

3D bymodeller

– Produktionsmetoder og anvendelsesmuligheder

Jesper Rye Rasmussen, BlomInfo A/S

3D bymodeller benyttes i stigende omfang indenfor bl.a. byplanlægning, miljøanalyser, telesektoren, bilnavigation, planlægning af ruter for risikotransporter samt forskellige former for redningstjeneste. Der er også talrige eksempler på visualisering af bygge- og anlægsprojekter. Nye muligheder er lige om hjørnet for turistbranchen, ejendomshandel, computerspilindustrien og meget andet.

Visualisering af projekter

Næsten naturtro visualiseringer af infrastrukturprojekter (F.eks. Minimetroen i København, Storebæltsbroen og Øresundsbroen), store byggeprojekter i bl.a. Københavns Havn, bebyggelsesplaner i byudviklingsområder er nogle af de kendte eksempler på anvendelsesmulighederne i planlægningen og den offentlige debat. Indenfor telesektoren er der ligeledes en rivende udvikling i forskellige former for mobile services, der bl.a. stiller krav til beskrivelsen af den tredimensionelle geografi, som brugeren bevæger sig rundt i. Samtidig er de fleste efterhånden fortrolige med den virtuelle verden i elektroniske spil og hele underholdningsindustrien generelt.

Alle de nævnte eksempler udtrykker en eller anden form for rumlig opfattelse, men tilpasset forskellige behov. Derfor er det en naturlig udvikling at der skabes bymodeller med en meget høj grad af genkendelighed, som understøtter de mange forskellige formål indenfor både den offentlige og den private sektor.

Teknologisk kræver det ikke længere meget store investeringer at kunne håndtere mo-

dellerne. Dermed er yderligere en barriere for udviklingen reduceret betydeligt. Faktisk er det muligt med en moderne standard pc at bevæge sig rundt i den virtuelle bymodel. Har brugeren adgang til en bredbåndsforbindelse, kan navigeringen endda afvikles over Internettet. Generering af modellerne er dog fortsat

et område, der kræver specialiseret viden og udstyr for at opnå professionelle resultater.

BlomInfo A/S har i de senere år arbejdet med opbygning af datagrundlaget til såvel bymodeller som landskabsmodeller. Dette arbejde har bl.a. resulteret i særdeles effektive produktionsmetoder til løsning

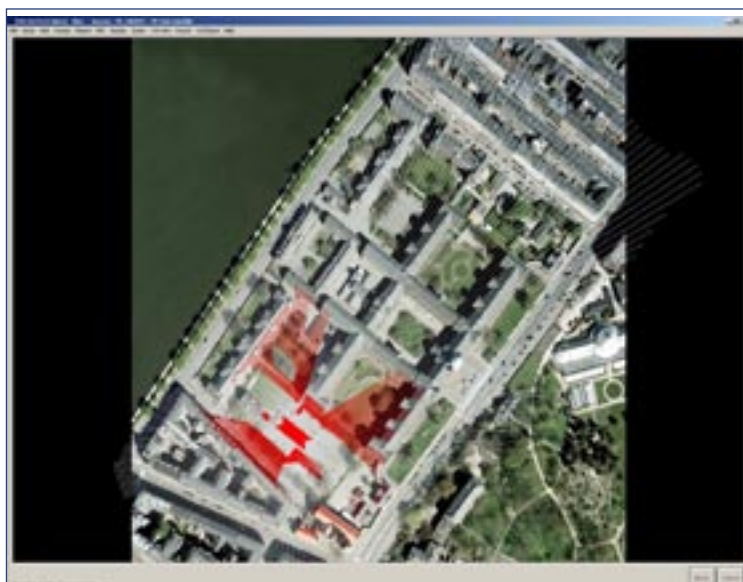


Fig. 1. Indenfor mobiltelefoni kan 3D bymodeller benyttes til dæmpningsmodellering af radiosignaler og beregning af »Free Line of Sight« mellem radiosendere og modtagere. Sigtelinierne viser udsynet fra et punkt på et tag i 3D modellen. De røde linier viser hvad der synligt fra punktet, mens de hvide linier illustrerer det ikke synlige i modellen. For at øge genkendeligheden af punktets placering i modellen er et foto draperet over modellen.

af både små og store komplekse projekter. Samtidig har BlomInfo A/S arbejdet med visualiseringsteknikkerne og har opbygget en omfattende ekspertise indenfor området, som er uundværlig i de konkrete projekter der løses.

