

Aalborg Universitet



## Håndbog i 3D-modeller

Karlshøj, Jan; Bennetsen, Jens Chr.; Kjems, Erik; Svidt, Kjeld; Nybo, Eigil; Jørgensen, Jørgen; Stenild, Kristian

*Publication date:*  
2007

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Karlshøj, J., Bennetsen, J. C., Kjems, E., Svidt, K., Nybo, E., Jørgensen, J., & Stenild, K. (2007). *Håndbog i 3D-modeller*. B3D-konsortiet.

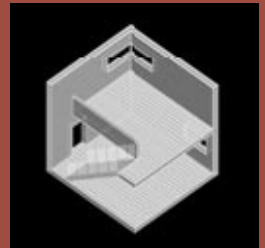
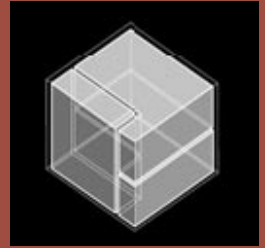
### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Håndbog i 3D-modeller

Håndbog i 3D-modeller er udarbejdet af B3D-konsortiet bestående af Rambøll, Aalborg Universitet, Arkitema og NCC. B3D-konsortiet er en del af Erhvervs- og Boligstyrelsens implementeringsprogram "Det Digitale Byggeri", [www.detdigitalebyggeri.dk](http://www.detdigitalebyggeri.dk)

Håndbogen er udgivet juli 2007.

Forfattere:

Jan Karlshøj, Rambøll  
Jens Chr. Bennetsen, Rambøll  
Erik Kjems, Aalborg Universitet  
Kjeld Svidt, Aalborg Universitet  
Egil Nybo, Arkitema  
Jørgen Jørgensen, NCC  
Kristian Stenild, CADit

ISBN 978-87-992068-0-3

# INDHOLD

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Forord .....                                    | 5  |
| Aftalemæssige forhold .....                     | 6  |
| Modeldefinitioner og krav til modellering ..... | 9  |
| Detailbeskrivelse af modelniveauer .....        | 18 |
| Anvendelse af 3D-modeller .....                 | 26 |
| IFC .....                                       | 59 |
| Skematik .....                                  | 67 |
| Ordliste .....                                  | 77 |
| Referencer .....                                | 78 |
| Bilag .....                                     | 79 |



# FORORD

Byggebranchen står over for en række digitale udfordringer med vidtrækkende potentialer og fordele for fagets innovation og samarbejdsformer. Digitale 3D-computermodeller af byggeprojekter kommer mere og mere i centrum for håndteringen af alle informationer i og omkring et projekt. Det er et værdifuldt værktøj, som gør det muligt at visualisere, planlægge og projektere langt mere kompleks og innovativ arkitektur end hidtil.

Bygningsmodeller et formidabelt redskab til koordinering, informationshåndtering, simuleringer, beregninger og evalueringer samt – ikke mindst – samarbejde mellem alle involverede parter i byggeriets mange faser. 3D åbner op for langt mere fleksible og dynamiske processer, hvor man fx langt inde i forløbet stadig kan være i gang med at afsøge løsninger, samtidig med at andre allerede er lagt fast og sat i produktion.

Modellerne har også vægtige gevinster i formidlingssammenhænge. De detaljerede visuelle fremstillinger underbygger og styrker argumentationen for de valgte løsninger og giver dermed et bedre beslutningsgrundlag og et bedre produktionsgrundlag. Samtidig skaber modellerne bedre fremstillingsformer i forbindelse med fx myndighedsbehandling. Og ved aflevering af et byggeri kan bygningsmodellen anvendes til at overføre informationer til et drift- og vedligeholdelsessystem og derved give et bedre driftsgrundlag.

Og det er alt sammen med til at effektivisere og nytænke byggeriet til fordel for bygherren, rådgiverne og de udførende hver især.

## Om håndbogen

Denne håndbog er udviklet i forbindelse med overgangen til nye digitale 3D-metoder, -værktøjer og -procedurer. Håndbogen gennemgår baggrundsmateriale, teknologi og metoder, der kan bruges til skabe alternative løsninger, kvalificere beslutninger, klæde bygherren bedre på og i det hele taget få mere værdi for pengene.

Bogen er dermed et nyttigt værktøj og inspirationsmateriale tiltænkt alle aktører i den danske byggebranche:

- Bygherrer som skal udforme projektspecifikke krav til rådgivere
- Rådgiverne der skal efterleve kravene og hente inspiration
- Udførende der kan udtrække data fra bygningsmodeller
- Øvrige virksomheder og myndigheder som kan drage fordel af 3D-modellerne

# AFTALEMÆSSIGE FORHOLD

Her ser vi nærmere på, hvornår det er relevant og fordelagtigt at benytte 3D-modeller som bygherrekrav. Hvad skal bygherren, rådgiveren og øvrige parter hver især være opmærksom på i forhold til aftalen?

## Anvendelsesområde

Det anbefales, at bygherrekravene anvendes i forbindelse med nybyggeri. Kravene bør omfatte elementer, der har en varig placering/betydning i byggeriet. Det betyder, at byggepladsens indretning, materiel, stilladser, jordarbejder og lignende ikke er omfattet af kravene.

I specifikationerne er angivet, hvilke byggekomponenter der er omfattet af kravene. Det er ikke hensigtsmæssigt at stille krav om, at enhver detalje modelleres i 3D.

Bygherren bør overveje at anvende kravene til 3D-modeller i forbindelse med eksempelvis om- og tilbygninger. Her kan teknologien udnyttes til at vurdere sammenhængen mellem tilbygning og eksisterende bygningsmasse.

Den tilgængelige software til at danne 3D-modeller med et byggeteknisk indhold matcher først og fremmest krav i forbindelse med moderne arkitektur. Står bygherren derimod over for renovering af middelalderlige irregulære bygninger eller nybyggeri af samme karakter, bør bygherren overveje, om kravene skal gøres gældende, og i hvilken grad bygningen skal modelleres i 3D.

Der vil være situationer, hvor enkeltelementer i et bygværk ikke kan håndteres af gængse softwareprodukter på markedet. I disse situationer anbefales, at man accepterer afvigelser fra kravene og finder en projektspecifik løsning på det lokale problem – i stedet for totalt at fravige kravet om 3D-modeller.

Som det fremgår i det følgende fokuserer løsningen på såkaldte kernetdata. Det er data, der har interesse for flere parter. Derfor er kravene tiltænkt 3D-modeller af grundlæggende dele af bygningen og kun i mindre omfang inventar.

Generelt bør bygherrekravene vedrørende 3D-modeller bringes i anvendelse, når følgende forhold gør sig gældende:

- Projekter med nybyggeri, som er omfattet af udbudslovens krav
- Projekter med nybyggeri, som er underlagt krav om Digitalt Udbud udarbejdet under Det Digitale Byggeri
- Projekter med nybyggeri, hvor resterende bygningsmasse eksisterer i 3D
- Projekter, hvor bygningens størrelse og placering vurderes at have en samfundsmæssig interesse

Tilsvarende bør bygherren vurdere, hvorvidt det er rimeligt at aktivere kravene til 3D-modeller i forbindelse med:

- Projekter, der har en begrænset størrelse
- Projekter, hvor hovedparten af omkostningerne går til inventar og udstyr

Anbefalingen er, at kravene som udgangspunkt benyttes, men at man nøje vurderer, hvilken type bygningsmodel rådgiveren skal levere. I mange situationer vil en rummodel og elementmodel være tilstrækkelig.

### **Ikrafttrædelse**

Det anbefales, at den statslige bygherre så tidligt som muligt tilkendegiver, at kravet om 3D-modeller er gældende. Rådgiverne kan informeres i forbindelse med prækvalifikation og projektkonkurrencer.

Kravene implementeres ved, at bygherren udfylder ydelsesbeskrivelsen og opstiller de specifikke krav, rådgiveren skal efterleve.

Kravene kan være 100% projektspecifikke eller tage udgangspunkt i et af de tre paradigmer, som er rettet mod projektkonkurrencer, udbud på projektforslag eller hovedprojekt.

### **Bygherren**

Bygherren skal være opmærksom på, at det ofte vil være nødvendigt at tilvejebringe et digitalt grundlagsmateriale til rådgiverne. Det kan dreje sig om digitale kort, bymodeller, terrænmodeller og de koordinatsystemer, som ønskes anvendt.

Bygherren bør specificere over for rådgiverne, hvordan 3D-modellen vil blive anvendt, og i hvilken sammenhæng den indgår i bedømmelsesgrundlaget. Endvidere bør den ønskede præsentationsformen ved bedømmelsen af 3D-modellen angives.

Bygherren skal således være opmærksom på vigtigheden af at aftale omfang, detaljeringniveau og præcision af 3D-modellen – enten som en helhed eller som identificerbare delmængder af modellen.

Bygherren bør anføre eventuelle krav om adgang til digitale 3D-modeller gennem projekteringsforløbet. Endvidere bør bygherren påpege ønsker om, at der i processen sker en løbende udveksling af 3D-modellerne mellem de rådgivende parter.

Bygherren skal sikre, at det tydeligt fremgår af aftalegrundlaget, hvorvidt rådgiveren er forpligtiget til at aflevere 3D-modellen i en ajourført udgave ved afslutning af rådgivningsopgaven. Eller om 3D-modellen skal afspejle bygningen efter entreprenørens afleveringsforretning.

Bygherren bør sørge for, at der i aftalen indgår en prædefineret plan for rådgiverens aflevering af 3D-modellen samt bygherrens accept af modellen.

### **Rådgiveren**

Såfremt det ikke tydeligt fremgår af bygherrens materiale, hvilken dokumentationsform der gælder i tilfælde af inkonsistens, bør rådgiveren selv redegøre herfor.

## Øvrige parter

Byggeriets øvrige parter opfordres til at vurdere gevinsten ved at have adgang til en 3D-model af bygningen. Den objektorienterede tankegang bag modellen betyder, at modellens informationer kan være nyttige i mange forskellige sammenhænge.

Parterne bør dog være opmærksomme på, hvilken dokumentationsform der er juridisk gældende, og at rådgiverne ikke står til ansvar for tredjeparts anvendelse af 3D-modellerne.

# MODELDEFINITIONER OG KRAV TIL MODELLERING

I dette afsnit redegør vi for forskellige principper for fremstilling og repræsentation af 3D-modeller, samt hvordan disse kan kategoriseres i en byggeteknisk sammenhæng. Vi berører overordnet de forskellige modelniveauer og -typer samt de forskellige former for data, der indeholdes i modellerne. Emnerne uddybes i afsnittet "Anvendelse af 3D-modeller" med mere detaljerede beskrivelser af 3D-modelniveauer.

## 3D-KONCEPT

### Modeller

Fra et CAD-teknisk synspunkt skelnes traditionelt mellem *wireframes*, *surface* og *solid* modeller. I nogle tilfælde bruges betegnelserne endvidere for visning (display) af 3D-modeller i et CAD-system.

Ud fra en geometrisk synsvinkel kan de forskellige modeltyper beskrives således:

### Wireframe

En *wireframe* er en rumlig model opbygget af kurver, som forbinder rumlige punkter. Det betyder, at modellen ikke har definerede flader, og dermed er det ikke muligt automatisk at definere volumenet af en wireframe. Wireframes er ikke velegnet til visualiseringer, da de ikke har definerede flader.

### Surface

En *surface* model er en rumlig model opbygget af flader. Fladerne kan være simple flader eller matematiske komplicerede konstruktioner. Surface models egner sig

til visualiseringer ved, at fladerne tildeles farver, overfladeegenskaber og billeder af virkelige materialer. Surface models har en svaghed ved, at det ofte ikke er muligt at afgøre, hvad der er inderside og yderside af elementet – et forhold som kan være problematisk ved automatisk efterbehandling af snit i bygningskonstruktioner.

### Solid modeller

En *solid* model opbygges ofte af geometriske primitiver, fx kasser, cylindre og kegler, der er massive. Materialet på emnet er ikke nødvendigvis defineret i modellen, men en solid model ved selv, hvad der er inde og ude i forhold til emnet. Hvis en væg er opbygget som en solid model, vil der ved snit i væggen, dannes både en kontur og en snitflade, som automatisk kan påføres en signatur. Solid models betragtes som regel som de mest avancerede og bedste, men der kan være forhold omkring visualiseringer, hvor flademodeller er mere velegnede. Flademodeller benyttes endvidere ofte i forbindelse med modellering af komplicerede overflader, fx i forbindelse med design af biler. Det skyldes, at man

med få parametre kan manipulere med overordentlige avancerede flader, der er opbygget på basis af komplicerede matematiske kurver. Til analytiske formål kan flademodeller ofte være tilstrækkeligt.



wireframe

Surface

Solid

## Visning

Ud fra en display synsvinkel kan de forskellige modeltyper beskrives således:

*Wireframe* visning af vilkårlige 3D-modeller sker ved at vise linjer og frembringere i 3D-modellen og dermed gøre overflader gennemsigtige.

*Skjulte linjer* eller hidden line visning, hvor skjulte linjer ud fra en given projektion er fjernet. Det er kun muligt at fjerne skjulte linjer i flade og volumenmodeller.

*Skyggelagt* eller shaded er en visning, hvor der tages hensyn til lyskilder og overfladernes materialeegenskaber som farve, transparens, refleksion osv.

Solids og surface modeller kan vises både i tråd repræsentation med fjernelse af skjulte linjer eller skyggelagt. Det er ikke muligt at fjerne skjulte linjer eller skyggelægge flader i geometriske wireframes, da fladerne i disse er gennemsigtige.

## Indre sammenhæng

En anden synsvinkel på modellering af 3D-modeller er graden af indre sammenhæng i modellen og dens evne til at kunne modificeres. I og med at hovedparten af komponenterne i et bygværk ændres hypotigt under projekteringen, er det vigtigt, at modellen er let at modificere.

## Geometriske repræsentationer

En *objektorienteret model* betragtes i B3D sammenhæng som en model, der i videst muligt omfang repræsenterer et objekt fra den virkelige verden gennem en virtuel model. Et objekt repræsenteret i en computermode vil derfor både indeholde geometriske informationer såvel som oplysninger om materiale og tekniske egenskaber samt relationer til andre objekter. Da objektet ved noget om sig selv, er det muligt at danne forskellige geometriske repræsentationer afhængigt af det specifikke formål.

En *parametrisk model* indeholder en indre matematisk logik som gør, at hvis en parameter ændres, konsekvensrettes resten af modellen ud fra et foruddefineret regelsæt. Den matematiske logik kan bestå af vilkårlige sammenhænge, som ikke behøver at være lineære.

En *ikke-parametrisk model* er en model, som ikke indeholder viden om den fuldstændige indbyrdes sammenhæng. Modellen kan være nyttig i mange sammenhænge, men er mere omstændig at manipulere end en parametrisk.

