

## 3D-bymodel over København - opbygning og anvendelse

Göran Jönsson og Niels Peter Jensen, Københavns Kommune

*I begyndelsen af 2001 traf Københavns Kommune beslutning om at etablere en detaljeret, digital 3-dimensional bymodel over Københavns Kommune. Den konkrete anledning var en henvendelse fra et antal ledningsejere og televirksomheder, som ønskede at anskaffe en vektorbaseret og kommunedækkende 3D-trådmodel af København.*

*Københavns Kommune var i stand til at træde ind i projektet med kort varsel. Kommunens eget behov for en operationel og tidssvarende bymodel var nemlig ikke til diskussion.*

*Allerede kort tid efter 2. verdenskrig havde Stadsingeniørens Direktorat, Byplanafdelingen konstateret et behov til planformål. Arbejdet blev iværksat i 1949 på eget modelsnedkerværksted. 2D-gundlaget var en papirkopi af grundkortet i målforskel 1:500 indeholdende matrikelskel, bygningskontur og vejafgrænsning samt en plan og hård masonitplade. Sidstnævnte blev skåret op efter matrikelskel, idet man allerede dengang var opmærksom på behovet for objektorientering. Hver matrikelplade kunne derfor let tages ud af modellen inkl. påstående bygning(er) med henblik på at give plads til nye projekter med egen tilhørende matrikelplade. Men modellen indeholdt således ikke nogen terrænmodel. Bygninger blev udført i solid mahogni i samme målestok, idet der dog måtte snydes med bygningshøjderne for at kompensere gesimshøjden for højdeforskelle i terrænet. Modellen kom over en årrække 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. Ajourføringsmanglerne i mange af de først etablerede områder var efterhånden blevet for iøjnefaldende og hele projektet blev indstillet i 1984.*

*Derfor blev det naturligvis hilst velkommen af Københavns Kommunes planlæggere, da Stadskonduktørembedet den 12. november 2001 kunne meddele, at alle nødvendige kontrakter var indgået vedrørende produktion og salg af en kommunedækkende digital 3D-bymodel.*

### 3D-bymodellens opbygning

Bymodellen er fremstillet på grundlag af kommunens tekniske kort, eksisterende terrændata og fotogrammetrisk registrerede terrændata, tagformer og bevoksninger.

Ifølge kravspecifikationen for bymodellen skulle der tages udgangspunkt i det allerede eksisterende digitale tekniske kort, således at der blev opnået fuldstændig geometrisk sammenhæng mellem det tekniske kort og bymodellen.

Bymodellen er således etableret på grundlag af bygnings-temaet i kommunens tekniske kort i 2D samt en database

med ca. 100.000 indmålte nedløbsriste og kloakdæksler (= 11 riste/dæksler pr. ha). Bygningerne i det tekniske kort samt nedløbsriste og kloakdæksler er opmålt terrestrisk. Bygninger er derfor målt til glat mur; dæksler og riste er desuden indmålt i højden (koteret).

### Kotesupplering af det tekniske 2D-kort.

Fremstillingsprocessens første trin var at skabe en digital terrænmodel, der kunne bruges til at påføre koter på 2D-registreringerne i det tekniske kort ved interpolation i terrænmodellen. Terrænmodellen blev etableret på grundlag

af de førnævnte 100.000 indmålte nedløbsriste og dæksler. Da disse fortrinsvis er beliggende i vejarealer blev datagrundlaget for terrænmodellen suppleret med et antal fotogrammetrisk målte brud- og strukturlinier, typisk i karreers gårdarealer og i andre arealer, hvor der i forhold til vejarealerne er højdeforskelle, der er af betydning for en korrekt registrering af bygningers bundkoter.

### Bygningstrådmodellen

Fremstillingsprocessens næste trin var at skabe en 3-dimensional trådmodel af alle bygninger. Dette blev gjort ved fotogrammetrisk

måling af tagkonstruktioner og en maskinel dannelse af lodlinier mellem punkterne i bygningernes bundomrids i det tekniske kort og målte punkter i tagkonstruktionerne. Billedgrundlaget for den fotogrammetriske registrering var flyfotos optaget med vidvinkelkamera i billedmålestok 1:5.000.