Krav til datagrundlaget

Kravene til bymodellerne afspejler de mange anvendelsesmuligheder: Hvis der ikke er en høj grad af nøjagtighed og genkendelighed har brugeren svært ved at acceptere produktet eller resultaterne af en evt. bearbejdning. Det er en af de oplagte konklusioner, der kan drages ved at producere og arbejde med 3D bymodeller.

BlomInfo A/S har afprøvet forskellige teknikker til etablering af bymodeller:

- Traditionel fotogrammetri
- Automatisk generering på grundlag af bygningsinformationer og 2D kort
- Laserscanning

På nuværende tidspunkt er fotogrammetri de andre metoder klart overlegen.

Automatiske eller semi-automatiske løsninger hvor højder knyttes til objekter i et 2D kort giver resultater, der ikke i tilstrækkelig grad ligner virkeligheden. Eksempelvis karakteriserer tagformer, kviste, spir m.v. i høj grad en bymodel og de er meget vanskelige at generere uden en meget omfattende efterbehandling.

Flybåren laserscanning giver ikke tilstrækkeligt detaljeret information til en præcis definition af de objekter, der indgår i en bymodel. Det er bl.a. fordi laserscanning resulterer i et punktbasert grid, der efterfølgende skal igennem en betydelig editeringsproces for at give et troværdigt resultat.

Den fotogrammetrisk baserede bymodel har mange fordele. For det første etableres en meget præcis geometri hvor det løbende er muligt at fastlægge og justere detaljeringsgraden i bymodellen. For det andet er teknikken skalérbar, hvilket bl.a. betyder at der er en direkte sammenhæng mellem størrelsen af modellen og de omkostninger der er forbundet med at etablere den. For det tredje er ajourføringen meget enkel og de flyfotos der benyttes, indgår oftest også i vedligeholdelsen af tekniske grundkort. De optagne luftfotos er endvidere anvendelige i en række andre sammenhænge, som f.eks. produktion af ortofotos eller forskellige former for præsentationsmateriale.

I mange visualiseringer er det et ønske om at se modellen i øjenhøjde, dvs. fra positioner hvor mennesker primært oplever byen (I gaderum, udsigter fra vinduer eller evt. tage og tårne i byen). Her vil den detaljerede, fotogrammetrisk baserede bymodel også være langt mere anvendelig end de to andre nævnte modeltyper.

Bymodeller på grundlag af fotogrammetri

Den fotogrammetrisk baserede 3D bymodel konstrueres på grafiske arbejdsstationer, hvor operatørerne gennemgår hvert eneste objekt i billederne. Den stereoskopiske registrering af bygningerne og andre elementer som f.eks. bevoksningsgrupper og enkeltstående træer resulterer med andre ord i et tolket produkt, hvor operatørernes faglige vurdering i etableringsprocessen sikrer en høj kvalitet i 3D modellen.

Bymodellens basisprodukt er en trådmodel bestående af 3D vektorer. Dvs. vektorer med et startpunkt defineret ved et x,y,z -koordinatsæt og et slutpunkt i et andet x,y,z -koordinatsæt. Alle linier i trådmodellens bygninger snappes til mindst to andre linier i bygningen. På den måde sikres det, at der dannes et netværk, som kan bruges til fladedannelse af henholdsvis tag- og facadepolygoner.

Langt fra alle tagformer og bygningsdetaljer består af rette linier. Det er derfor også nødvendigt, at udarbejde detaljerede specifikationer for hvordan krumme og dobbeltkrumme flader registreres.

BlomInfo A/S har produceret en kommunedækkende, digital 3D bymodel for Københavns Kommune omfattende ca. 100.000 bygninger. Baggrunden for projektet har dels været Københavns Kommunes ønske om en multifunktionel 3D bygningsmodel som