## Klassifikation og identifikationssynsvinkel

En af ambitionerne for Det Digitale Byggeri er en øget brug og genbrug af 3D-modeller. Dermed er der behov for at kunne sortere og identificere geometriske elementer udfra byggetekniske begreber. 3D bygningsmodellen er således opbygget af byggeobjekter, som hver for sig udgør et element i modellen. Hvert objekt er derefter struktureret og klassificeret.

Ud fra en klassifikations- og identifikationssynsvinkel opereres der med følgende principper:

*Ren geometrisk element* er et geometrisk element eller en samling af elementer, som kan identificeres, men som ikke er klassificeret.

*Geometrisk element med indirekte klassifikation* er et geometrisk element eller en samling af elementer, som indirekte klassificeres fx gennem lag i en CAD-fil.

*CAD-objekt* er et element eller en samling af elementer, der i sig selv er forsynet med en identifikation og klassifikation, og som dermed kan identificeres via klassifikation uanset hvilket lag elementet er lagret på i et CAD-system.

*Objektorienteret model*, som for beskrivelsen omkring indre sammenhæng gælder det for den objektorienterede metode, at objektet er vidne om dets klassifikation, og dermed er objektet uafhængigt af lag i CAD-model.

Ved at kombinere de ovennævnte begreber er det muligt at opstille kombinationer, som identificerer hvilke principper, der bedst egner sig til modellering af bygninger.

## PROJEKTDATA

Projektdata kan opdeles i to sammenhængende former for data:

- Kernerdata
- Fagspecifikke data.

### Kernerdata

3D Kernerdata defineres som de data, der er fælles for alle parter i et projektforsløb. Og 3D kernerdata udgør derfor det helt basale grundlag for alle digitale arbejder. 3D kernerdata kan umiddelbart overføres og videreudvikles mellem de enkelte modelfaser i et kontinuerligt og dynamisk projektforsløb fra de første ideer over projektering og opførelse frem til drift- og vedligehold i hele byggeriets levetid.

Mængden af 3D-kernerdata vil desuden vokse over tid med den fortsatte udvikling af soft- og hardware. Visionen er en komplet, objektorienteret bygningsmodel, hvor de enkelte objekter indeholder relevante og definerede data. Disse data danner grundlag for de analyser og dataudtræk, og de er tilgængelige inden for de enkelte fagdiscipliner.

Projektet udvikles fra konkurrenceforslag over projektering og udførelse til driftsfasen, og der sker hermed både en forøgelse af den samlede datamængde og af de fælles 3D kernerdata.

### Fagspecifikke data

De omkringliggende fagspecifikke data er den del af den samlede datamængde, der kan udvikles og anvendes inden for

den enkelte fagdisciplin. De fagspecifikke data vil altid være en afspejling af tidens teknologiske stade og tager udgangspunkt i, at kernerdata anvendes. De fagspecifikke data vil være knyttet til den fagspecifikke model. Ideelt set vil alle data være samlet, men de teknologiske begrænsninger gør, at en opsplitning er nødvendig.

## 3D

### 3D-model

Begrebet 3D-model i forbindelse med computerbaserede systemer kan defineres som digitale (dvs. matematiske og talmæssige) informationer om de flader, der afgrænser bygningens form, samt informationer, som relaterer til bygningens rum og objekter. 3D-modellen er således opbygget af objekter, som indgår i den samlede 3D-model.

### 3D Objekt

De data, der er nødvendige for kunne beskrive et 3D objekt, er:

- *Objektets specifikationer*  
Specifikationer beskriver objektet ydeevne og karakteristika, geometri, materialetype, energimæssige relationer og pris.
- *Objektets lokalisering*  
Lokalisering beskriver, hvor i 3D-modellen objektet befinder sig.
- *Objektets relationer*  
Relationsdata beskriver, hvor objektet befinder sig i relation til 3D-modellen.

### 3D CAD-system

Et CAD-system til opbygning af 3D-modeller skal kunne anskue modellen og hermed konteksten som resultatet af en sammenhængende proces, idet løsningsforslag ikke er begrænset til alene at omfatte slutproduktet. Evalueringer foregår kontinuerligt i hele designprocessen og ofte på tidspunkter, hvor ikke mange af det endelige projekts karakteristika er kendte.

### Specielle forhold

3D objekter, der er gennemgående over flere etager, kræver specifikke modelingsmetoder. Generelt skal disse elementer opbygges med udgangspunkt i den etage, hvor de starter, men metoden må altid tilpasses i hvert enkelt tilfælde. Det kan især være hensigtsmæssigt at opbygge disse objekter som delelementer placeret på hver etage. Den valgte metode vil også afhænge af hvilket CAD-system der anvendes, idet de fungerer forskelligt.

## UDVIKLING AF MODELLER

### Model og faser

Ved en 3D-model forstås både de endelige løsninger og de ufærdige løse idédata. En 3D-model kan optage objekter i vilkårlig rækkefølge. Samtidig er der åbnet for projektændringer af alle aspekter i projektet på alle trin i projektforløbet, altså et dynamisk projektforløb. Objekterne kan opdeles og indeholde informationer omkring typer, aspekter og faser.

#### Objekttyper

- Bebyggelse
- Bygning
- Etage
- Rum
- Konstruktion og anlæg
- Bygningsdel
- Komponent

#### Aspekter

- Funktion
- Placering
- Produktegenskaber

#### Fase

- Program
- Skitsering
- Konstruktion
- Udførelse
- Drift

Den nuværende faseopdeling fokuserer på en række afklaringsforhold. Bygherren skal tage stilling til og godkende byggeprojektet på eet niveau, før projekteringen kan fortsætte på det næste. Denne

faseinddeling kan være begrundet i både den traditionelle projekteringsmetodik og herunder anvendelse af analoge værktøjer. Nye samarbejdsformer og nye relationer mellem bygherre og rådgivere kan begrunde overvejelser om det rigtige i at bibeholde den nuværende faseinddeling. I dag foregå en stor del af projekteringen i en langt mere dynamisk form. Dele af bygningen kan være afklarede, mens andre samtidigt undergår store forandringer. En mere dynamisk opdeling af faserne vil sammen med de hurtige redigeringsmuligheder og det valide beslutningsgrundlag skabe et bedre projekteringsforløb for alle parter: Rådgivere, udførende, leverandører og bygherre.

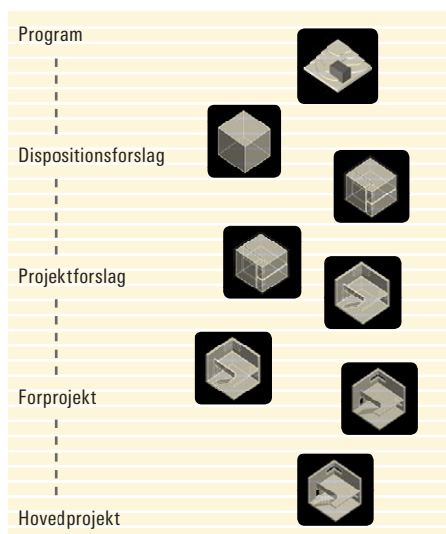
### Udvikling

I projektforløbet udbygges erfaringerne og data fra skitseforslaget i forbindelse med 3D simuleringer og opdateringer af bygherrens krav til arealer, volumen og sammenhæng på basis af 3D-modellen. Som i de tidligere faser kan 3D-modellen og de dertil knyttede beregninger og simuleringer underbygge og styrke argumentationen for de valgte løsninger. Løsninger og værdier antager i denne fase en mere eksakt karakter i relation til projektniveauet.

### Datakvalitet

Data har forskellige nøjagtighed alt efter, hvorledes de er skabt, og i hvilken sammenhæng de skal bruges. De enkelte bygningsdele er ikke alle afklarede på samme niveau i projektforløbet. Hvis man kun fastlægger eet kvalitetsniveau for de

tilførte kernerdata, vil man miste meget af den information, der er tilknyttet de mere afklarede bygningsdele. Vinduer og døre kunne i modellen optræde som fuldt opbyggede 3D produktmodeller med tilknyttede relationsdata omkring pris og materialedata, hvorimod en kompleks organisk tagkonstruktion kun ville indeholde krav om geometrisk afklaring. På grund af disse forhold er bygningsmodeller en blanding af 3D Produktmodeller og tegninger.



Faser / modeludvikling

## TERRÆN- OG BYMODEL

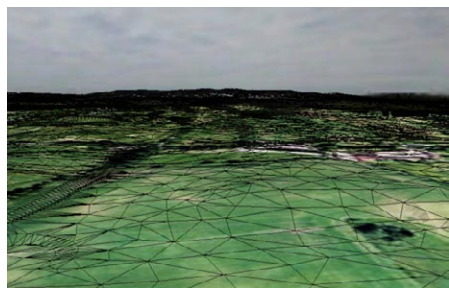
### Digitale område data

For at kunne vurdere bygningsmodellen i terræn eller by vil det være nødvendigt at sikre en korrekt placering i forhold til omgivelserne. Det kan medvirke til at vurdere placering, skyggeeffekter eller vindforhold.

Grundlæggende vil man skelne mellem en *terrænmodel* i det åbne land og en egentlig *bymodel* ved bynære områder. Der er forskellige krav til disse modeller og forskellige typer af anvendelser, som kort beskrives i det følgende.

### Terrænmodellen

Den klassiske terrænmodel genereres typisk ud fra en regulær punktsky over området, hvor hvert punkt indeholder en X,Y og Z koordinat. Ud fra denne punktsky kan man generere enten en overflade-model i form af fx et TIN (Triangulated Irregular Network) eller højdekurver. De er især populære blandt kortproducenter og arkitekter, som benytter dem til at lave lagkagefigurer over terrænet. En 3D-model vil vælge et TIN, der med sam-



Terrænmodel

menhængende trekanter beskriver hele overfladen, som den er med en veldefineret geometri. Arkitektbranchen foretrækker ofte højdekurverne, som de så laver om til en digital lagkagefigur.

Placerer man en bygning i åbent terræn er det væsentligt, at terrænmodellen ikke bliver for lille, idet en modelgrænse bliver meget tydelig fra et fugleperspektiv. Derfor bør man medtage flere kvadratkilometer af det omgivende terræn alt efter forekommende højdeforskelle og områdets karakteristik i øvrigt. Er der store højdeforskelle bør man medtage et større areal, hvorimod et relativt fladt terræn uden markante linjer eller andre tydelige elementer i landskabet kræver et mindre område.

Der findes udmærkede digitale terrænmodeller dækkende hele landet. De har en tilfredsstillende nøjagtighed og kan rekvireres hos kommercielle kortproducenter. Har man behov for en mere præcis og opdateret højdemodel, kan det blive nødvendigt med en laserscanning af området.

### Bymodellen

Skal projektet placeres i bynære områder kommer man reelt ikke uden om en bymodel, hvis man vil give sig selv og andre muligheden for at vurdere projektet i relation til dens omgivelser. Bymodellen består af tre hoveddele: Terrænet, bygningerne og resten, hvilket typisk er detaljer i bybilledet, som man ønsker at medtage, fx belysning, skiltning m.m.

Terrænet er ikke så simpelt at generere, selv med en højopløselig laserscanning. Det man i modellen vil betegne som terræn er menneskeskabte former og hårde flader og ikke naturligt, sammenlignet med fx en mark. En del af det arbejde, der må gøres i forbindelse med en bymodel, er således at skabe et realistisk underlag til bygningerne – et underlag som respekterer de kanter og spring, der måtte være på den del, man vil betegne som terræn.

Bymodeller er forholdsvis kostbare at producere, fordi hver bygning skal modelleres med en hvis detaljeringsgrad. Man må ved krav til bymodellen gøre op med sig selv, hvorvidt husene behøver at indeholde præcise tagformer eller ligefrem tagvinduer og karnapper. Det vil i sidste ende være en opvejning mellem behov og pris. Et større prismæssigt spring tager man, når man kræver teksturering på siden af facaderne med fotografier, så bygningerne fremstår genkendelige og mere realistiske.

Modellens størrelse har selvfølgelig en væsentlig indflydelse på prisen. Her kommer det primært an på projektets størrelse og betydning, idet nabobygningernes skyggevirkning over for den resterende by let spiller ind og gør en større model unødvendig.



Bymodel

# DETAILBESKRIVELSE AF MODELNIVEAUER

I det følgende kommer vi mere detaljeret ind på de forskellige niveauer i 3D-modeller. Niveaubetegnelser referer til "3D arbejdsmetoder 2006", kap. 3: "Informationsniveauer". Vi beskriver og viser eksempler på:

- Kravmodel / Niveau 0
- Volumenmodel / Niveau 1
- Rummodel / Niveau 2
- Elementmodel / Niveau 3
- Bygningsdelmodel / Niveau 4
- Konstruktionsmodel / Niveau 5
- Som udført model / Niveau 6

## KRAVMODEL / NIVEAU 0



Kravmodel – princip

### Beskrivelse

Formålet med kravmodellen er at definere og klargøre forskellige krav omkring byggesagen herunder

- Myndighedskrav
- Forhold omkring grunden og det omkringliggende miljø
- Bygherrens ønsker og krav til byggeriet.

Et vigtigt element i Kravmodellen er bygherrens rumprogram, der angiver geometriske krav og ydeevne til rum.

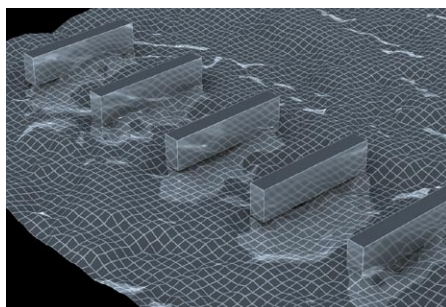
### Indhold af model

Samlet set indeholder kravmodellen de samlede krav til byggeriet. Men i 3D sammenhæng begrænser modellen sig

til at indeholde en 3D terrænmodel, og omkringliggende bygninger i det tilfælde bygherren finder det hensigtsmæssigt. Byggeprogrammets krav kan med fordel indlægges i en database. Herved bliver det muligt for at koble kravdata op mod med 3D Bygningsmodellen.

### Bestanddele

Terræn og eventuelt omkringliggende bygninger.



Terrænmodel opbygget med polygoner og bygninger som volumen

## VOLUMENMODEL / NIVEAU 1

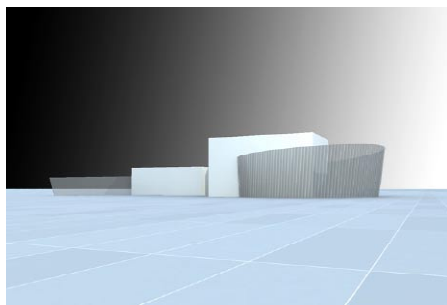


Volumenmodel – princip

### Beskrivelse

3D-volumenmodeller opbygges af geometriske grundformer, der er massive. I en volumenmodel er ude og inde kendt. Volumenmodellen kan benyttes i forbindelse med vurderinger af eksteriør, skyggeforhold mm. og kan anvendes til vurderinger af specifikke vindforhold, fx i en bymodel.