For terrestrisk indmålte bygninger registreres tagomridset på tagoverfladen langs den linie, hvor det lodrette plan gennem en bundlinie skærer tagfladen. Alle punkter i bygningers bundomrids registreres med fastholdte x- og y-koordinater (2D-snap) på tagoverfladen. For fotogrammetrisk indmålte bygninger (bygninger, som ikke er målt terrestrisk og registreret i det tekniske kort) registreres tagomridset langs tagkanten. I tagomrids registreres desuden mellem-punkter ved højdeforskelle og spring > 45 cm mellem nabopunkter. Bundomridset til fotogrammetrisk indmålte bygninger dannes ved at projicere tagomridset på terræn. Lodlinierne mellem punkter med identiske x- og y-koordinater i bund- og tagomrids dannes maskinelt.

3D-registreringen af en terrestrisk og en fotogrammetrisk opmålt bygning resulterer i henholdsvis »nettobygninger« og »bruttobygninger«, som vist i figur 1. I erkendelse af, at »nettobygninger« generelt er overlegne som redskab i den kommunale sagsbehandling, men totalt set dyrere at registrere end »bruttobygninger«

ne«, har Københavns Kommune valgt en kortlægningspolitik, hvor store bygninger måles terrestrisk og små bygninger (udhuse, carporte og garager) måles fotogrammetrisk.

Udover tagomridset indeholder bygningstrådmodellen følgende registreringer i tagkonstruktionerne:

- Tagkip.
- Knæklinier på ikke plane tagflader, hvis pilhøjden er  $\geq 45$  cm.
- Tagdetaljer (fx kviste, skorstone, tårne, spir og brandkamme).

For tagdetaljerne er der fastsat bagatelgrænser. Kviste og andre tagdetaljer registreres, hvis de har en udstrækning på mere end 3 m i planen eller i højden. Brandkamme registreres, hvis de er > 30 cm tykke og > 80 cm høje. Skorstone registreres, hvis de er > 3 m høje. Tekniske installationer på tage i form af fx ventilations- og køleanlæg registreres ikke.

Ved store cylindriske, kugleformede eller andre krumme tagformer registreres et antal

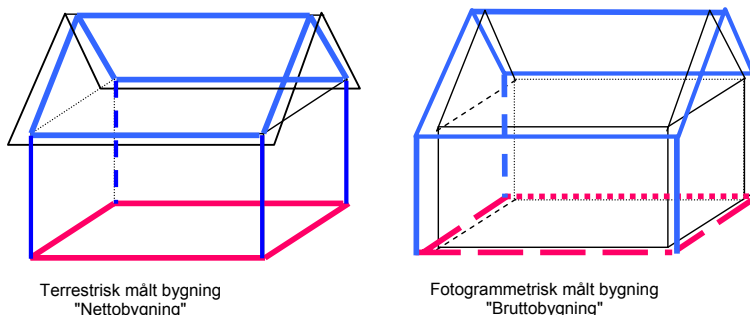
linier, således at de plane flader mellem linierne afviger fra taget med en maksimal pilhøjde på 20 cm målt vinkelret på den plane flade. Kegleformede tagformer registreres med tilsvarende detaljeringsgrad. I bygningstrådmodellen registreres desuden karnapper, som kan ses stereoskopisk og har en afvigelse fra bygningens grundlinie i dybden på mindst 0,8 meter.

### Bevoksningsmodellen

Den digitale 3D-bymodel indeholder også en bevoksningsmodel. I denne er alle træer over 4 m i højden indmålt ved kronecentrum og med en z-koordinat svarende til toppen af træet samt angivelse af kroneradius ved en attribut. For større grupper af træer og skove er trægruppens/skovens ydre afgrænsning registreret og indenfor denne afgrænsning er bevoksningens overflade registreret ved "højdekurver" med en ækvidistance på 5 m.