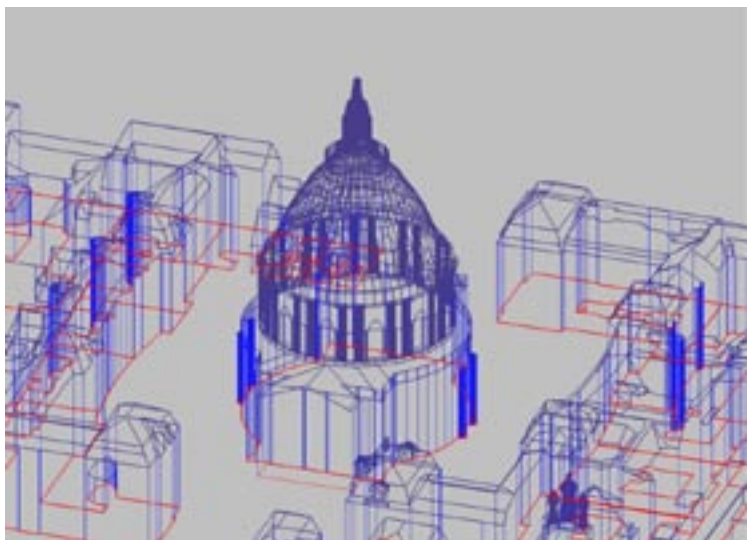


Fig. 2. Marmorkirken (trådmodel)

I dette udsnit af 3D bymodellen for København ses det, at vektorerne på Marmorkirkens dobbeltkrumme flader ligger meget tæt, og dermed definerer kuplens form. Endvidere ses det tekniske korts bygningstema som røde 'fodaftryk' og de fotogrammetriske registrerede tagformer, der er forbundet med bygningstemaet vha. lodlinier.

grundlag for planlægning og projektering, dels muligheden for et samarbejde med private ledningsejere og teleselskaber, der har egne specifikke anvendelsesbehov. Udover bymodellen har Københavns Kommune fået suppleret eksisterende 2D tekniske kort med koter fra en digital terrænmodel, der blev etableret i forbindelse med projektet. Endelig har Københavns Kommune indgået en aftale om systematisk vedligeholdelse af 3D bygningstemaet.

3D bymodellen for København er etableret på grundlag af meget detaljerede tekniske specifikationer med tilhørende arbejdsbeskrivelser samt

detaljerede krav til kontrol-procedureerne, der sikrer at

produktet kan opfylde kvalitetskravene. Specifikationen for Københavns 3D model beskriver bl.a., at der er en middefejl på 15 cm for veldefinerede punkter og at detaljer i bygningsomrids større end 30 cm i planen og 45 cm i højden medtages i modellen. Endvidere registreres alle detaljer i tagfladen (f.eks. skorstene og kviste), der er større end 3 meter i plan eller højde.

Den videre udvikling af modellen omfatter dannelse af flader på hhv. tage og facader. Til projektet har det ikke været muligt at finde tilstrækkeligt overbevisende standardværktøjer til denne proces. En manuel fladedannelse er naturligvis mulig, men utroligt ressourcekrævende, fordi der er tale om i hundredtusindvis af flader. BlomInfo A/S har derfor udviklet egne metoder, der gør det muligt at danne fladerne med en meget høj grad af automatisering. Når



Fig 3. Nansensgade med facadefotos.

først fladerne er dannet, kan bygninger og terræn pålægges farver, tekstur eller digitale fotos af f.eks. facaderne.

Gennem en række forsøg er der afprøvet forskellige visuelle løsninger, der øger by-

modellens 'læsbarhed'. Blandt disse kan nævnes drapering af luftfotos på terrænet og på tagfladerne. Det giver en god dybdevirkning og de skygger som bygningerne kaster på terrænet, forstærker det tredimensionelle indtryk.

Automatisk genererede bymodeller

Der er mange eksempler på 'quick and dirty' bymodeller, som er dannet ved at tilføje z-værdier til 2D kort. Det kan være udmærkede løsninger til at give en vis rumlig fornemmelse, specielt hvis elementerne i modellen skal ses på afstand og helst i fugleperspektiv.

Nogle af de forsøg der har været afprøvet, baseres eksempelvis på et 2D, hvor bygningstemaet tildeles en højde. Højdeinformationen kan tage udgangspunkt i antallet af etager registreret i BBR for de enkelte bygninger (Der skal ikke her åbnes en mere generel diskussion af kvaliteten af informationerne i BBR, men blot peges på registeret som en mulig informationskilde).

(Semi-) automatisk tilføjelse af sadeltage på huse i åben-lav bebyggelser, kan bidrage til at give bygningerne lidt karakter, men det er mere problematisk i tættere bebyggelse, erhvervsområder og bycentre, hvor netop kompleksiteten i byprofilen gør 3D modellen mere virkelighedstro.