Ved mere specifikke vurderinger i forbindelse med fx skitseagtige simuleringer, definition og beregning af forskellige økonomiske eller funktionsmæssige zoner er det nødvendigt at stille yderligere krav til Volumenmodellen. Det kunne være krav om at forskellige bygningsmæssige karakteristika skal indarbejdes i modellen, at modellen opdeles i zoner, at åbninger i facaderne skal være modelleret, osv.



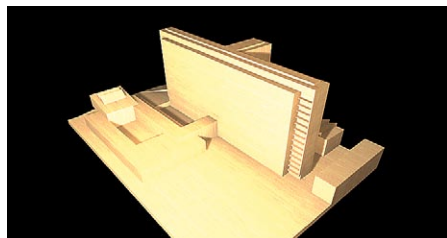
Eksempel på volumenmodel

### Kravindhold af model

Volumenmodellen opbygges af elementer som massive geometriske entiteter. Volumenmodellen er således alene en 3D geometrisk repræsentation, som afspejler en geometrisk form. Den indeholder ikke informationer om materialer, overfladestrukturer eller farver. Der kan stilles krav om at markante bygningselementer samt åbninger indgår i volumenmodellen, hvis den ønskes anvendt i forbindelse med overordnede vurderinger af termiske forhold.

### Klassifikation

Modellen kan klassificeres efter en systematik anført af bygherren.



Tom Cederqvist, CEJ Architects, Finland



Arkitema – volumenmodel med åbninger og markante bygningselementer

## RUMMODEL / NIVEAU 2



Rummodel – princip

### Beskrivelse

3D-rummodellen indeholder alene informationer om rummet, og ikke om de konstruktionselementer der omgiver rummet. Disse defineres som konstruktionsrummet, analogt til netto- og bruttoarealet. Rummodellens informationer relaterer sig til bygherrens krav som kan omhandle nedenstående forhold:

- Arealer
- Volumen
- Termiske forhold
- Akustiske forhold
- Brandtekniske forhold herunder evakuering
- Lys
- Møbler

Rum som koncept spiller en central rolle i designfasen som informationsbærer. Et veldefineret rumprogram og en veldefineret analyse af rumfunktioner skaber et godt grundlag for opbygning af projektet. Jo bedre kravene til rummene er defineret i Kravmodellen, jo lettere er det for projektgruppen at imødekomme bygherrens krav. Information omkring rum vil blive mere omfattende og nøjagtige, efterhånden som projektet udvikles. Nogle rumdata kan udtages direkte fra modellen (herunder arealer, volumen, dimensioner

og dermed mængdeinformation), mens andre informationer implementeres ved indtastninger i en database, så alle informationer har acces til modellen.

Rummodel danner ligeledes grundlag for en række tekniske simuleringer, eksempelvis indeklima, brand, virtual reality og visualisering.

### Kravindhold af model

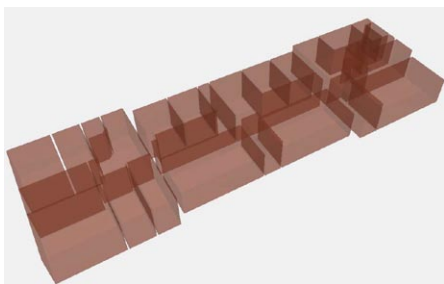
Rummodellen opbygges af 3D geometriske entiteter, der definerer rummenes fysiske afgrænsning og rumlige placering.

### Klassifikation

De enkelte rum kan klassificeres efter deres funktion, efter en systematik anført af bygherren.

### Navngivning

Hvert rum skal navngives/nummereres i henhold til rummets navn/rumnummer i den kommende bygning, jf. bygherrens angivelser i Kravmodellen.



Eksempel på rummodel

## ELEMENTMODEL / NIVEAU 3



Elementmodel – princip

### Beskrivelse

Elementmodellen er forløberen for bygningsdelmodellen, hvor elementerne er resultatet af den første nedbrydning af bygningen til afgrænsede bestanddele. Dvs.: Elementerne har en geometrisk form og placering og har identificeret overordnede funktionskrav.

Elementmodellen opbygges af geometriske elementer, der er defineret som 3D-objekter bestemt ved en grafisk repræsentation og en identifikation. Informationer kan gemmes i selve objektet eller i en database med acces til objektet. Elementmodellen er skitseagtig i sit grafiske udtryk. Den skal være udført med en korrekt og nøjagtig geometrisk opbygning, således at bygningsdelenes indpasning og relationer til hovedkonstruktionerne har en præcis afklaring. Alle åbninger skal være definerede. Der kan være krav til at dele af bygningen skal være specielt gennearbejdet og detaljeret. Og der kan være krav om definition af overflader i specifikke rum eller rumtyper.

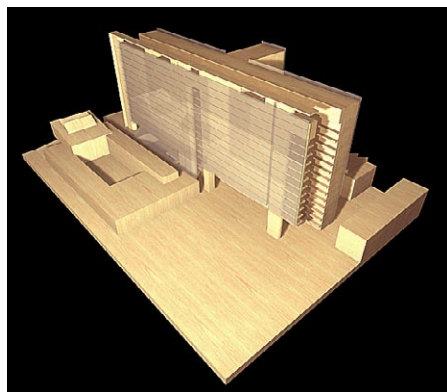
Elementmodellen giver mulighed for mere detaljeret tekniske simuleringer, eksempelvis akustik, lys, statik, brand, indeklima, virtual reality og visualisering

### Kravindhold af model

Modellen skal opbygges af elementer, svarende til en funktionel bygningsdel. Dvs. uden den detaljerede opbygning er kendt, hvor fx vægge modelleres uden en indre lagdeling.

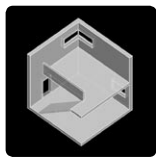
### Klassifikation

Elementerne klassificeres efter DBK-systemet.



Tom Cederqvist, CEJ Architects, Finland

## BYGNINGSDELMODEL / NIVEAU 4



Bygningsdelmodel – princip

### Beskrivelse

Bygningsdelmodellen indeholder bygningsdele, som er detaljeret til et niveau hvor kravene til deres ydeevne og opbygning er nøje specificeret – dog uden der er truffet træffes valg af et produkt fra en bestemt leverandør.

Bygningsdelmodellen er en videre udbygning af Elementmodellen. Også den er opbygget af geometriske elementer, defineret som 3D objekter bestemt ved en grafisk repræsentation og en identifikation. I Bygningsdelmodellen er der tilknyttet udfaldskrav til objektet. Og 3D objekter udføres med en detaljeringsgrad svarende til niveauet, idet forslag til den konstruktive opbygning af de enkelte objekter specificeres og vises i det grafiske udtryk. Informationer kan gemmes i selve objektet eller i en database og med adgang til objektet med mulighed for søgning og selektering.



Bygg i Trä – White Arkitekter, Sverige

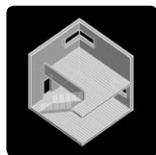
### Kravindhold af model

Bygningsdelene skal være beskrevet geometrisk svarende til den detaljeringsgrad bygningsdelen er specificeret til. Dvs. den geometriske model skal indeholde en lagdeling af en væg, da væggenes opbygning typisk vil være kendt på dette stade.

### Klassifikation

Bygningsdelen klassificeres efter DBK-systemet.

## KONSTRUKTIONSMODEL / NIVEAU 5



Konstruktionsmodel – princip

### Beskrivelse

Konstruktionsmodellen er en yderligere detaljering baseret på bygningsdelmodellens indhold. Alle konstruktive sammenhænge og de valgte materialer er fastlagt og indarbejdet i modellen. Informationer gemmes i selve objektet eller i en database med acces til objektet. Dvs. man kender her produkter fra bestemte leverandører samt produktdata og udførelsesdata. Modellen danner således udgangspunkt for detaljerede mængde- og prisberegning i forbindelse med udbud, tilbud og produktion. Konstruktionsmodellen kan endvidere benyttes i forbindelse med tidsplanlægning. Man kan tilknytte leveringstider og produktionstider, så modellen kan danne grundlag for den egentlige opførelse.

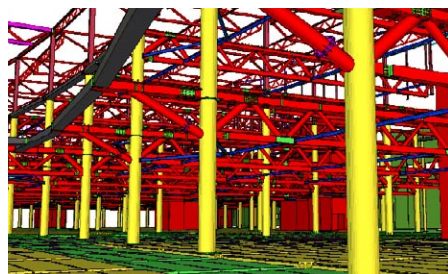
I en 3D produktmodel repræsenteres døre, vinduer, åbninger og rumudstyr (faste standardmøbler, faste specialmøbler, udstyr og anordninger) på et generelt plan, medmindre der foreligger et visuelt behov for at gengive dem mere detaljeret. En Konstruktionsmodel kan defineres som projektteamets opdaterede Bygningsdel-model, hvori data fra forskellige leverandører nu er linket til hvert enkelt byggelement. Alle byggelementer er gengivet

i overensstemmelse med deres virkelige struktur.

Digitale produktbiblioteker kan anvendes, under forudsætning af at de lever op til de detaljerede krav. Konstruktionsmodellen kan bruges til at udtrække numeriske data, herunder arealer, volumen og mængder, som grundlag for detaljerede kalkulationer. Endvidere kan Konstruktionsmodellen anvendes til at styre logistikken for at få en bedre og hurtigere produktion. Modellen kan også bruges til at lave kollisionskontrol mellem de forskellige bygningsdele og installationer. Konstruktionsmodellen kan desuden overføres til producenter, så den direkte kan anvendes til produktion.

### Kravindhold af model

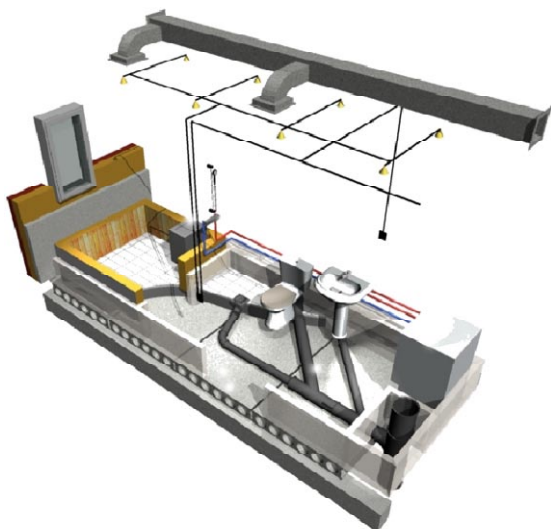
I bygningsdelmodellen angives elementets geometriske form og elementet placering. Modellens detaljeringsgrad skal være tilstrækkelig detaljeret til at det er muligt, at udtrække geometriske data til produktion og montage. I modellen kan der indgå produktspecifikke delmodeller.



Eksempel på konstruktionsmodel udarbejdet i Tekla

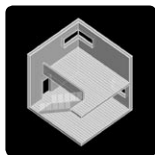
## Klassifikation

Bygningsdelen klassificeres efter DBK-systemet.



Produktmodel fra ProIT

## SOM UDFØRT MODEL / NIVEAU 6



Som udført model – princip

### Beskrivelse

Efter opførelse af byggeriet udføres der en endelig opdatering af modellen, så den fremstår som As-built og kan danne grundlag for udarbejdelse af anvisninger og driftsomkostninger i forbindelse med drift og vedligehold.

# ANVENDELSE AF 3D-MODELLER

Herunder beskrives fordelene ved 3D-projektering og brugen af Virtual Reality som såvel præsentationsform som udviklingsværktøj. Endvidere ser vi nærmere på de forskellige muligheder, det videre giver for hhv. visualisering og simulering – hvordan man kan fremstille og vise projekter og hvordan man kan undersøge forskellige forhold i og omkring bygningen med simuleringer: Lys, lyd, indeklima, vedligeholdelse, brand osv.

## 3D-PROJEKTERING

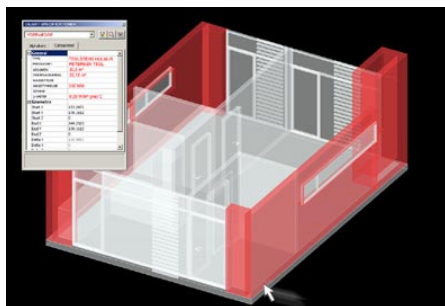
3D-projektering er betegnelsen for en projekteringsproces, baseret på udarbejdelsen af en 3D-model, hvorfra tegninger kan genereres og mængdemængder kan trækkes ud. Ofte vil man efter 3D-projektering overdrage den digitale 3D-model til entreprenøren sammen med tegninger og beskrivelser til dennes videre brug ved prissætning, planlægning, fremstilling og udførelse af byggeriet. Mulighederne i 3D-projektering giver en lang række fordele, der opvejer det ekstra tidsforbrug, der normalt er forbundet med at arbejde i 3D frem for i 2D.

De CAD-programmer, man bruger, er objektorienterede. Det betyder, at man bygger sin model op af byggekomponenter (objekter), der hver har en række egenskaber og attributter. Byggekomponenterne kan være bjælker, søjler, dæk, kanaler, vinduer, døre, vægge osv. som hentes i en database eller som specificeres specielt til projektet. Programmerne holder styr

på komponenterne og kan til enhver tid generere planer, opstalter, snit, isometrier og mængdelister.

Blandt fordelene ved 3D-projektering er:

- Bedre mulighed for at løse og overskue komplekse geometriske problemer
- Mulighed for kollisionskontrol og fejlfinding
- Nøjagtige mængdelister, der let kan opdateres efter ændringer
- Gode muligheder for visualiseringer
- Ikke nødvendigt at “starte forfra” ved udarbejdelse af arbejdstegninger
- Tidsmæssige fordele



3D projektering

## VIRTUAL REALITY

Virtual Reality er grafik, som beregnes i det øjeblik, man ser den på skærmen – hvad enten man står stille eller bevæger sig rundt i en 3D-model. Et af grundelementerne i Virtual Reality er muligheden for at interagere med en 3D-model, dvs. frit bevæge sig rundt i den eller ligefrem ændre i den. For nogle er måden grafikken vises på også et vigtigt element. Således er der forskel på at se grafikken på sin computerskærm, at bruge Head Mounted Displays eller projicere grafikken på skærme af forskellig størrelse og form. Skal man føle og opleve sin model med kroppen, er især de store skærme at foretrække. Når man inddrager alle elementer, der indgår i Virtual Reality, taler man ofte om VE, Virtual Environment eller Virtual Reality-miljø.

Begrebet Virtual Reality kan med fordel deles op i tre hovedelementer.