### Den objektorienterede bygningensflademodel

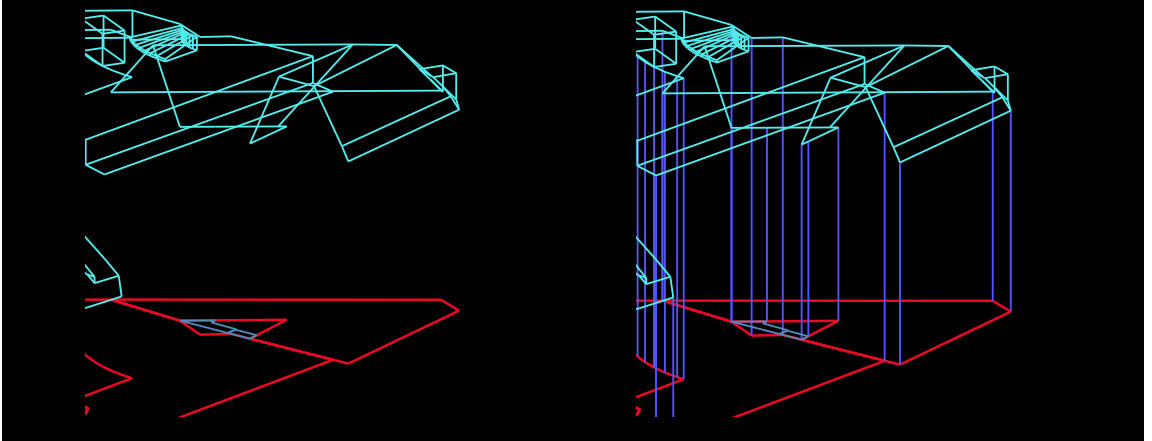
Da trådmodellen i sig selv ikke er velegnet til visualisering af bygninger og bebyggelsesmil-



Figur 1. Billeder af »netto- og bruttobygning«

Fotogrammetrisk målte tagkonstruktioner og bygningers kotesupplerende bundomrids i det tekniske kort.

Maskinelt dannede lodlinier mellem tagomrids og bundomrids.



Figur 2. Billede af trådmodel

jøer var det nødvendigt at danne flader, således at den enten kunne farvefyldes (renderes), forsynes med teksturer til illustration af væg- og tagmaterialer eller forsynes med fotomontager. Manuel fladedannelse viste sig hurtigt at være en meget tidskrævende proces. Derfor blev der udviklet rutiner til maskinel fladedannelse af alle bygningstrådmodellens ca. 125.000 bygninger.

I bygningstrådmodellen er bygningens ydre 3-dimensionale afgrænsning mod det fri defineret ved polygoner af sammensnappede linieobjekter. For at skabe grundlag for rendering, tekstur- og fotomontager blev polygonerne inddelt i trekantede. Teknisk set svarer fladedannelsesrutinen til den, som benyttes ved fremstilling af digitale terrænmodeller.

De dannede flader i bygningsflademodellen er organiseret i

3 objekttyper:

- **Bygning Facadeflade**, som omfatter alle lodrette flader, fx vægge, gavle og lodrette sider på tagdetaljer
- **Bygning Bundflade**, som omfatter alle flader indenfor bygningens bundomrids.
- **Bygning Tagflade**, som omfatter alle ikke lodrette flader i tagkonstruktionerne.

Disse tre objekttyper beskriver en bygningskrops ydre afgrænsning mod det fri. De flader, som beskriver en bygning, påføres en og samme objektident. Den er identisk med objektidenten på bygningen i det tekniske kort. Objektidenterne er foreløbige og udskiftes i takt med at kommunen geokoder bygningerne i det tekniske kort med BBR's stabile tekniske bygningsident.

