaljeringsgrad i forhold til den fotogrammetriske metode, men kan man leve med dette er det også muligt for Ugerløse at have en 3D-bymodel. Med brug af bedre laserscanningsdata, mere præcise tekniske kort, samt en kraftig forbedring af software til at "forstå" og beregne på informationer fra DSM, vil vi i fremtiden måske se denne metode anvendt i højere grad.

CityGML er det første standardiserede udvekslingsformat, som retter sig specielt mod udveksling af 3D-bymodeller. Således er alle de behov og krav, som en moderne 3D-bymodel skal kunne opfylde, forsøgt indeholdt i formatet, såsom en standardiseret klassifikation af geometriske objekter, mulighed for differentieret detaljeringsgrad, mulighed for tilknytning til eksterne databaser, understøttelse af topologiske strukturer, attributter og teksturer m.m. CityGML-formatet er ret nyt, hvorfor der vil gå lidt tid, før vi ser det implementeres i Danmark.

Jeg ser udarbejdelsen af CityGML, som en vigtig brik i forståelsen af 3D-bymodeller. Det at mulighederne/funktionerne er definerede af formatet og ikke af den pågældende softwareplatform, man benytter sig af, er med til at udfolde den fælles forståelse for hvad 3D-bymodeller kan indeholde og hvad de kan bruges til. I den digitale 3D verden, hvor stort set alt er muligt, stiller CityGML nogle rammer op for hvad der er muligt – og det er smart, både for forståelsen og for selve arbejdet med 3D-bymodeller.

Bilag 1

Udvekslingsformater

Herunder oplistes de mest udbredte udvekslingsformater i dag, med kommentarer om anvendelighed.

Udvekslingsformat	3D softwareunderstøttelse	Fakta
DXF/DWG	Alle større CAD/GIS og visualiserings softwareprodukter.	Meget udbredt udvekslingsformat. Kan ikke håndtere topologiregler, objektorienterede datamodeller, tekstur m.m. DXF er ASCII format
DGN (v7 og v8)	Bl.a. Microstation, Intergraph og ESRI produkter.	Kan håndtere topologiregler, Objektorienterede datamodeller, tekstur m.m.
DSFL	Dansk format, hvor der skal bruges specialudviklede konverteringsapplikationer før softwareprodukterne kan læse dette format. FME kan ligeledes læse DSFL.	Er udviklet til udveksling af grundkort (TK99), men kan også anvendes til 3D-bymodeller uden tekstur. Anvendes kun i DK. DSFL er et ASCII format.
GML	De fleste større GIS og 3D software produkter har implementeret dette format. I skrivende stund med begrænset funktionalitet.	Optimal standard til udveksling af geodata. Understøtter topologiske strukturer, attributter m.m.
CityGML	Autodesk LandXplorer Studio Professional er specielt udviklet med henblik på opbygning af 3D-bymodeller i CityGML formatet. Der mangler generel understøttelse af formatet i GIS og 3D software produkter, men det er kun et spørgsmål om tid.	Optimal standard til udveksling af 3D-bymodeller.
MAX (3DS)	3D Studio Max formatet er tilknyttet den enkelte version af programmet – kan næsten kun bruges i 3D Studio Max. 3DS formatet er understøttet af mange visualiserings programmer. Kan ikke håndtere lange filnavne.	MAX og 3DS formaterne er velegnet til udveksling af visualiseringer. Dog bør der arbejdes i et lokalt koordinat system omkring 0,0. Fordi formaterne ikke kan håndtere lange koordinater som f.eks. UTM.
KML	Google Earth formatet kan læses af bl.a. Google Earth, Google Map, ESRI ArcGIS Explorer og AutoCAD	Understøtter topologiske strukturer, attributter, teksturer m.m.

Kilde: "Geoforums vejledning i etablering af 3D-bymodeller" – Formaterne CityGML og KML er tilføjet listen.

Bilag 2

Software til opbygning og visualisering af 3D-bymodeller

Software til opbygning/vedligehold af 3D-bymodeller

Til opbygning og vedligehold af den grundlæggende 3D-bymodel kræves et 3D-CADværktøj.

Det mest almindelige valg vil her være Autocad og MicroStation.

Programmerne har stort set den samme 3D CAD-funktionalitet, så afgørende for valget vil især være om man har et af programmerne i forvejen, og om der findes nogle 3.-parts programmer som understøtter processen samt ikke mindst om de programmer, man skal viderebearbejde/visualisere/publicere i, stiller særlige krav.

Software til visualisering og analyse

Ovennævnte CAD-værktøjer giver visse muligheder for visualiseringer, ikke mindst når der er tale om still-billeder. De stiller dog ret store krav til brugerens færdigheder, så ofte vil man visualisere og analysere i et andet program eller anskaffe en plugin til CAD-programmet, der giver yderligere funktionalitet. I det følgende vil forskellige programmer og plugins blive beskrevet:

Program/plugin	Beskrivelse
Turntools:	Er en dansk plugin til AutoCAD og Microstation, samt en lang række andre 3D-programmer, der gør det muligt at eksportere modellen til et format, der kan ses med en gratis viewer. I vieweren kan man bl.a. bevæge sig frit rundt i modellen. Vieweren kan enten håndtere data lokalt eller over nettet.
ESRI 3D analyst	Er ESRI's bud på et 3D analyse og visualiseringsprogram. Programmet har især nogle meget stærke analyse faciliteter.
Engage 3D	Er et 3D plugin til MapInfo. Programmet har især nogle meget stærke analyse faciliteter.
Vertical Mapper	Er et 3D plugin til MapInfo. Er dog mest velegnet til terrænmodeller, og kun i begrænset omfang anvendeligt til 3D-bymodeller.
Autodesk 3D studio/Viz	3D studio/viz er markedsledende programmer når det gælder visualiseringer af meget høj kvalitet. Herunder ikke mindst animationer/fotorealistiske film. Har ingen analysefaciliteter.
Google SketchUp	Findes dels i en gratis dels i en købeversion med ekstra funktionalitet. Programmet giver mulighed for at visualisere 3D modeller på en meget brugervenlig og intuitiv måde. Har ingen analysefaciliteter.
Skyline Terra Explorer	Findes dels i en forfatter-version (TE Pro), dels i en viewer. Kan også anvendes i.f.m. visualiseringer over nettet. TE Pro er især velegnet til opbygning af modeller, som brugeren frit kan bevæge sig rundt i. Og med en god bredbåndsforbindelse kan brugeren håndtere modellen over nettet.
Autodesk LandXplorer Studio Professional	Findes dels i en forfatter-version, dels i en viewer (Autodesk LandXplorer Xpress Viewer). Er specielt udviklet med henblik på opbygning af 3D-bymodeller i CityGML formatet.

Realtime viewere (Virtual Reality)

Realtime viewere er standalone programmer eller plugins til webbrowseren, som gør det muligt at bevæge sig frit rundt i 3D-modeller. Viewerne er tilpasset bestemte filformater og kan således kun vise 3D-modeller, som specielt er lavet til den pågældende viewer. - Se det forrige afsnit.

Viewer	Beskrivelse
ESRI ArcGIS explorer	
Skyline Terra explorer /Globe	Gratis plugin, der giver mulighed for at se og frit bevæge sig rundt i de modeller der er opbygget i Terra Explorer pro.
Turntools	Turntool (Toolbox) kan installeres som plugin til en lang række 3D-programmer og giver mulighed for at eksportere til Turntool-formatet. Via en gratis plugin til webbrowseren kan brugeren frit bevæge sig rundt i modellen.
Google earth	Gratis viewer. Skulle være kendt af de fleste. Men ud over den 'almindelige funktionalitet' er der mulighed for at opbygge og publicere egne datasæt som f.eks. 3D-bymodeller.
Microsoft virtual Earth	Microsofts pendant til Google Earth. Det er ret nyt, så udviklingspotentiale og –strategi er lidt uafklaret. Kunne meget nemt blive relevant på et tidspunkt.
Autodesk Landexplorer Xpress Viewer	En gratis realtime viewer, der gør det muligt at bevæge sig frit rundt i 3D-bymodeller, som er lavet i CityGML-formatet.
VRML97/X3D-viewere	VRML(Virtual Reality Modeling Language) er et standardiseret filformat til beskrivelse af 3D-modeller. X3D er en videreudvikling af VRML97, baseret på XML. VRML/X3D viewere er generelt en plugin til webbrowseren, men kan også fås som standalone viewere. De førende VRML-viewere er cortona3d og BS Contact.

Kilde: "Geoforums vejledning i etablering af 3D-bymodeller" – Teksten er lettere redigeret.

Litteraturliste

Geoforms vejledning i etablering af 3D-bymodeller – Geoforum

Af Lars Flemming, Cowi m.fl.

3D bymodeller – Produktionsmetoder og anvendelsesmuligheder – Perspektiv nr. 3, 2003

Af Jesper Rye Rasmussen, BlomInfo A/S

3D-bymodel over København - opbygning og anvendelse – Perspektiv nr. 6, 2004

Af Göran Jönsson og Niels Peter Jensen, Københavns Kommune

Visualisering af byudviklingen – Perspektiv nr. 10, 2006

Af Jesper Rye Rasmussen, BlomInfo A/S

Kortlægning - fortid, nutid og fremtid - Perspektiv nr. 5, 2004

Af Hanne Brande-Lavridsen, Aalborg Universitet

Fotogrammetrien efter den 20. ISPRS kongres - Perspektiv nr. 8, 2005

Af Joachim Höhle, Aalborg Universitet

Digital luftfotogrammetri

Af Christian Daugaard Larsen, KEA – Kort- og landmåleruddannelsen

Ortofoto - Perspektiv nr. 8, 2005

Af Søren Buch, BlomInfo A/S

Højdemodeller og laserskanning - Perspektiv nr. 8, 2005

Af Johnny Koust Rasmussen, Geoinformation, Scandinavia, COWI A/S

Geoforum nr. 99, december 2008, "Mere end to millioner bygninger i 3D er en realitet!"

Af Jesper Rye Rasmussen, BlomInfo A/S

Københavns kommunes digitale tekniske kort og 3D-bymodel – beskrivelse og specifikationer
Version 2004-07-04

OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, OGC (2008-08-20)

Af Gerhard Gröger m.fl.

3D visualisering af trafik omkring ny letbane

Af Ole Munk Riberholt, Cowi

Links

<http://www.geoforum.dk>

<http://www.cowi.dk>

<http://www.blominfo.dk>

<http://www.scankort.dk>

<http://www.3dgi.dk/cms/wiki/4-DSY.html>

<http://www.hpi.uni-potsdam.de/doellner/projects.html>

CityGML

<http://www.citygml.org>

<http://www.3dgeo.de/default.aspx>

<http://www.virtualcitysystems.de/en.html>

Det digitale byggeri

<http://www.ebst.dk/detdigitalebyggeri>

<http://detdigitalebyggeri.dk>

<http://www.digitalkonvergens.dk>

Eksempler på 3D-bymodeller

<http://www.br.kk.dk/Service/By%20og%20Trafik/Bykort/3D%20bymodel.aspx>

http://www.dresden.de/en/02/06/05_google.php

<http://digitalurban.blogspot.com/search/label/Crysis>

<http://www.3d-stadtmodell-berlin.de>