- Hardware
- Software
- Anvendelsesområder for Virtual Reality



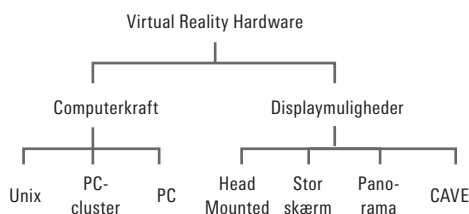
Virtual Reality

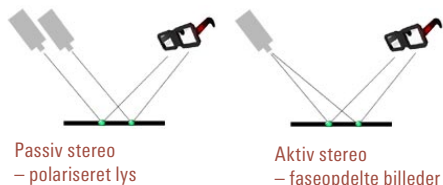
## Hardware

Hardwaredelen opdeles typisk yderligere i selve computerkraften og displaymulighederne (se figuren nedenfor).

Udviklingen inden for computerhardware til Virtual Reality bevæger væk fra de store og dyre UNIX dominerede grafiske arbejdsstationer til pc-baserede klynger såkaldte pc-clusters. Det falder helt i tråd med beregnings-clustre eller GRID computing. Virtual Reality hører til den gren af computergrafik, som har de største krav til computerkraften. Det er primært den grafiske beregning, der kræver stor computerkraft. Udviklingen af hardware er drevet af computerspil industrien. Kan man nøjes med en enkelt skærm eller relativ lav opløsning på flere skærme kan en enkelt pc i dag bruges i mange sammenhænge også til stereo. Generelt gælder det, at et Virtual Reality system bør kunne vise billeder i stereo.

At vise stereo går ud på at vise to forskellige billeder til hhv. venstre og højre øje. Dette gøres typisk med enten passiv eller aktiv stereo.





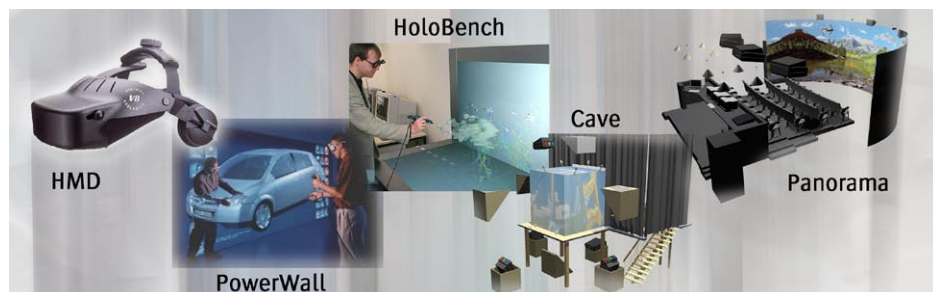
Ved passiv stereo bliver lyset polariseret, som man kender det fra rød/blå polarisering. Ved dyrere systemer polariserer man lodret og vandret. Hvert øje får således lys fra hver sin projektor. Ved aktiv stereo er brillerne aktive. Dvs. brillerne lukker af for hhv. venstre og højre øje i takt med, at der kun vises billeder til hhv. venstre og højre øje på skærmen. Det sker med op til 120 billeder pr. sekund.

Den anden del inden for hardware er de forskellige display muligheder. Her benytter man ofte et udtryk fra det engelske immersiveness altså en form for indlevelsesevne. Inden for Virtual Reality gælder det ofte, at kunne komme så tæt på en virkelig gengivelse som muligt, dvs. øge en persons indlevelsesmulighed mest muligt. Nogle af de første Virtual Reality systemer benyttede Head Mounted Displays (se figuren nedenfor). Disse ret tunge hightech-apparater er ofte stadigvæk indbegrebet

på Virtual Reality, men rent udviklingsmæssigt har de stået ret stille i mange år og benyttes ikke så meget mere. I stedet vælger man ofte storskærmsløsninger af forskellig form og størrelse eller ligefrem en såkaldt CAVE, hvor man for alvor får mulighed for at leve sig ind i den virtuelle verden, idet man er omgivet af grafik hele vejen rundt.

I figuren nedenfor ses nogle forskellige typer displaysystemer, men der findes mange andre relaterede systemer, som ofte bliver designet og bygget til ganske specifikke formål, som fx et virtuelt operationsbord.

En ikke ubetydelig del af hardwaren til et Virtual Reality system er tilknyttet interaktionsdelen. Generelt er apparatdelen til interaktion med den virtuelle verden ikke ret god næsten uanset, hvad man vælger. At navigere i et tredimensionelt rum på en todimensional skærm behøver ikke kun give vanskeligheder ved 3D-modelleringen, men også når man forsøger at navigere rundt i modellen. Der findes mange forskellige typer navigationsudstyr lige fra pen og mus til handsker og lignende. Som



Forskellige displaymuligheder

lægmand vil man gøre klogt i at lade en kyndig 3D-konsulent navigere i modellen under en større præsentation.

## Software

Sammenlignet med andre tekniske områder findes der forbavsende lidt kommercielt tilgængeligt software til Virtual Reality. Har man samtidig et krav om, at det skal være software til en overkommelig pris, bliver mulighederne indskrænket yderligere. Generelt gælder, at man ikke kan finde software til Virtual Reality og flerdisplaysystemer, hvor man samtidig kan konstruere og beregne sine modeller. En Virtual Reality præsentation vil typisk have gennemgået et forløb, hvor man tilretter en Virtual Reality model i et separat stykke software for derefter at overføre modellen til et Virtual Reality præsentationsprogram. Ofte vil det være muligt at indlægge events og alternative løsninger i denne model, så man kan vise disse i Virtual Reality og give modellen lidt liv uden at skulle vende tilbage til den oprindelige model.

Som bygherre må man typisk henvende sig til 3D konsulenter for at få hjælp til Virtual Reality præsentationer.

## Anvendelse af Virtual Reality

Hvorfor anvende Virtual Reality? Virtual Reality har sin berettigelse, når man ønsker at kunne bevæge sig frit i modellen og udforske den fra alle tænkelige vinkler. Ved en animation eller en rendering har man tendens til at fokusere på de smukke perspektiver og de pæne illustrationer.

Disse vil selvfølgelig være på sin plads, når projektet skal sælges eller præsenteres. I andre faser af designforløbet vil det være på sin plads også at betragte de uheldige vinkler og arbejde med dem. Har man gjort det, vil man med god samvittighed kunne lade det brede publikum eller ledelsen tage en fri vandring rundt i modellen og vurdere resultatet. Således vil Virtual Reality kunne benyttes som et medie til beslutningsstøtte og belyse væsentlige faktorer under et designforløb.

Mange er af den opfattelse, at hele 3D området mest af alt benyttes til at imponere med og derfor er bedst egnet i forbindelse med salg og markedsføring. Af samme grund kan det hurtigt blive for kostbart, hvis 3D arbejdet snævert benyttes til dette ene formål. Virtual Reality har sin berettigelse igennem hele forløbet til og med drift og vedligeholdelsen. Har man besluttet sig for at bruge 3D i sine designfaser, bør man gøre det fra starten. Selv ganske rå skitser kan med fordel præsenteres i et Virtual Reality-miljø eller som en simpel computergenereret 3D-skitse. Denne model ændres, forfines og testes i relevante sammenhænge.

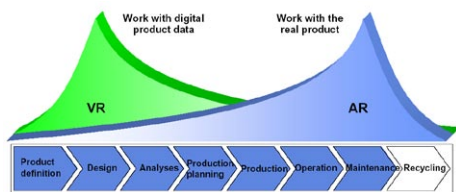
Det vil inden for nogle områder være muligt at udføre simuleringer, der efterligner produktets eller bygningens brugssituation, mens der stadigvæk kun er tale om en virtuel model. Den virtuelle model af det færdige produktdesign eller den færdige bygning vil herefter kunne benyttes til at analysere, hvorvidt det kan samles og produceres eller for bygningens vedkom-

mende, hvorvidt forskellige rørlægninger eller konstruktionsdetaljer er mulige.

Når bygningen står færdig, kan modellen bruges til andre formål inden for drift og vedligehold. Her tænkes ikke så meget på at have en model liggende i en database, hvor fx bygningens enkelte dele er repræsenteret som objekter. Her tænkes mere på anvendelsen af AR, Augmented Reality. Man bruger den samme 3D-model, som man har arbejdet på fra den første designskitse og ført hele vejen igennem produktionen, og som blev benyttet til salg og præsentation. Nu skal modellen augmenteres, dvs. indlejres i virkeligheden. En teknik man med fordel kan benytte i designfasen ved større bygværker i marken eller ved placering af nye maskiner i en produktionshal. AR kan udføres på mange forskellige måder, men den ultimative anvendelse har man, når man frit kan bevæge sig rundt, og når den virtuelle model er indlejret i et par briller.

Hvornår man vil bruge AR eller Virtual Reality afhænger meget af, i hvilken kontekst modellen indgår. I byggeriet vil der på sigt opstå et behov for at bruge AR ret tidligt i forløbet, idet man vil være interesseret i at se konsekvenserne i form af volumenstudier direkte i marken. Disse kan også vises med Virtual Reality så længe man vælger storskærms displayløsningen under beslutningstagningen.

Anvendelsen af Virtual Reality til beslutningstagning er prøvet før og vil kunne udvikle sig til at blive et ganske alminde-



Modelcyklus fra ide til genbrug i relation til Virtual Reality og AR.

ligt medie i forbindelse med et byggeprojekt. Eksempler på anvendelsen af Virtual Reality i et bredere perspektiv herunder detailprojekteringen og udførelsesdelen er der desværre kun få eksempler på. Det til trods for, at disse har vist en gavnlig effekt i forhold til blandt andet overholdelse af tidsplan og budget samt stor tilfredsstillelse blandt fremtidige brugere af byggeriet.



Model af bygning indlejret i briller



Skjulte ledninger kan ses i briller

## VISUALISERING

### Generelt

Visualisering indgår i bygherrens beslutningsproces i forbindelse med præsentation, vurdering og bedømmelse af projektet i alle faser. I designprocessen danner visualisering grundlag for diskussion og kommunikation omkring valg af detail, overflader, materialer, rum og form i forbindelse med projektgruppens vurderinger af muligheder og valg til projektet. Visualisering i forbindelse med 3D er ofte blevet opfattet som synonymt med computergenerede fotorealistiske og perspektiviske afbildninger. Men da visualisering kan defineres som den handling, det er at danne et billede af noget man forstiller sig, så er enhver tegning, enhver simulering i forbindelse med et byggeprojekt en visualisering. En visualisering, der understøtter, dokumenterer og supplerer den verbale argumentation og kommunikation samt byggesagens tilhørende tekstdokumenter.



Eksempel på visualisering

### Visualisering

I projektkonkurrencer kan computer-visualiseringer gengive en idé, et koncept og et udtryk. Visualiseringer kan anvendes til at understøtte bygherrens vurderinger af arkitektur, form, rumforløb, møblering, lysforhold, specifikke overflader, men også som et internt redskab i projektgruppen til at understøtte valg af løsninger. Visualisering kan endvidere anvendes i projektets senere faser i forbindelse med kommunikation til de udførende, specielt om detaljløsninger.

Med computervisualiseringer er der mulighed for at skabe mange spændende visuelle udtryk. Det er muligt at udføre fotorealistiske stillbilleder med tekstur og farver, så bygherren, der ikke umiddelbart kan forventes at have indsigt i rummelige og byggetekniske forhold, vil være i stand til at forstå og opfatte de arkitektoniske og rumlige muligheder.

Grundlæggende er det vigtigt, at de projekterende på en overbevisende måde, via et eller flere kommunikationsmedier, er i stand til at videreformidle visioner og projekter, så der kan opnås en åben og konstruktiv dialog med bygherren, offentligheden og de udførende.

I forbindelse med vurderinger af forslagens relationer til de omkringliggende bygnin-  
ger er det vigtigt at visualiseringerne giver et korrekt billede af byggeriets volumen, proportioner og materialevalg. Offentligheden kan have svært ved at aflæse planer og snit i forbindelse med en bedømmelse

af forslagenes volumener i forhold til den omkringliggende bebyggelse. Her vil en enkel model ofte give et meget fint vurderingsgrundlag, og disse visualiseringer kan derfor danne et reelt grundlag for offentlighedens bedømmelse af forslag til nye projekter.

### Den gode idé

I forbindelse med visualisering anvendes der mange forskellige former for udtryk, arbejdsmetoder og teknikker. B3D Konsortiet vil ikke med Bygherrekrav 3D-modeller lægge generelle begrænsninger på de projekterendes arbejdsmetoder, værktøjer og udtryksmåder. Kravspecifikationerne må ikke forhindre arkitektens gode ide, fascination af et motiv, såsom Utzons skitser af kumulusskyer over Hawaii, der endte som loftet i Bagsværd kirke.

Det er B3D Konsortiets opfattelse, at kravene ikke må udelukke muligheden for at vinde en projektkonkurrence på den gode ide, det geniale greb, det unikke koncept. Men bygherrens krav til akustik, termiske

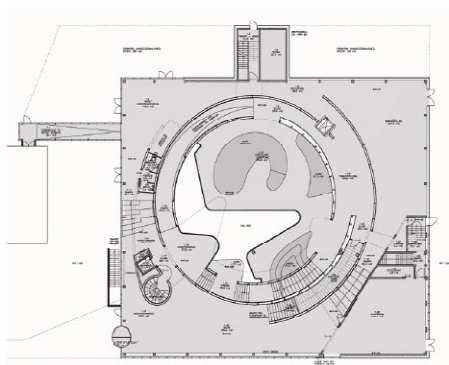
forhold, brand, rum, etc. skal naturligvis være overholdt og dokumenteret.

### Visuelle udtryk

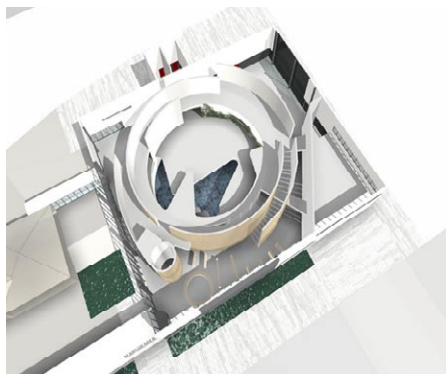
B3D Konsortiet ser således, at disse krav vil eksistere sammen med en bred vifte af værktøjer og medier til kommunikation, herunder både håndskitser og fysiske modeller udført i materialer og med et visuelt udtryk, som de projekterende selv vælger, medmindre der i udbudsmaterialet er stillet specifikke krav til disse præsentationer.

### Kravspecifikationer

Kravspecifikationer stiller kun specifikke krav til nøje afgrænsede områder af det projektmateriale, der skal afleveres i forbindelse med de forskellige faser. De krævede visualiseringer indgår derfor alene som en del af det samlede projektmateriale. Bygherren ønsker med disse krav, at der på klart definerede områder er muligt at foretage en direkte sammenligning mellem de forskellige forslag i projektkonkurrencer.