For at illustrere denne teknik gives der her en kort beskrivelse af en metode BlomInfo A/S har afprøvet med anvendelse af TOP10DK data.



Fig 4. Kommunehospitalet med luftfoto. Eksemplet viser Kommunehospitalet, hvor luftfotos er draperet på terrænet og på tagfladerne.



Fig. 5. Nørrevold
Udsnittet fra Nørrevold området viser resultatet af den automatisk genererede fladedannelse.



Fig. 6. Automatisk i fugleperspektiv

Eksempel på automatisk genereret 3D model med udgangspunkt i TOP10DK fra KMS. Højdeinformationerne i TOP10DK er benyttet dels til terrænmodellen, dels til at give bygningstemaet en højde. Et luftfoto er draperet over terrænmodellen for at styrke det visuelle indtryk. (Data benyttet med tilladelse fra Kort- og Matrikelstyrelsen).



Fig. 7. Automatisk, vejforløb
Eksemplet viser hvordan et vejforløb kan illustreres med relativt enkle virkemidler. 3D modellen er skabt på grundlag af TOP10DK's højdeinformationer, dvs. både terræn og bygninger.

TOP10DK fra Kort & Matrikelstyrelsen indeholder højdeinformationer om terræn og bygninger. Bygningshøjderne er angivet som en værdi for hjørnerne til den enkelte bygning. Værdien er målt

ved tagkant. Denne højde kan projiceres ned på terrænet i modellen og dermed kan alle bygninger i kortet rejSES. Det er en brugbar metode, som giver en tredimensionel virkning, men primært set i fugleperspektiv og på større afstand af de enkelte bygninger. Alle bygninger har fladt tag og de er uden bygningsspring. Hvis der ønskes lidt mere kolorit på modellen kan luftfotos draperes ned over landskabet og bygningerne.

Automatisk generering af 3D bymodeller på grundlag af 2D kort er en meget enkel løsning, der heller ikke er særligt dyr. Løsningen er derfor interessant i nogle sammenhænge, men er alligevel relativt begrænset i sit informationsindhold og dermed anvendelighed til visualiseringsformål.

Bymodeller på grundlag af laserscanning

Laserscanning er en effektiv teknik til produktion af digitale højdemodeller, men knapt så velegnet til etablering af realistiske bymodeller.

Kort fortalt foregår indsamlingen af laserscanningsdata ved at et fly eller en helikopter påmonteres en laserscanner. Instrumentet scanner landskabet ved – med høj hastighed – at bevæge sig fra side til side. Dermed opsamles informationerne i et bredt bælte. De indsamlede data udgøres af et meget stort antal punkter (millionvis). Laserscanningen kan desuden afsløre om det enkelte punkt

er målt på fast grund, vegetation, bygning, trækrone mv., fordi retursignalet intensitet varierer med overfladetyper.

BlomInfo A/S har gennemført en lang række af den type projekter og etableret terrænmodeller i forskellige gridstørrelser og med ½ meter eller 25 centimeter højdekurver.

Anvendelsen af laserteknologi er en effektiv og prisbillig metode til at danne højdemodeller med meget høj nøjagtighed og detaljerigdom sammenlignet med mere traditionelle fremstillingsmetoder.

Efterbehandlingen af data tilpasses de konkrete anvendelsesformål. Indledningsvis fjernes uønskede elementer i 'punktsværmen' (f.eks. flyvende fugle, der har returneret signaler til laser-scanneren). De resulterende produkter af de bearbejdede data er henholdsvis en digital terrænmodel (DTM) og en digital overflademodel (DSM (S=surface)). DSM'en viser overfladen af det scannede område, herunder også skove, bygninger og andet som er i landskabet. DTM'en er filtreret for elementer i landskabet hvilket vil sige at vegetation, bygninger m.v. ikke indgår i modellen.