### Den digitale 3D-bymodel

Ved de strenge krav om snap og dermed geometrisk sammenhæng mellem det kotesupplerede tekniske kort, bygningsflademodellen og terrænmodellen kan disse tre datasæt sættes sammen til en digital 3D-bymodel. Denne kan desuden suppleres med bevoksning, når der på baggrund af bevoksningsmodellens træregistreringer er blevet dannet 3-dimensionale træer.

### Fotorealistic 3D-bymodel

I forbindelse med en igangværende reovering af Kongens Nytorv og projektkonkurrencen om en broforbindelse mellem Opera København på Dokøen og det planlagte skuespilhus på Kvæsthusbroen (se figur 3) har Københavns Kommune gennemført forsøg med fremstilling af fotorealisticke 3D-bymodeller. Disse er skabt på grundlag af udsnit fra terrænmodellen og byg-

ningsflademodellen. I disse udsnit er terræn- og tagflader blevet draperet med flyfotos og facadefladerne med digitale facadefotos optaget fra terrænpositioner.

### Hvad kan Københavns Kommune (og andre) bruge 3D-bymodellen til?

Det er allerede i indledningen nævnt, at 3D-bymodellen benyttes i byplanlægning og i telesektoren. Denne anvendelse alene berettiger efter Københavns Kommunes opfattelse både modellens tilvejebringelse og dens løbende ajourføring. Derfor er der i disse år økonomisk spillerum til eksperimentel anvendelse indenfor flere andre sektorer. Tiden vil vise, hvor modellen i øvrigt slår rod.

Fra kendte, planlagte eller undersøgte anvendelsesområder i og udenfor Københavns Kommune kan nævnes

- projektering af infrastruktur til mobiltelefoni
- byplanlægning, volumenstudier i lille målestok (Plan & Arkitektur)
- byplanlægning, detaljeret

bebyggelsesplan (Plan & Arkitektur)

- vej- og byrumsplanlægning (Vej & Park)
- projektering af nyt byggeri
- arkitektkonkurrence om ny bro mellem Opera København og det kommende skuespilhus
- miljøanalyser, fx beregning af støjdbredelse
- beredskabsplanlægning, herunder spredning af giftig røg o.l.
- planlægning af ruter for risikotransporter
- turistinformation
- ejendomshandel
- computerspil-industrien
- fremstilling af AVI-film, bl.a. anvendt af TV 2 ved det kongelige bryllup, 14. maj 2004
- H. C. Andersen i det samtidige København

Flere af disse anvendelser eller mulige anvendelser tilkommer det ikke forfatterne af denne artikel at berette detaljeret om, hvorfor vi i det følgende alene fokuserer på nogle få af de anvendelsesområder, som forventes at få betydning for kommunerne og/eller byggeriets øvrige parter efter

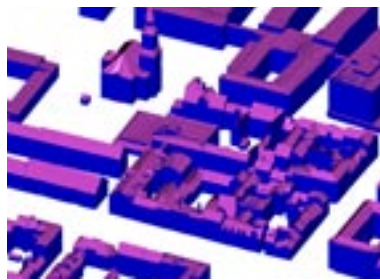
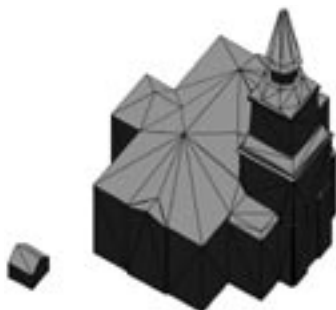
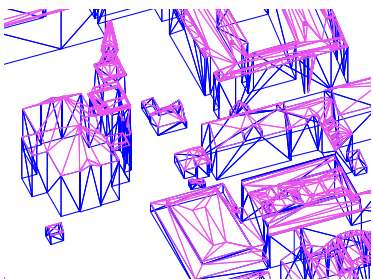
gennemførelsen af kommunalreformen.

Anden eksperimentel anvendelse er bl.a. op til Dem kære læser. Københavns Kommune, Stadsdirektoratet stiller vederlagsfrit en mindre del af modellen til fri afbenyttelse for alle og enhver, som ønsker at afprøve mulighederne i praksis.