Naturama – Plantegning opbygget på CAD, raffineret i PhotoShop



Naturama – isometri. Rumlig afbildning skaber en større forståelse for rum og funktion.

## Troværdighed

Troværdigheden er et meget vigtigt aspekt. For tegningen og visualiseringen kan som den ene yderlighed blive brugt til redeligt at informere bygherren og offentligheden om, hvad man kan forvente. Som den anden yderlighed kan visualiseringer blive brugt som visuelt blændværk, der kan tilsløre projektets svagheder, så den reelle sandhed om projektet først fremkommer, når byggeriet er opført.

Talentfulde arkitekter kan med en håndskitse præcist og hurtigt udtrykke intentionerne bag en ide, et koncept, en form. Disse skitser vil meget ofte indeholde et udtryk, en nerve, en vision. Det er B3D Konsortiets opfattelse, at det med udgangspunkt i en faglig indsigt og holdning til mediet er muligt at udarbejde computervisualiseringer, der på samme måde som håndtegningen udtrykker essensen i et projekt, og som underbygger forslagets koncept.



Fåborg Havn – perspektiv. Håndtegnet på computerudtegning

## Fortolkning

Anvendelse af Virtual Reality kan medføre, at det på grund af operative forhold er nødvendigt at holde tekstur og farver på et relativt højt abstraktionsniveau. Det kan betyde at beslutningstagere, der ikke har byggefaglig indsigt, har svært ved at forstå og opfatte de arkitektoniske og rumlige muligheder. Visualiseringer kan holdes på et lavt abstraktionsniveau, og de vil i mindre grad blive genstand for tolkning. Herved opstår mulighed for at brugerens opfattelse af de fremlagte forslag i højere grad kommer til at stemme overens med de rumlige og oplevelsesmæssige forhold, der rent faktisk bliver udført.

## Forventninger

Visualiseringer i de første projektstader handler i høj grad om at skabe forventninger. Ved hjælp af de første visualiseringer kan man præcisere et koncentrat af forslagets konceptuelle ide.

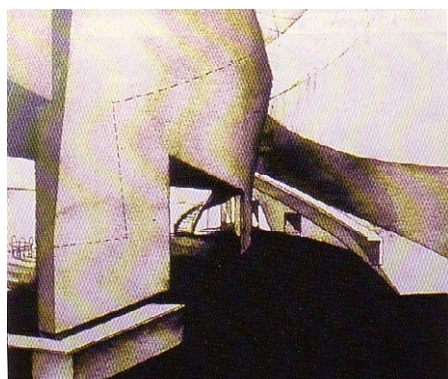


Fåborg Havn – facade. Kombination af håndtegning og PhotoShop.

Dette forhold stiller naturligvis store krav til validiteten og indholdet. Der må ikke opstå usikkerhed omkring fortolkningen af forslaget. Det er derfor altafgørende at sikre sig, at der i forbindelse med disse visualiseringer er en meget høj grad af overensstemmelse mellem de beskrevne og viste volumener, højdeangivelser, faktuelle forhold og oplysninger beskrevet i offentliggjort supplerende projektmateriale.

### Inspiration

B&M Architect i Finland havde i sin søgen efter nye udtryksformer også arbejdet med fotorealistiske computerbilleder. Men de måtte konstatere, at når de arbejdede med blå himmel, træer og reflekterende marmorgulve mistede selve designarbejdet sin tiltrækning. Der var intet tilbage til fantasien, og der blev brugt alt for mange ressourcer på at skabe den uvirkelige kunstighed.



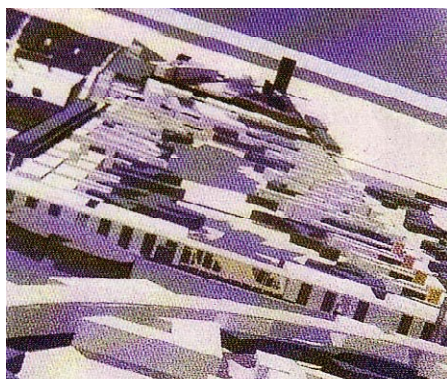
Museum Helsinki – idéskitse. Steven Holl. Kombination af håndtegning, computertegning og akvarelteknik.

B&M Architect har søgt andre veje. De har demonstreret vilje, evne og begejstring til at afprøve nye medier, relationer og visuelle udtryk i forbindelse med computervisualiseringer. Deres udtryk er inspireret af den italienske maler Giorgio De Chirico, der skabte det metafysiske maleri – en række prospekter af surrealistiske arkitekturlandskaber. På den baggrund og efter intense studier af lys, perspektiv og flader har B&M Architect udviklet et spændende grafisk udtryk med enkle farver, lys og synsvinkler for derved at give udtryk for essensen i deres projekter. Tegnestuen anvendte teknikken i forbindelse med et forslag til et administrationscenter i Al Jufrah i Libyen og har senere udviklet denne teknik i forbindelse med deres 2. præmieforslag til en masterplan for Ørestaden.

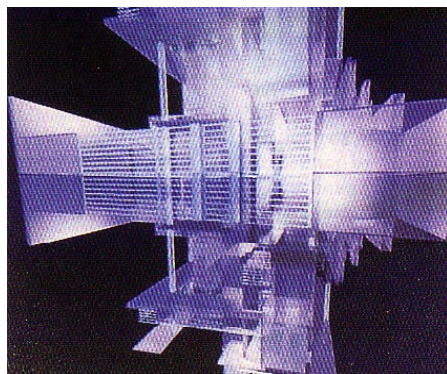


Museum Helsinki – det færdige byggeri

Arkitekt Alenka Delic fra Kroatien har arbejdet med visualiseringer med et næsten emotionelt udtryk. Hun har med udgangspunkt i en klassisk tegneundervisning søgt nye udtryksformer i forbindelse med en digital projektfremlæggelse. Hun vil gennem sine visualiseringer vise os arkitektur, som den påvirker os. Hun søger i sine computerbilleder at tolke vore følelser i en næsten uendelig palette af optiske virkemidler, og hendes næsten drømmeagtige visualiseringer fremstår alene af farver og lys.



B&M Architect – masterplan for Ørestaden

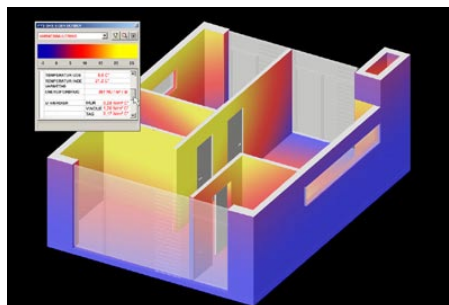


Arkitekt Alenka Delic

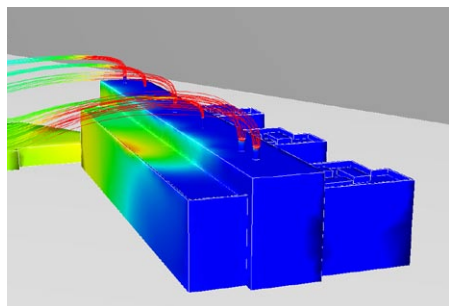
## SIMULERING

Computersimulering af tekniske problemstillinger har været i stadig vækst siden 60'erne og er i dag almindelige – selv i mere ordinære byggerier. Simulering anvendes inden for design, konkurrence og den projekterende fase af byggeprocessen. Simuleringer anvendes primært for at optimere eller sikre bestemte forhold i bygningen, men kan også medvirke til at undersøge situationer, hvor der er opstået problemer.

Ved en simulering forudsiges, hvordan bygningen vil opføre sig, når den udsættes for forhold, som er vanskelige at finde



Princip for simulering



Eksempel på simulering

en analytisk beskrivelse for. Herved kan man forudsige bygningens virkemåde under den givne påvirkning. Eksempler kan være: Om den mekaniske røgudsugning virker hensigtsmæssigt ved en brand indeni bygningen, eller om kølekapaciteten i bygningen kan håndtere en varm sommerdag.

Den voksende computerkraft har medført udbredelse af software til simuleringer, der relaterer sig til byggeriet. I dag er det muligt at simulere termiske forhold, luftstrømme/vindpåvirkninger, væskestrømme, lys, akustik, statik (konstruktive virkemåde), brandudbredelse, fugttransport, afgangning, evakuering, kødanelse eller handicaptilgængelighed. Der anvendes også simuleringer i forbindelse med estimering af anlægsomkostninger og driftøkonomi.

Ved at bruge simuleringer, har man mulighed for at dokumentere, at bygherrens eller myndighedskrav er opfyldt.

Dokumentationen bygger på resultater fra simuleringerne i en bestemt præsentationsform, som sikrer, at de rigtige informationer leveres til bygherren eller myndighederne.

Mængden af beregningsdata som simuleringerne i dag giver er meget store, og derfor anvendes i stigende grad visualisering til at håndtere simuleringresultaterne.

I dag anvendes typisk simulering inden for følgende områder:

- Akustik
- Evakuering og kø
- Indeklima
- Brand
- Lys
- Statik

Og hvor de økonomiske relationer undersøges inden for:

- Anlægsomkostning
- Driftsøkonomi
- Projekteringsrelaterede simulering
- Tidsstyring/tidsplan

De mange forskellige typer simuleringer stiller forskellige krav til, hvilke datatyper der skal anvendes. Nogle former for simuleringer kræver en bestemt detaljeringsgrad, mens andre kun kræver en overordnet beskrivelse. Herved er abstraktionsniveauet for information vidt forskelligt. De forskellige simuleringstyper anvender oftest specifikke informationer, som kun tilføjes modellen inden for et bestemt område.

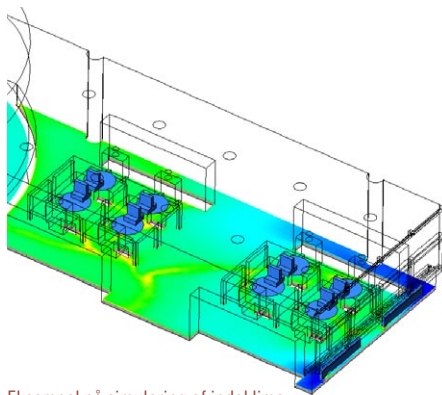
En samlet 3D-model, der kan anvendes til alle områder inden for simulering, er derfor vanskelig at skabe. Det vil i stedet være nødvendigt at udnyttet bygningsmodeller på forskellige niveauer fx Volume-, Rum-, Element- eller Bygningssdel model.

De fleste simuleringsmetoder tager dog udgangspunkt i en simplificeret bygningsgeometri, hvor unødvendige detaljer ikke er medtaget.

Et væsentligt grundlag for at genanvende 3D-modeller er af økonomisk karakter,

da man ved at genanvende dele af en model kan reducere modelleringstiden. Denne proces vil endvidere skabe en mere dynamisk og fleksibel anvendelse af bygningsdata, hvorved ændringer hurtigere kan gennemføres uden at påvirke projekteringsfasen og økonomien i negativ retning. Ligeledes kan modellerne medvirke til at undersøge, hvilke omkostninger der er forbundet med valg af komponenter. Yderligere kan valg af materialer have indflydelse på driftsomkostninger i bygningens levetid. Et eksempel kan være anvendelse af trægulv i stedet for linoleumsgulv.

Den stigende anvendelse af forskellige former for simuleringer stiller større krav til behandling af de grundlæggende data, eksempelvis bygningsgeometri. En ændring i udformningen af bygningen vil skabe en dominoeffekt i de anvendte simuleringssområder, idet der i dag ikke trækkes informationer fra en fælles database. I dag er anvendelse af data styret af byggeriets faseopdeling. Arkitekten skaber tegninger over bygningen, men sender oftest kun 2D-teg-



Eksempel på simulering af indeklima

ningerne videre til ingeniørfirmaet. Tegningerne sendes herefter videre til de forskellige områder, der benytter bygningsgeometrien til at udføre nødvendige beregninger og simuleringer. I denne proces kan revisioner af tegninger medføre et tab af ændringer, hvorved beregninger og simuleringerne gennemføres på et forkert grundlag.

De projekteringsrelaterede simuleringer kan endvidere drage nytte af 3D-modellerne, idet specielle forhold kan afklares på et tidligere stadie af projekter. Eksempler er dimensioneringen af fordelingsanlæg til el/kraft eller specielle ventilationsbehov for et serverrum til store computersystemer. Opgradering af eksisterende systemer ved en funktionsændring i bygningen kan

derved have store omkostninger. Simulering kan også bruges til at opnå personsikre forhold under brand eller bedre vindkomfort omkring bygningen.

Tidsstyring-Tidsplanlægning er et nyt område, som benyttes i forbindelse med projektering vedrørende planlægning af tid, visualisering af tidsplan, risikoanalyse omkring økonomi og forsinkelse i byggeriet eller andre usikkerhedsfaktorer.

Generelt anvendes der i dag ikke nogen form for fælles 3D-model mellem de forskellige områder inden for projektering.

Tidligere opbyggedes nye geometriske modeller for hvert område, hvorefter de

| Funktion                                                          | Eksempler på programmer                                                                        | Nødvendige data fra bygningsmodel/eksempler                            | Rand-betingelser                                                             | Opbevaring/format                          | Resultaters karakteristika |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|
| Akustik                                                           | Odeon, Acoubat sound                                                                           | Geometri/objekter: (3D): dxf, ifc                                      | Fysik, materialeegenskaber, lydkilder                                        | Programspecifikt dataformat                | 3D data sæt                |
| Brand                                                             | Argos, CFD, Branzfire                                                                          | Geometri/objekter: (2D): dxf, dwg (3D): dxf, dwg, iges, stl, ifc       | Fysik, materialeegenskaber, brandeffekt                                      | Programspecifikt dataformat                | 2D data sæt<br>3D data sæt |
| Evakuering                                                        | Simulex, exodus, Steps, Solibri                                                                | Geometri/objekter: (2D): dxf, dwg (3D): ifc                            | Ganghastighed, reaktionstid, personantal, fordeling                          | Programspecifikt dataformat                | 2D data sæt<br>3D data sæt |
| Indeklima:<br>– termisk/energi/økonomi<br>– atmosfærisk/vindmiljø | BSIM, TSBI, BV98, DOE2, Energyplus, Riiska, Transys, Winclimat, CFD                            | Geometri/objekter: (2D): dxf, dwg (3D): dxf, dwg, stl, parasolids, ifc | Fysik, materialeegenskaber, effekter                                         | Programspecifikt dataformat                | 2D data sæt<br>3D data sæt |
| Belysning                                                         | Fabalight, Louiswin, Optiwin, Calculux, Prolight, Adeline, Lightscape, Pinball/belys, Radiance | Geometri/objekter: (2D): dxf, dwg (3D): dxf, dwg, 3ds, ifc             | Materialeegenskaber: (refleksion, farve, transmittans etc.), belysningsinput | Programspecifikt dataformat eller dwg, 3DS | 2D data sæt<br>3D data sæt |
| Statik: konstruktion                                              | GTStrudl, Lusas, QSE, Stradpro, Robot, Sofistik, Strusoft                                      | Geometri/objekter: (2D): dxf, dxf (3D): dxf, dwg, ifc                  | Fysik, materialeegenskaber                                                   | Programspecifikt dataformat                | 2D data sæt<br>3D data sæt |

Funktionsområde og basis data for det tekniske simuleringsområde.

forskellige fysiske og randværdimæssige parametre blev tilført den geometriske model for at kunne udføre simuleringen.