Laserscanning kan benyttes til opbygning af 3D bymodeller, men der vil være nogle væsentlige begrænsninger. Punkterne ligger i et grid, som – selv ved en meget høj tæthed – f.eks. 1 meter,



*Fig. 8. Laser, fugleperspektiv
Laserscanningsdata med et draperet billede kan i fugleperspektiv give en illusion af rumlig bydannelse. Zoomes der lidt ind vil de ubearbejdede data dog tydeligt vise deres begrænsninger.*

giver en vis usikkerhed om nøjagtigheden. Typisk vil der være en usikkerhed i planen (x,y) på ca. 0,5 meter og en usikkerhed i højden (z) på ca. 15 centimeter, når punkter ligger i et 1 meter grid. Sammenlignet med nøjagtigheden ved den fotogrammetriske metode, hvor nøjagtigheden er 10 centimeter i planen og 15 centimeter i højden ved optagelser i 1:5.000, er laserscanningsmetoden altså mere unøjagtig i planen, men det har som oftest ingen betydning.

Et andet forbehold overfor laserscanning som grundlag for bymodeller er detaljerigheden. Brug af punktdata vil ikke give skarpt definerede afgrænsninger af de enkelte elementer i modellen. Bygninger vil fremstå som bløde konturer, der ligner smeltet is.

Der er en række muligheder for viderebearbejdning af laserdata. Eksempelvis kan taghældninger beregnes som middelværdier for punkter målt på tagfladen. Bygninger kan dermed mere eller mindre automatisk få tilnærmede tagformer, der måske – måske ikke – afspejler virkeligheden. For at kunne opnå et tilstrækkeligt datagrundlag skal laserscanningen formentlig udføres i et net med et tæthed på 10 cm.

Det skal også fremhæves, at laserdata i udgangspunktet er et utolket produkt. Dvs. at der ikke har været en faglig vurdering af det enkelte element i modellen, som et led i etableringen af de tredimensionelle bygninger.



*Fig. 9. Laser, vejkryds
Laserscanningsdata kan give en nærmest surrealistisk effekt der har en flot grafisk virkning, men som på dette zoomniveau er ganske uegnet til realistiske bymodeller.*

Endelig skal det nævnes, at ajourføring af data ikke er helt enkelt. Umiddelbart vil det bedst kunne betale sig (med de nu kendte teknikker), at foretage en total laserscanning på ny af det pågældende byområde. Dermed kan bymodeller baseret på laserscanning blive en omkostningstung løsning, hvis ønsket er en 3D model der løbende vedligeholdes.

Præsentationsteknikker

Et er at producere 3D bymodellerne, et andet er at anvende dem i det daglige arbejde.

Indtil for få år siden var det nødvendigt dels at have meget kraftige computere, dels at benytte særdeles dyr specialsoftware for at kunne håndtere modellerne. Det er ikke længere tilfældet om end en vis faglig rutine er nødvendig for at kunne arbejde effektivt og skabe gode resultater.

Vi har i firmaet afprøvet en række teknikker og værktøjer til bearbejdning og visualisering af 3D bymodeller. Hvilken løsning der anvendes i et konkret projekt afhænger meget af hvilken form data skal leveres i og hvem der skal producere visualiseringen. Nogle foretrækker et færdigt resultat, som præsenterer det ønskede projekt, mens andre selv vil arbejde videre med bymodellen og indlægge nye projekter, klistre facadefotos på fladerne eller genere »Fly Through«-visualiseringer. Begrænsningerne er

primært ressourcer og faglige forudsætninger for at betjene softwaren.

Grundlæggende arbejdes der med data i et CAD program som f.eks. MicroStation eller Autocad. Begge softwarepakker indeholder en lang række faciliteter til bl.a. rendering af tredimensionelle data. Når først 3D modellen er bygget, kan data overføres til andre grafiske programmer, som f.eks. 3D StudioMax.

kan være med. Dybest set er kvaliteten af datagrundlaget den væsentligste forudsætning for at skabe troværdige visualiseringer.

Det er muligt at håndtere en visualisering på en nutidig standard kontor pc. Den væsentligste begrænsning ligger i grafikkortet, men et kort til mellem 500 og 1.000 kr. (der typisk er standard i de fleste pc'er) er tilstrækkeligt til at navigere i modellerne.