Generelt kan det om Københavns Kommunes egen brug af bymodellen konstateres, at den kommunale sagsbehandling typisk opnår et kvalitetsmæssigt løft herved. Men kun i begrænset omfang forventes der effektiviseringer med egentlige besparelser til følge. I omstillingsperioden overskygges de potentielt mulige besparelser desuden af behovet for investeringer og efteruddannelse. I det personalepolitiske regnskab tæller initiativerne derimod med på plussiden, idet de er med til at gøre Københavns Kommune til en attraktiv arbejdsplads.

### Byggesagsbehandling

Københavns Kommunes byggesagsbehandlere eksperimenterer



Figur 3. Billeder af flademodellen

menterer med anvendelse af modellen bl.a. i forbindelse med de nye principper om funktionsbaseret byggesagsbehandling, herunder de bebyggelsesregulerende bestemmelser i Bygningsreglement 1995, kap. 2 og kap. 3, der er trådt i kraft 1. april 2002 og de nye brandkrav, som træder i kraft i løbet af 2004.

I relation til de nye bebyggelsesregulerende bestemmelser er 3D-bymodellen navnlig anvendelig til vurdering af følgende forhold:

- Er byggeprojektet »sædvanligt for området«, når det gælder volumen og udformning?
- Forringer projektet områdets skyggeforhold?
- Giver projektet indbliksgener for omliggende ejendomme?

Afgørelse af sådanne for de tilstødende ejendomme vigtige spørgsmål bliver ofte i sidste ende en vurdering. Vel at mærke en vurdering, som efterfølgende skal kunne tåle nærmere prøvelse, fx hvis

afgørelsen påklages. Under en sådan prøvelse skal kommunalbestyrelsen dokumentere det samlede grundlag for vurderingen og afgørelsen – en dokumentation, som det kan være både vanskeligt og langsomt at fremskaffe, hvis man alene anvender et teknisk kort i 2D og en større samling arkivalier fra byggesagsarkivet.

Ved tillæg 8 til Bygningsreglement 1995 ændres bestemmelserne om brandforhold radikalt pr. 1. juni 2004, idet der dog tillades en overgangsperiode frem til 1. december 2004. Der åbnes mulighed for at vurdere en bygnings brandforhold ud fra funktionsbaserede principper. Det forudsætter test og efterfølgende anvendelse af programmel, som kan simulere røgspredning, beregne tid til evakuering, såkaldt 'crowd-control' og egentlige brandforløb. Med adgang til en digital 3D-model af et projekteret byggeri og dets omgivelser, forventes det at blive muligt at læse bygningsdata ind i



Figur 4. Billeder fra Havnemodellen

simuleringsprogrammet, og dermed sætte byggesagsbehandleren i stand til aktivt at kontrollere grundlaget for en bygnings brandstrategi, risiko for brandsmitte o.s.v.

Byggesagsbehandlingen bliver opkvalificeret ved anvendelse af 3D-bymodellen. Fx bliver vurdering af skyggeforhold mere eksakt via generering af digitale skyggediagrammer for både eksisterende og fremtidige forhold. I relation til indbliksgener kan sagsbehandleren 'gå ind i' modellen og vurdere synsvinkler fra fx en ansøgt tagterrasse – og efterfølgende dokumentere sine iagttagelser med print fra modellen.

Men træerne vokser ikke ind i himlen – i hvert fald ikke i 2004. I relation til digital byggesagsbehandling er det vigtigt at bemærke, at al byggesagsbehandling – måske lige bortset fra ansøgninger om lovliggørelse af eksisterende forhold – angår projekter, som endnu ikke er realiseret, og som i helt overvejende grad kun er tegnet i 2D. Det modtagne tegningsmateriale består typisk af situationsplan(er), etageplaner, facadeopstalter, snittegninger o.l. Tegningerne kan være fremstillet i et CAD-system, men ganske mange er stadig tegnet i hånden.