Denne opbygningsfase er i mange tilfælde den mest tidskrævende, og ligeledes er den behæftet med størst usikkerhed, eksempelvis når de geometriske data indtastes.

Et fælles grundlag for geometriske data vil i mange henseender være ønskeligt. Det vil medvirke til hurtigere implementering og udførelse af simulering samt være en sikring mod fejlfortolkning af generelle data.

I dag anvendes simuleringer i mange sammenhænge til at forudsige forhold i forbindelse med bygningens driftssituation. Simuleringer er derfor allerede i dag med til at sikre bedre løsninger for bygningens bruger.

En bedre og mere optimal integration af værktøjerne vil dog gøre det både driftmæssigt og økonomisk mere attraktivt at inddrage simuleringer tidligere og som en mere integreret del af designprocessen – for herved at opnå et forbedret beslutningsgrundlag og dokumentation.

Allerede i udbudsfasen ville det være muligt at benytte simuleringer til afklaring af forskellige parametre inden for indeklima, energi og driftsøkonomiske forhold for bygningen. Områder som brand, evakuering eller kødannelse, der kan påvirke design, brugsforhold eller andre arkitektoniske forhold kan ligeledes afprøves.

For at udnytte koblingen mellem de forskellige simuleringsområder er det vigtigt at undersøge, hvilke krav og funktioner, bygherren ønsker opfyldt – med fokus på hele processen. Dette sammenholdes med simuleringsværktøjernes behov samt det resultat, der skal leveres som dokumentation.

Dataudveksling og datadeling inden for byggeområdet har været præget af spredte satsninger på markedet. Herved er der opnået løsninger inden for bestemte områder, men det har ikke været muligt at skabe en fælles dataudvekslingsstandard. Det har desuden været en hindring i forhold til at etablere en kommunikation på tværs af programmer, som ikke ville eller kunne følge de dominerende markedskræfter. Idet mange af simuleringsprogrammerne stammer fra andre ingeniørområder, er de ikke specielt optimerede til at importere data fra byggeområdet eller de CAD programmer der primært anvendes inden for byggeområdet.

Der vil således være behov for at kunne konvertere fra bygningsmodellen til forskellige formater for at kunne genbruge data i forskellige programmerpakker. Det vil ofte være nødvendigt at bente mere eller mindre proprietære dataformater i dataudvekslingen med simuleringsprogrammer.

Med en mere udbredt anvendelse af 3D-modeller vil man kunne danne grundlag for en større grad af partnering i projekter og dermed medvirke til øget udvikling, hvorved konsekvenser af ændringer vil kunne synliggøres for alle projektdeltagere.

## Funktionsbeskrivelse og simuleringmetoder

I dag anvendes typisk simulering inden for følgende områder i projekteringsfasen:

- Akustik
- Evakuering og kø
- Indeklima
- Brand
- Lys
- Statik

Og hvor de økonomiske relationer undersøges inden for:

- Anlægsomkostning og driftsøkonomi
- Projekteringsrelaterede simulering
- Tidsstyring/visualisering

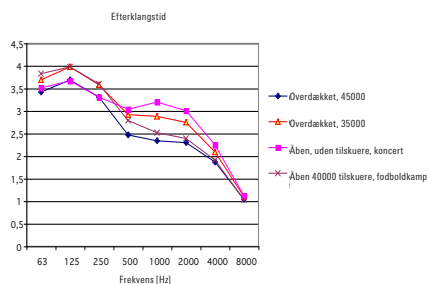
I de efterfølgende afsnit beskrives simuleringsskemaerne og deres muligheder.

## Akustik

Inden for akustisk simulering er der flere forskellige modelleringsmetoder. Den simpleste analytiske metode til bestemmelse/simulering af akustikken i et rum består i beregning af efterklangstiden efter Sabine's formel og i visse tilfælde (store rumvolumener) efter Sabine Eyring's formel.

Med formlerne beregnes en gennemsnitsværdi for rummet. Da beregningsformlerne ikke tager hensyn til de absorberende fladers placering i rummet eller til rummets udformning, er der relativt stor usikkerhed på beregningsresultatet ved store rum og ved rum med kompleks udformning. For at kunne gennemføre beregninger efter disse relativt simple metoder kræves der kendskab til rumvolumenet og til absorptionskoefficienten for rummets overflader og for inventar.

Beregningerne udføres sædvanligvis ved heloktaverne 125-4000 Hz, ligesom gennemsnitsværdien for dette frekvensområde beregnes. Hvor der er tale om byggeri, som er underlagt bestemmelserne i Bygningsreglementet [BR 95 eller BR-S 98], tilpasses beregningerne bestemmelserne heri, fx med hensyn til betragtet frekvensområde og gennemsnitsværdi. Beregning af efterklangstiden efter Sabine's formel (eller Sabine Eyring's formel) tilfredsstiller normalt de nugældende krav til forhåndsdokumentation af overholdelse af bestemmelserne i Bygningsreglementet.



Beregnet middel-efterklangstid i Arena



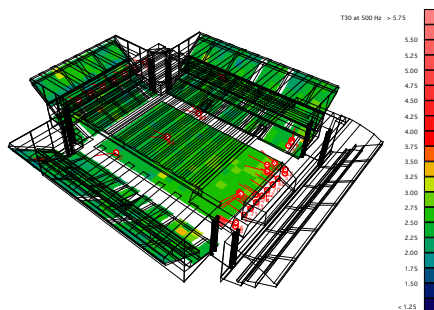
3D illustration af absorberende flader i Arena.

En mere avanceret metode til simulering af akustikken i et rum findes i specifikke edb-programmer som for eksempel ODEON. Ud fra rummets geometri og overfladernes absorption bestemmes rummets akustik udtrykt ved en række forskellige parametre. Programmet har ydermere den facilitet, at man kan "lytte" til akustikken i rummet. Med valgfri lydkilde kan beregningsprogrammet auralisere lydforholdene i et vilkårligt punkt i rummet. Beregningsprogrammerne finder deres berettigelse i forbindelse med bestemmelse af akustikken i store rum som fx koncertsale, auditorier, arenaer, lufthavnsterminaler, banegårde, foyerer og fabrikshaller.

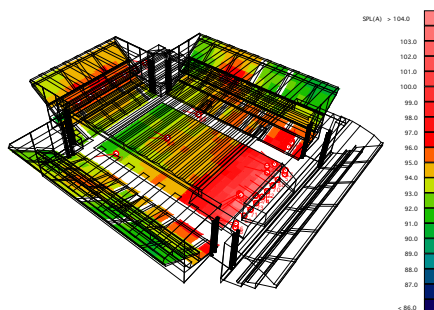
Akustiske programmer arbejder ud fra en 3D-model, som enten opbygges individuelt i programmet eller ved import fra CAD-system.

Af de akustiske parametre, som beregnes i akustiske simuleringsprogrammer kan bl.a. nævnes:

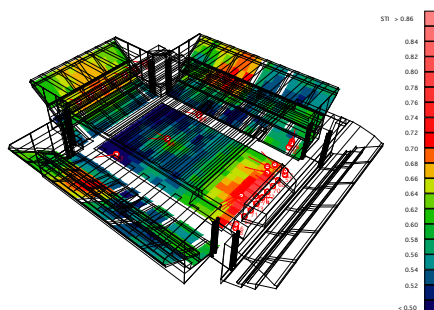
*Efterklangskurver* – Quick Estimate, som baserer sig på statistiske formler og Global Estimate, som anvender "ray tracing" princippet og således tager hensyn til



Beregnet efterklangstid ved 500 Hz på tilskuerpladser i Arena.



Beregnet lydtryks-niveau på tilskuerpladser i Arena.



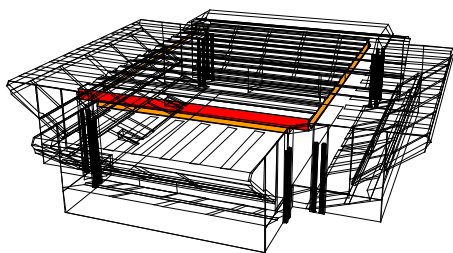
Beregnet taleforståelighed (STI) på tilskuerpladser i Arena

rummets udformning, til lydkildens placering og til placeringen af de absorberende overflader. Beregningsresultatet ved Global Estimate ligger meget tæt op ad resultatet fra en traditionel efterklangsmåling.

*Ray Tracing* – Diagrammer, der viser “lydstrålernes” bane i rummet, er et værdifuldt værktøj i forbindelse med optimering af rummets geometri.

*Reflektogram* – Diagrammer, der viser forsinkelsen og størrelsen af alle refleksioner. Ud fra reflektogram og Ray Tracing diagram kan problematiske overflader lokaliseres.

*3D-kort* – Alle inddaterede og beregnede parametre kan illustreres i 3D. Det kan således fx illustreres, hvordan absorptionen er placeret/fordelt i rummet, eller det kan illustreres, hvordan efterklangstiden, lydtrykniveauet eller taleforståeligheden (STI) er overalt på fx gulv og tribuner, hvor personer opholder sig.



Uhensigtsmæssige reflekterende elementer i arena lokaliseret ved auralisering.

*Auralisering* – I princippet kan ethvert digitalt lydsignal afspilles i relevante punkter i rummet. Og resultatet kan med hovedtelefoner aflyttes tredimensionelt i et hvilket som helst punkt i rummet. Det er således muligt at “prøvelytte” et rum med den lyd, som det er beregnet for – fx en multihal med forskellige former for musik, tale eller anden lyd. Auralisering er også et vigtigt værktøj, når der fx skal undersøges for flutter-ekko.

### Evakuering og elevator/kø simulering

I Bygningsreglement (BR95) stilles krav om, at der i forbindelse med evakuering af en bygning ikke må forekomme temperatur, varmestråling, røgkoncentrationer eller andre forhold, som hindrer evakuering. Det tidsrum, der benyttes til evakuering (evakueringstiden), består af tre parametre:

- Varslingstid
- Reaktions- og beslutningstid
- Gangtid

*Varslingstiden* er den tid, der går fra brandens antændelse til personerne i bygningen er gjort opmærksomme på brand.

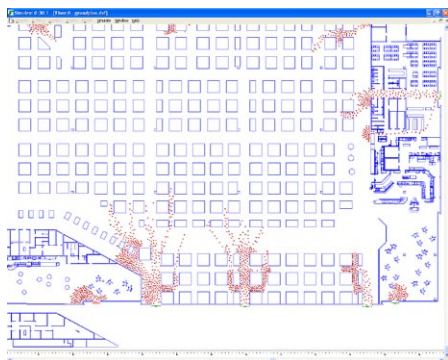
*Reaktions- og beslutningstiden* er den tid, der går fra personerne er blevet varslet til personerne beslutter sig for at bevæge sig mod en udgang,

*Gangtiden* er den tid, det tager personerne i bygningen at komme til terræn i det fri eller anden sikker lokalitet i bygningen. Med hensyn til evakueringen er det vigtigt, at gangtiden ikke er for stor.

For at undersøge kapaciteten i gang-, rum- og trapeområder i forbindelse med evakuering eller kø anvendes simuleringer til at undersøge personers reaktion, valg af rute og gangtid.

Ligeledes benyttes denne type af simulering til undersøgelse af kødannelse i bygninger inden for bestemte områder med en specifik funktion, så som indgangs- og udgangsområder, trapper, garderober, barer etc.

Disse typer simuleringer anvender som udgangspunkt en geometrisk model af



Eksempel på resultat fra evakuerings-simulering vist i hhv. 2D (top)(rød prik=person) og 3D (bund)

bygningen, oftest i form en dxf/dwg fil. Resultater vises i form af animationer af personer, der bevæger sig igennem bygning og kan enten være 2D eller 3D billeder.

Med hensyn til dokumentation af evaluering eller kødannelse stilles der som oftest ikke krav om et specifikt program til udførelsen af simuleringen.

### Indeklima

I forbindelse med projektering af en bygning udarbejdes en bygningsbeskrivelse, hvor bygherren opstiller krav og specifikationer til indeklima og komfort. Bygningsbeskrivelsen indeholder således funktions- og driftskrav til det termiske miljø i bygningen. Disse funktionskrav tager ofte udgangspunkt i Indeklimahåndbogen (SBI-anvisning nr. 182) eller Dansk Standard (DS-473 eller DS-1752).

Herudover opstilles specifikke krav til:

- Termisk varmebelastning i bygningen
- Operationel, maksimal, minimal temperatur
- Maksimale lufthastigheder
- Komfortfaktor
- Energi- og driftsøkonomiske forhold
- Ventilationsprincip (naturlig, hybrid, mekanisk)
- Luftmængder
- Køle- og varmeflader
- Andre interne påvirkninger
- Lugt- og fugtspredning
- Solindstråling, maksimal påvirkning
- Eksternt miljø
  - vindmiljø
  - lugtspredning

Disse informationer medtages til simulering som input i undersøgelsen og den senere dokumentation.

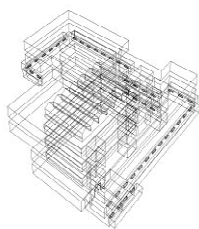
Ud over håndberegninger er de anvendte beregningsmetoder inden for indeklimateknik:

- Zonemodeller
- CFD-modeller (Computational Fluid Dynamics = Numerisk Strømningsmekanik)

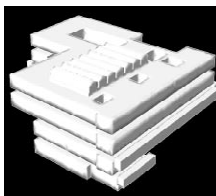
*Zonemodeller* er karakteriseret ved, at de behandler et rum i bygningen som en enkelt zone. Hvert rum kan herefter kobles sammen for at opnå en overordnet beskrivelse af bygning, hvor indeklimateknik og energimæssige forhold kan simuleres på zone (rum) niveau. Zonemodeller beregner derved gennemsnitsværdier for luftskifte, rumtemperatur og energibehov etc. over en tidsperiode.