*Fig. 10. Statens Museum for Kunst
Resultat af en bearbejdning i 3D StudioMax hvor der også er optaget en videosekvens, som indeholder en rundtur over kvarteret ved Statens Museum for Kunst og Kartoffelrækkerne.*

Vi har afprøvet mulighederne i såvel enkle og billige produkter, som i avancerede og dyre programmer. Ikke overraskende giver de sofistikerede produkter fremragende resultater, men det er absolut også muligt at skabe gode løsninger indenfor økonomiske rammer hvor de fleste

Præsentation af projekter på Internettet er også oplagt. Det kan enten være som små videoklip eller som navigerbare løsninger, hvor det er muligt for brugeren selv at 'flyve' rundt i projektet. De navigerbare løsninger kan have faste kameraplaceringer og faciliteter til at dreje 360°

rundt om positionen. En anden mulighed er fuldstændigt frie navigeringsmuligheder i hele projektet. Eksempler på '360°-teknikken' kendes bl.a. fra ejendomsmæglerens præsentation af boliger på Internettet. Et eksempel på den frit navigérbare model kan bl.a. afprøves på firmaets hjemmeside www.blominfo.dk.

3D bymodeller - perspektiver

Efterspørgslen på digitale 3D bymodeller er stærkt stigende. Samtidig er der øgede krav til kvaliteten af modellerne fordi den første fascination af at det overhovedet er muligt, har lagt sig. Derfor er det vigtigt at gøre sig klart hvad bymodellerne skal bruges til og hvordan de skal håndteres.

Den mest robuste og fremtidssikrede metode til produktion af virkelighedstro bymodeller er (med de teknikker vi kender i dag) digital fotogrammetri. Etableringen er arbejdskraftintensiv, men resultatet er et multifunktionelt produkt med en meget præcis geometri, hvor detaljeringsgraden defineres af de konkrete behov. Detaljeringsgraden kan efterfølgende øges ved en yderligere bearbejdning eller supplerende af de allerede producerede data. Samtidig er vedligeholdelsesomkostningerne relativt lave, dels

fordi ajourføringen baseres på det datagrundlag, der i øvrigt indgår i vedligeholdelsen af de digitale grundkort, dels fordi fotogrammetri generelt ikke er en særlig bekostelig form for datafangst. Det skal også fremhæves, at den fotogrammetrisk producerede bymodel bygges på grundlag af en digital terrænmodel, hvilket også gør modellen mere virkelighedstro.

Den videre anvendelse af de tredimensionelle data ved f.eks. at indarbejde bygge- og anlægsprojekter i modellerne, kan gøres relativt enkelt i CAD programmer eller grafiske programmer, der kan arbejde med vektorer. Med fladedannelser på terræn, bygningsfacader og tage, er der åbnet for en lang række muligheder for pålægning af tekstur, farver eller digitale billeder. Suppleres visualiseringen med skyggediagrammer, der viser påvirkningen af omgivelserne, kan 3D bymodellerne bidrage betydeligt til den offentlige debat om store enkeltanlægs betydning for byen. Samtidig kan der genereres forskellige former for præsentationer, enten til anvendelse på pc'er eller til formidling via eksempelvis Internettet.

Oftest vil det være offentlige myndigheder, som er 'ejere' af bymodellerne.

Med mulighederne for at stille virkelighedstro 3D data til rådighed for bygherrer, kan der blive større grad af realisme i visualiseringerne af påtænkte bygge- og anlægsprojekter. Samtidig kan der i forbindelse med f.eks. arkitektkonkurrencer opnås mere sammenlignelige præsentationer af de forskellige forslag og generelt opnås et bedre beslutningsgrundlag.

Med en 'objektiv' 3D bymodel er der grundlag - også økonomisk - for en mere neutral visualisering af disse projekter. Dermed kan fokus i den offentlige debat i større grad koncentreres om arkitekturen og ikke om hvorvidt en interesse mere eller mindre bevidst 'snyder' med visualiseringen.

Aktuelt ville det ny operahus ved Københavns havnefront med ganske begrænset indsats kunne indplaceres i modellen og derefter betragtes fra hvilket som helst punkt, såvel på terræn som fra bygningen.

Sammenfattende kan det med andre ord konkluderes, at 3D bymodeller med stor detaljerigdom og muligheder for enkel vedligeholdelse og viderebearbejdning med standard softwareprodukter, er det mest oplagte grundlag for et meget stort og forskelligartet anvendelsespotentiale. Vi har kun set begyndelsen!

Om forfatteren

Jesper Rye Rasmussen, BlomInfo A/S, Vejlegade 6, 2100 København Ø, e-mail: jrr@blominfo.dk