Såfremt CAD-tegninger i 2D er vedlagt byggeansøgningen digitalt, er der mulighed for hurtigere sagsbehandling, fordi sagsbehandleren kan foretage digital opmåling af fx afstande og etageareal. Det vil normalt også være en let sag

at kontrollere situationsplanen i forhold til det digitale grundkort, herunder det integrerede matrikelkort. Men sådanne 2D-projekttegninger kan ikke uden videre indsættes i 3D-bymodellen. Byggesagsbehandleren må derfor om nødvendigt selv – og desværre normalt med et betydeligt tidsforbrug – indtegne nye bygninger i et udsnit af 3D-bymodellen. Tidsforbruget alene sætter i praksis snævre grænser for mængden af byggesager, som kan behandles på denne måde i 3D.

Københavns Kommune følger derfor med interesse de initiativer, som Erhvervs- og Boligstyrelsen har sat i gang. »Det digitale Byggeri«, herunder »Det digitale Fundament« er en stor satsning, som meget vel kan føre til et tiltrængt paradigmeskift i den danske byggebranche, der sammenlignet med andre sektorer er sakket lidt bagud på området for 3D-projektering.

De forventede besparelser i de samlede byggeomkostninger omfatter vægtige områder som fx:

- effektivisering af projekteringen
- færre projekteringsfejl
- mere effektive budgetberegninger (hvis de til objekterne knyttede attributter omfatter pris, eller måske mere sandsynligt hvis der er adgang til en generel prisdatabase med tilhørende rabatstrukturer)
- mulighed for økonomisk og/eller anden optimering på baggrund af modelsimulering, herunder beregning af

byggeperiodens forventede varighed

- korrekt beregning af mængder til brug for udfærdigelse af mængdefortegnelser én gang forud for licitationen
- mere priskonkurrence på byggevarer indenfor EU's indre marked
- effektivisering af entreprenørernes licitationsberegninger
- mulighed for større fleksibilitet i byggeprocessen inkl. iboende og samtidig ajourføring af 3D-modellen
- et effektivt digitalt 3D værktøj til brug for driftsherren efter byggeriets fuldførelse

Skiftet fra 2D-projektering til 3D-projektering forventes derfor også i høj grad at ville blive drevet af de almindelige markeds kræfter, således som det allerede er sket i skibsværftsindustrien og i enkelte andre sektorer i den tunge ende af industrien. Netop derfor kan man måske håbe på, at omstillingsprocessen vil gå forholdsvis hurtig i byggeindustrien.

Københavns Kommune forventer parallelt hermed at kunne kvalificere og effektivisere byggesagsbehandlingen i takt med, at omstillingen til digital 3D-projektering skrider frem. Stadskonduktørembedet, som er ansvarlig for den kommunedækkende 3D-bymodels videreudvikling og ajourføring, håber samtidig at kunne indføre projektajourføring af modellen efter samme principper, som allerede er indført ved parallel projektajourføring af BBR's ændringsregister og det digitale tekniske kort i 2D. Hvis det



lykkes, vil den nuværende og bekostelige "as built" opmåling af nye bygninger til 3D-bymodellen måske kunne begrænses til en supplerende kvalitetssikring, hvor de digitalt indlagte 3D-byggeprojekter kontrolleres for korrekt beliggenhed, bygningshøjde, tagform og detaljeringsgrad alt efter gældende modellspecifikation. Til støtte for projektbaseret kort- og registerajourføring er

der ved tillæg 9 til Bygningsreglement 1995 med virkning fra 1. juni 2004 indført en ny vejledningstekst med følgende ordlyd: »(1.3, stk. 5) En ansøger, der indsender papirtegninger, udarbejdet i AutoCAD o.lign. opfordres til samtidig at vedlægge en digital kopi af de relevante filer, da de elektroniske udgaver af filerne bl.a. vil kunne forenkle opmålingen af de projekterede bygninger og

dermed forbedre kvaliteten af de data, der indgår i BBR.«

**Planlægning af ny bebyggelse, byfornyelse, veje, pladser og andre byrum**

Bygge- og Teknikforvaltningen (Plan & Arkitektur) har taget 3D-bymodellen i anvendelse dels til planlægning, dels som analyseværktøj i forbindelse med byarkitektoniske vurderinger. Analyse og visualisering