Disse modeller er velegnet til undersøgelse af følgende forhold:

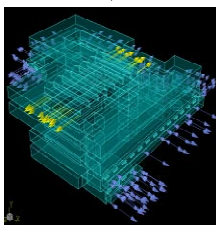
- Samlet energi- og komfortmæssig vurdering af bygninger, herunder termisk indeklimateknik i bygninger
- Energibesparende udformning af bygninger og bygningsinstallationer
- Energi-, anlægs- og driftsøkonomiske overvejelser
- Sollys og skygger; påvirkning og bidrag herfra
- Virkning og udformning af solafskærmning
- Ventilationsløsninger
- Fugtforhold i bygninger og konstruktioner
- Parameteranalyse af forskellige løsningsmuligheder, fx naturlig ventilation kontra mekanisk ventilation



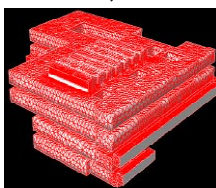
Trådmodel



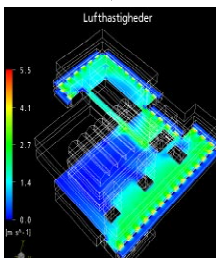
Volumenmodel



Fysik og randbetingelsesmodel



Beregningsmodel



Resultat

Flow-struktur i en CFD-simulering

En af zonemodellens fordele er beregningshastigheden i forbindelse med at gennemføre parameterstudier. En svaghed er begrænsningerne ved undersøgelse af komplekse bygninger eller problemstillinger. Endvidere har zonemodellen ikke mulighed for at give detaljeret information omkring det lokale termiske indeklima, som påvirker personer, der opholder sig i bygningen.

*CFD-modeller* (CFD- Computational Fluid Dynamics – på dansk: Numerisk Strømningsmekanik) er karakteriseret ved en langt større detaljeringsgrad end zonemodeller. CFD-modeller gør det muligt at undersøge lokale forhold i et rum, som ikke kan beskrives med en zonemodel.

CFD-modellen tager udgangspunkt i den fysiske geometri og tager herved hensyn til specielle bygningsmæssige komponenter eller geometrier. Modellen opdeles i et stort antal små celler, som derefter beregner alle de lokale fysiske parametre (lufthastighed, stråling, temperatur etc.). Herved kan vises et detaljeret billede af indeklimaet, hvor koblingen mellem varme, køl, fugt og temperaturniveauer analyseres. Forløbet af en simulering er vist i figuren til venstre.

CFD-analyse anvendes ofte som specifik analyse, hvor fx temperaturfordelingen i bygninger undersøges på en varm sommerdag eller ved høj solindstråling. Herved sikres, at ventilations- og kølesystemet lokalt kan håndtere en sådan maksimal

situation, hvilket ikke er muligt ved hjælp af zonemodeller.

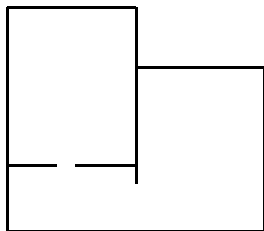
Eksempler på resultater fra CFD-simuleringer vedrørende indeklima er:

- Lokal lufthastighed, træk
- Lokale temperaturniveauer, lokale kolde områder
- Kuldenedfald fra vinduesflader
- Lugtgener i forbindelse med kantiner, arbejdsmiljø
- Fugtspredning, kondensering, fordampning
- Solindfaldets bidrag til lufthastigheder og temperaturniveauer
- Koncentrationsniveauer af gas, lugt etc.
- Detaljeoptimering af konvektorplacering, varmebehov
- Optimering af indblæsningsarmatur, udsugning
- Lokalt vindmiljø omkring bygningen

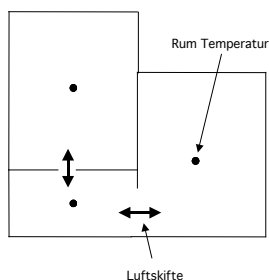
Figuren på næste side viser de grundlæggende forskelle mellem en zone- og CFD-model; nemlig beregningsmængde og præsentationsform af resultaterne.

Hvor zonemodeller bruger få minutter, bruger CFD-modeller fra timer til dage om at gennemføre sine mere nuancerede beregninger. Samtidig er størstedelen af resultatformidlingen visuelt orienteret i form af 3D-billeder eller animationer.

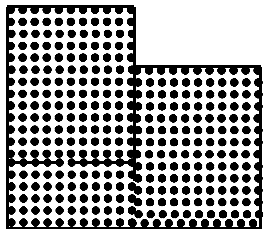
En standardsimulering med en zonemodel kan være beregning af ventilations-, varme- og kølebehov igennem et år ved et bestemt ventilationssystem. Dette bør være et minimumskrav fra bygherren.



Bygningstegning



Zonemodell beskrivelse



CFD-model beskrivelse

Principielle forskelle mellem zonemodeller og CFD-modeller

En standardsimulering med en CFD-model kan være at beregne maksimale luft-hastigheder og temperatur i udvalgte rum eller åbne og forbundne områder i bygningen på en sommer-, vinter- og forårsdag. Dette niveau bør være et minimumkrav fra bygherren ved denne type analyse.

## Brand

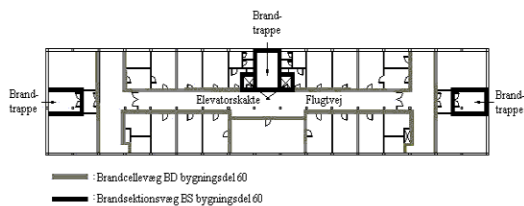
### Gældende krav og retningslinjer

I Bygningsreglementet 1995 (BR95) stilles krav til bygningers udformning fx brandmæssig korrekt ruminddeling, placering af flugtveje og byggematerialer. Desuden stilles der krav til installation af automatisk brandalarm, vandsprinkleranlæg og andre brandtekniske installationer. Kravene er opstillet med henblik på at:

“Bygninger skal udføres og indrettes, så der opnås tilfredsstillende tryghed mod brand og mod brandspredning til andre bygninger på egen og omliggende grunde. Der skal være forsvarlig mulighed for redning af personer og for slukningsarbejdet.” Brandkravene er i Bygningsreglementet 1995 pr 1/6 2004 opstillet som rene funktionskrav. Dokumentation af opfyldelse af funktionskrav vil ofte ske ved anvendelse af brandteknisk dimensionering.

Ved en brandteknisk dimensionering inddeles bygningen i brandceller og brandsektioner.

Er bygningen over en given størrelse eller flere etager, skal områderne inddeles i brandsektioner. Brandceller består af et eller flere rum, der brandmæssigt er adskilt fra tilstødende rum eller bygninger.



Skitseinddeling af kontorbygning i brandceller og brandsektioner

Denne inddeling har primært til opgave at hindre brandspredning til tilstødende brandceller inden for en given tidsperiode. En brandsektion derimod består af en eller flere brandceller og har til opgave at hindre brandspredning til tilstødende brandsektioner og bygninger. Herved begrænses omfanget af materielle skader og redningsberedskabets sikres rednings- og slukningsmuligheder.

Myndighederne stiller oftest krav om simulering vedrørende brandspredning i forbindelse med godkendelse af større åbne byggerier som fx kontorbygninger med tilhørende atrium, underjordiske parkeringshuse, varehuse, lufthavne, sportshaller og indkøbscentre. Idet disse bygninger er ukonventionelle i deres konstruktion og/eller design, er det ikke altid muligt at overholde de fastsatte krav vedrørende brandsektionering, brandceller, flugtvejsforhold, brandtekniske installationer mv. Simuleringerne anvendes bl.a. for at sikre, at der ikke opstår personkritiske forhold inden for en evakueringsperiode.

Beskrivelse af den brandtekniske dimensionering viser, hvorledes de brandtekniske beregninger skal gennemføres, samt hvilke krav der skal overholdes i forbindelse med myndighedsgodkendelse. Følgende parametre anvendes som dimensioneringsgrundlag:

- Røgspredning og røggaskoncentration
- Varmeeffekt og -påvirkning
- Stråling
- Sigtbarhed
- Tid til kritiske forhold for personer, inventar og bærende konstruktioner
- Varslingstid
- Reaktions- og beslutningstid
- Evakueringstid

### Simuleringsmetoder

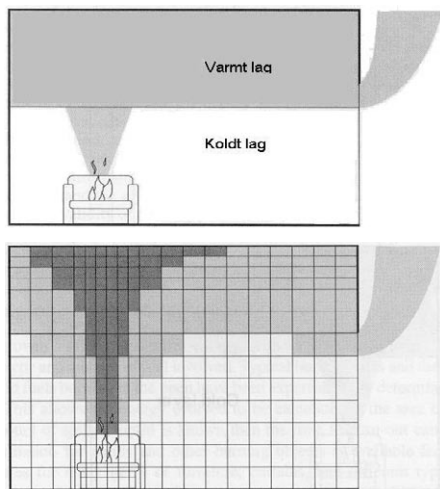
Beregningsmetoder har samme inddeling som under indeklima, hvor det er muligt at benytte henholdsvis zonemodeller og CFD-modeller.

Ved en zonemodel er opdelingen lidt anderledes, idet den nu opdeles efter en friskluftzone og en røggaszone. Zonemodeller hører til den første generation af simuleringsprogrammer og er gennem lang tid blevet benyttet til branddimensionering med succes.

Som det fremgår af navnet, deler disse modeller det betragtede volumen ind i et begrænset antal karakteristiske zoner, som hver især kan beskrives ved et simpelt sæt parametre og semi-empiriske love. Parametrene repræsenterer fysiske størrelser fx temperatur, koncentration af giftstoffer osv.

Den mest almindelige zonemodel er “to-zonemodellen”, hvor det betragtede volumen inddeles i en øvre og en nedre zone, mere præcist defineret ved en kold og en varm zone, som på figuren nedenfor.

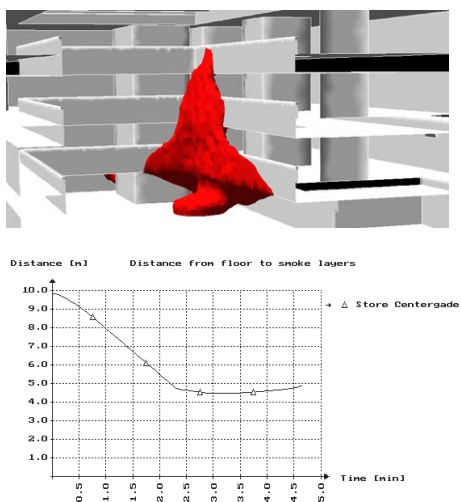
Zonemodellens fremgangsmåde er, at bevaringsbetingelser ved randene mellem de forskellige zoner – sammen med globale bevaringslove – fører til et system af ligninger, som bestemmer de parametre, der er af interesse. Modellen giver begrænsede informationer om brandmiljøet, da de betragtede variable formidles over zoner med en betydelig rumlig størrelse. Dette betyder, at de lokale effekter ikke kan opspores. Zonemodeller kræver en stor viden omkring, hvordan strømninger opfører sig.



To-zone model (top) sammenlignet med CFD-model (bund) af en brand i et lukket rum

Der kan forekomme problemer, som ikke kan løses ved brug af zonemodeller med tilstrækkelig nøjagtighed. For eksempel kan det forekomme, at der ved en hurtigt udviklende brand ikke er tilstrækkelig tid til at konstruere strømningen, således at de forskellige zoner kan blive udviklet og skelnet fra hinanden. Zonemodellen er også diskutabel ved meget komplekse geometrier.

Forløbet ved en CFD simulering er som vist i figuren nedenfor. Et eksempel på et beregningsresultat er vist nederst. I Bygningsreglementet stilles der ikke specifikke krav til en bestemt simuleringsmetode ved brandteknisk dimensionering. For at sikre, at den bedste metode anvendes, bør bygningen vurderes efter dens kompleksitet.



Røgspredning/røglagstykkelsen simuleret med hhv. en CFD-model (top) og en zonemodel (bund) ved en brand i et atrium.

Idet CFD-simulering er en generel metode til at beregne strømning i hele bygningen, har den klare fordele. CFD-simuleringen kan desuden håndtere meget avancerede konstruktioner, hvor zonemodellen er mere begrænset mht. bygningsgeometrien.

Det centrale omkring brandanalysen er, at myndighederne fastsætter funktionskravene til bygningen. Herefter er det den projekterende, der skal anvende den bedst egnede metode til at dokumentere, at disse funktionskrav er opfyldt. Bygherren kan desuden have supplerende funktionskrav, der skal dokumenteres opfyldt.

## Lys

### *Gældende krav og retningslinjer*

I Bygningsreglementet BR95 stilles krav om, at indendørs belysningsanlæg projekteres og udføres efter DS700-serien. DS700-serien omhandler bl.a. belysning på kontorer, i skoler, på hospitaler og i idrætshaller.

Udendørs belysningsanlæg udføres normalt efter normer og forskrifter fra vejdirektoratet i samråd med den aktuelle kommune og/eller bygherre.

Fælles for kravene til belysningsanlæg-gene er, at de omhandler belysningsniveau, blændingsforhold og farvegengivelse.

Inden for dagslysområdet har Arbejdsministeriet et vejledende myndighedskrav til belysningsforholdene ved de enkelte faste arbejdspladser. Kravet er angivet ved hjælp af en dagslysfaktor. Men der er ikke krav

om, at dagslysfaktoren skal dokumenteres, såfremt BR95's krav til størrelse af vinduesarealet er opfyldt.

Simulering af belysning kan opdeles i to former:

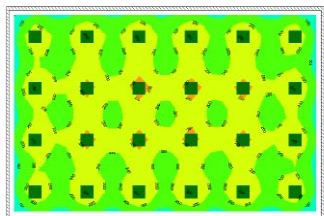
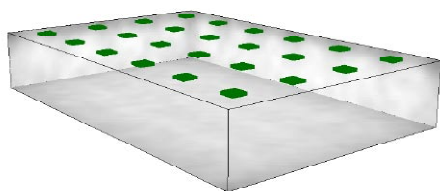
- Kunstlys
- Sol og dagslys

### *Beregning af kunstlys*

DS700-seriens og vejdirektoratets krav til belysningsanlæg dokumenteres normalt vha. lysberegninger foretaget i almindelige belysningsprogrammer. Disse programmer kommer tit fra armaturproducenten og kan ofte fås gratis. Tit er det armaturproducenten, der udfører de nødvendige lysberegninger på et projekt til dokumentation for, at lovkrav er opfyldt.

Udførelse af beregninger i denne type belysningsprogrammer er tit let gennemførlige, idet brugerfladen er overskuelig og afgrænset. Endvidere medfølger der altid armaturbibliotek fra producenten og ofte også fra andre producenter, hvilket gør armaturvalg nemt.

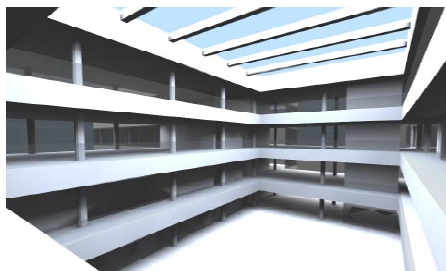
I programmerne opbygges en simpel 3D-geometri, hvor værdier for reflektanter, vedligeholdelsesfaktorer samt krav fra DS700-serien defineres. Herefter vælges det eller de ønskede armaturer, som indsættes i modellen. Programmet beregner dernæst resultatet, som efterfølgende nemt kan udskrives som dokumentation. Eksempel på udskrift er vist i figuren på næste side.