Figur 4. Trafik- og byudstyr på det fremtidige Kongens Nytorv i København

internt i forvaltningen og for politikerne er i fokus. Næste skridt bliver opkvalificering af dialogen med offentligheden omkring lokalplanforslag m.v. bl.a. baseret på interaktiv onlinedialog via internettet. Det er planen at målrette udviklingsarbejdet mod 3D-visualisering i forbindelse med alle fremtidige lokalplanforslag, hvor sådanne visualiseringer er relevante. Udviklingsarbejdet omfatter standard for visning af 3D-modellen med farver, lyssætning og lignende samt udvikling af afledte modeller med anden detaljeringniveau.

Plan & Arkitektur har brug for digital 3D-modellering på 4 niveauer:

Niveau 0. Bymodel med karreer som volumener rejst fra et digitalt oversigtskort med karréflader og suppleret med særligt markante bygninger og lignende overført fra 3D-flademodellen. Modellen anvendes primært til rumlige analyser i lille målforhold.

Niveau 1. Flademodellen anvendes i udsnit som den foreligger til lokalplanlægning på karréniveau, typisk suppleret med terrænmodel og lodfoto af terræn. Anvendes direkte til skyggediagrammer, samt til skitse- og volumenanalyser.

Niveau 2. 3D-flademodellen i udsnit bearbejdet til en detaljeringsgrad i forhold til opgavens karakter, hvor det er muligt at se én, flere eller alle nedenstående detaljer:

- Bygningsdetaljer på forskellige niveauer (gesims, vinduer, døre o.lign.)
- Overflader og materialer
- Udformning af gade- og byrum
- Dag- og natbelysning og skygger
- Beplantning og andet byinventar

Niveau 3. Fotorealistisk model. Flademodellen "påklæbes" digitale facadefotos og lodfoto draperes ned over modellen og danner overflade på terræn og tag. Metoden er forholdsvis ressourcekrævende og forventes alene etableret for udvalgte områder i byen, hvor den vil være egnet til behandling af nye, større projekter og ved dispensationer o.l. samt eventuelt i forbindelse med kommende områdebaserede byfornyelsesindsatser.

Bygge- og Teknikforvaltningen (Vej & Park) anvender bymodellen ved 3D-præsentation af udvalgte vej- og anlægsprojekter for politikere og borgere.

Også på disse områder er der behov for nytænkning for at øge og kvalificere borgernes inddragelse i projektudviklingen. Konkret har 3D-bymodellen allerede i denne sammenhæng været anvendt af Vej & Park ved følgende projekter: Kongens Nytorv, Holmens Kanal, Havnegade, Valby Tingsted, Prags Boulevard, Vanløse Stationsforplads og Sønder Boulevard.

Flere af de nævnte 3D-projektmodeller har været brugt i forbindelse med præsentation af anlægsprojekterne for politikerne og for borgerne. Erfaringerne er entydigt positive i begge fora.

På udviklingssiden planlægger Vej & Park at etablere et byudstyrsbibliotek som en CAD objektdatabase indeholdende københavnske standarder for belægninger, træer, byudstyr, skilte m.v. Databasen skal indeholde en CAD-konstruktion af standardbyudstyr (buskure, plakatsøjler osv. med tilhørende attributter i form af beskrivelse og eventuel link til digital foto). Målet er flere og mere professionelle projektmodeller og større produktivitet ved udarbejdelsen af den enkelte 3D-projektmodel.

### Om forfatteren

Göran Jönsson, Københavns Kommune, Stadskonduktørembedet, Ottiliavej 1, 2500 Valby, goran@btf.kk.dk

Niels Peter Jensen, Københavns Kommune, Stadskonduktørembedet, Ottiliavej 1, 2500 Valby, stadskon@btf.kk.dk