Belysningsstyrke (lx)  
Højeste 15  
Gennemsnit 10  
Minimum 5  
Belysningsniveau (lx)  
Minimum 5  
Maximum 15  
Elevationsvinkel (°)  
Minimum 10  
Maximum 20  
Vinkel (°)  
Minimum 10  
Maximum 20



Eksempel på lysberegning af belysningsanlæg



Eksempler på visualisering vha. dagslysberegninger

Programmerne begrænses af at de kun kan regne på modeller med simpel geometri, samt af at alle overflader i beregningen betragtes som overflader, der reflekterer lyset ideelt diffust. Det vil sige, at overflader med en direkte spejlende komponent, som er almindelig for eksempelvis metaloverflader, ikke kan indgå i beregningen. Programmerne kan desuden ikke regne på dagslys, og dokumentationen foreligger tit kun som tørre tal, der ikke giver et visuelt indtryk af de faktiske forhold.

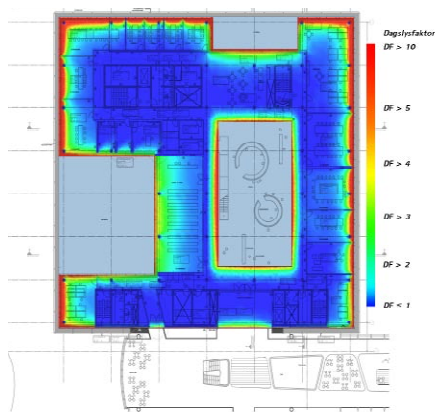
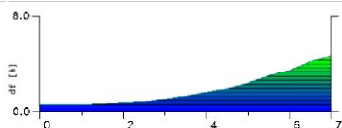
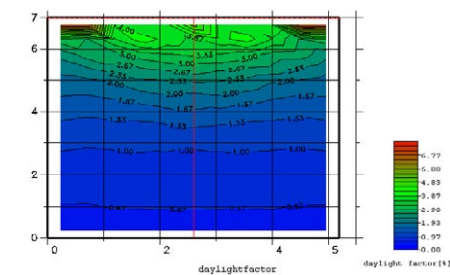
### Beregning af sol- og dagslys

Inden for dagslysområdet kan dagslysfaktoren udregnes ved hjælp af forskellige metoder, der ud over computerprogrammer også omfatter brugen af ældre metoder, såsom nomogrammer, protractors og empiriske formler.

Fælles for metoderne er, at de i større eller mindre grad tager hensyn til de geometriske forhold inklusiv evt. udvendige skyggeforhold fra tætliggende bygninger. Desuden kan overfladernes refleksions- og transmissionskoefficienter samt placering, størrelse og transmittans af vinduer inddrages i beregningen. Beregningsprogrammerne, der anvendes inden for dagslysområdet, kan ud over dagslysfaktoren normalt også udregne resultater for både dags- og sollys under forskellige vejrforhold.

Figureerne herover viser eksempler på dagslysberegninger med en overskyet himmel.

Anvendelsen af dagslysberegninger er i dag ikke særlig udbredt, hvilket omfanget af computerprogrammer til dette formål da også vidner om. I modsætning til bereg-



Eksempler på beregningsresultater vha. dagslysberegninger

ningsprogrammerne til belysningsanlæg, der tit udvikles på armaturproducentens bekostning, er der ikke samme vilje til at udvikle programmer inden for dagslysområdet.

Programmer på området stammer tit fra et uafhængigt institut (universitet, forskningsinstitut eller firma), hvilket ofte afspejles i programmets manglende brugerflade eller i prisen.

Der findes dog enkelte dagslysprogrammer på markedet, der har samme overskuelige brugerflade som programmerne inden for kunstlysområdet. Disse programmer kan også tit anvendes til beregning af kunstlys, idet det normalt også er muligt at importere armaturdata i beregningsmodellen, hvis man selv har armaturdata på det rigtige indlæsningsformat.

I disse programmer opbygges en simpel 3D-geometri, hvor det tit også er muligt at medtage udvendige flader, der symboliserer tætliggende bygninger. Værdier for reflektanter og transmittanter defineres sammen med de sol- og dagslysforhold, der ønskes beregnet. Når alle input er defineret, foretages dagslysberegningen, og dokumentationen kan efterfølgende udprintes.

### Avancerede lys simuleringer

Mængden og kvaliteten af kunst- og dagslys i en bygning har stor betydning for bygningens indeklima og den personlige trivsel. Et optimalt design og integration af både dagslystilgangen og udformning af belysningsanlægget vil, ud over en positiv indvirkning på den personlige komfort, også have et miljømæssigt perspektiv, idet muligheden for energibesparelse forøges.

For at kunne forbedre og optimere udnyttelsen af kunst- og dagslys er det vigtigt, at ingeniører og arkitekter har pålidelige og anvendelige beregningsværktøjer, der kan beskrive de lystekniske forhold.

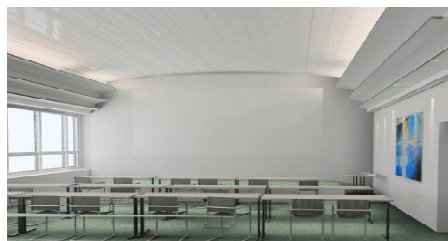
Selve teorien og de grundlæggende beregningsmetoder inden for belysningsteknik

er uændret. Men i takt med at udviklingen inden for computerteknologien har medført en markant forbedring af computergrafik og regnekraft, kan man i dag regne på komplekse situationer med stor nøjagtighed.

Den øgede regnekraft har i dag bl.a. medført, at forskellige typer af beregningsmetoder kan kombineres i samme program. Endvidere kan beregningsmetoder for, hvordan lyset transmitteres og reflekteres på flader, forfines, så de i større grad afspejler lysets natur i virkeligheden.

Udviklingen inden for computerteknologien vil fortsætte og lysberegninger af komplekse 3D-modeller til visualisering og bedømmelse af belysningsforhold vil fremover blive mere udbredte i takt med at beregningstiderne reduceres, og output, beregningsnøjagtighed og brugervenligheden forbedres.

I dag er det de færreste af de mere avancerede beregningsprogrammer, der har en overskuelig og let tilgængelig brugerflade.



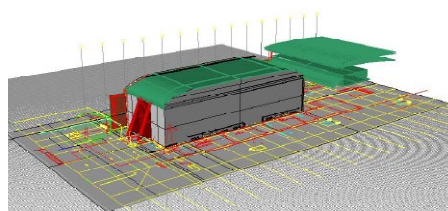
Eksempel på beregning med både kunst- og dagslys

Programmerne benyttes derfor hovedsageligt af brugere, der jævnligt anvender programmerne, og som gennem erfaring opnår forståelse for programmets struktur og anvendelsesmuligheder.

Ofte skal 3D-modellen opbygges i et selvstændigt CAD-program, før filen kan importeres i beregningsprogrammet som vist i figuren nedenfor.

Filkonverteringen medfører bl.a. en risiko for, at information går tabt under importen, og samtidig er man underlagt den objekt- og lagstruktur, der er anvendt i opbygningen af modellen.

Hvis 3D-modellen ikke primært er opbygget til at skulle bruges i beregningsprogrammet, ligger der tit et stort ekstra arbejde i at bearbejde input-filerne, før de



Opbygning af 3D-model i selvstændigt CAD-program og beregningsresultat

er brugbare. En anden ulempe er (efter som man tit ikke kan ændre i geometrien direkte i beregningsprogrammet), at man er nødt til at gå tilbage til den oprindelige CAD-model, hvis der skal indarbejdes en geometriændring af den oprindelige model.

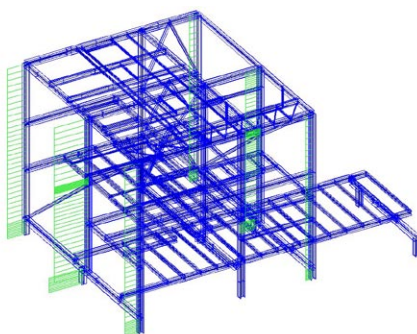
## Statik

Gennem simulering af et bygværks statiske og/eller dynamiske virkemåde kan man forudsige konstruktionsbevægelser og spændingsniveau i konstruktionselementerne under påvirkning af relevante laster.

### *Gældende krav og retningslinjer*

Bygværker i Danmark dimensioneres efter danske eller europæiske konstruktionsnormer. I Danmark drejer det sig om det komplette normsæt (DS409, DS410, DS411, DS412; DS413, DS414, DS415, DS419, DS420, DS446 og DS451). Normerne er de regelsæt, der som udgangspunkt skal overholdes ved projektering. Kravene er primært myndighedskrav, så bygherren ikke selv kan stille krav til statikken, så de afviger fra normsættene. Den projekterende skal over for myndighederne godtgøre, at et givent bygværk har den fornødne bæreevne.

Bygherren kan dog stille særlige krav i forbindelse med stivhed og udbøjninger. Bygherren kan foreskrive en maksimal udbøjning for en given konstruktionsdel enten som absolut tal eller som en brøkdelen af spændvidden. Myndighederne kræver, at en konstruktion har den fornødne bæreevne, men det kan være nødvendigt at



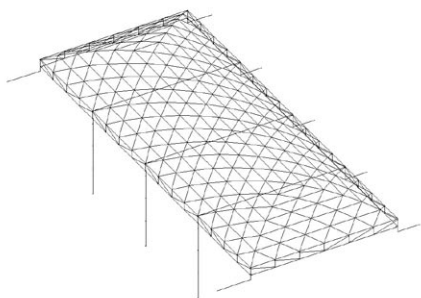
3D-konstruktion med vindlast påsat

gøre konstruktionen kraftigere for, at den overholder bygherrens ønske til nedbøjninger. Typisk stiller bygherren dog ingen krav, så her vil den projekterende bruge normernes vejledninger omkring udbøjninger.

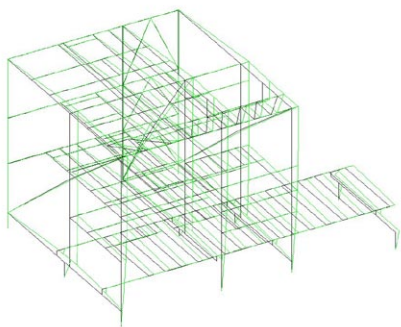
Lastnormerne angiver, hvordan de forskellige laste skal påføres i den statiske model. Der er angivelser af, hvordan forskellige typer af laste skal modelleres og kombineres. Normerne angiver desuden de sikkerheder, der skal lægges på laste og materialer. Der er udarbejdet normer for forskellige konstruktionsmaterialer som stål og beton.

### *Beregning af en konstruktion*

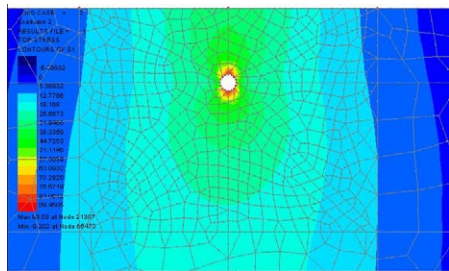
En model opbygges af elementer, der har styrke og stivhedsdata. Et element går fra en knude til en anden. Der opbygges en model, som afspejler bygningens geometri. Hvor elementer møder hinanden, angiver brugeren, om elementerne indspænder hinanden, eller om der er rotationsmulighed. Programmerne indeholder



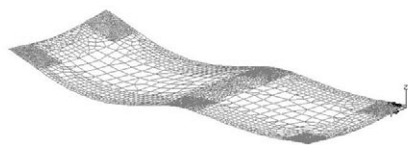
Gittermodel, hvor hvert element ses som en linje



Udbøjninger. Den lyse linje angiver ud-bøjningsfiguren



Farverne angiver spændingsniveauet.



Udbøjning af pladefelt opbygget af elementer

normalt en database med gængse standard konstruktionselementer. Elementerne i disse databaser svarer til de profil- og elementtyper, som leverandørerne råder over. Brugeren kan påsætte belastninger i knuderne eller på elementerne.

Den projekterende angiver i sin model, hvordan et givent element er belastet. Brugeren udvælger typisk et element og angiver med tal, hvilken belastning der er på elementet. I nogle programmer bruges der primært et grafisk interface. Her klikker brugeren først på elementet og efterfølgende på den belastningstype, der skal på. Det kan eksempelvis være en punktlast eller en jævnt fordelt last. Endelig indtastes en talværdi. I andre programmer angiver brugeren sine belastninger i en inddatafil. Her angives ud fra elementnumre, hvilke belastninger der skal være på de forskellige elementer.

Alt efter bygværkets karakter arbejdes der i 2D eller 3D. De fleste programmer kan håndtere 3D, men i nogle situationer giver det bedre overblik, at arbejde i 2D. Detaljeringsniveauet kan være meget forskelligt. I nogle områder kan en søjle modelleres med et enkelt element, mens man andre gange kan have behov for at underopdele et hovedelement i et mesh (net) bestående af tusindvis af underelementer.

Der findes en lang række programmer, som kan anvendes til simulering af statik. Programmerne er mere eller mindre avancerede. Typisk sætter brugeren de ydre belastninger på, mens programmet

selv udregner egenvægten af de bærende konstruktionselementer. Ofte er det muligt, at modellere temperaturændringer i konstruktionen, ligesom brugeren kan modellere sætninger af fundamenter. De mere avancerede programmer kan lave frekvensanalyser og behandle dynamiske laste.

Når en statisk model er bygget op og lasterne er påsat, kan FEM-programmet sættes til at regne.

Programmerne til statisk simulering finder kræfterne i konstruktionselementerne for de forskellige lastkombinationer. Disse kræfter kan i nogle programmer efterbehandles af en post-processor, så konstruktionen checkes i forhold til et givent normsæt. Det er også muligt for den projekterende ingeniør at eftervise elementerne direkte med udgangspunkt i kræfterne fra programmet, og herved eftervise at konstruktionen overholder de givne normer.

### **Anlægsomkostning og driftsøkonomi**

Med fokus på omkostninger i forbindelse med byggeriet stilles der stadig større krav til undersøgelser og analyse af anlægsomkostninger og driftsøkonomi. Væsentlige faktorer kan herved undersøges og sammenholdes med den virkning de vil have på omkostningerne. Herved kan fx valg af materiale til gulv undersøges, og omkostninger synliggøres.

I mange tilfælde vil en objektorienteret 3D-model kunne udnyttes, idet objekterne

også kan indeholde data omkring pris, materialer, farve, tekstur. Herved bliver det muligt at skifte mellem forskellige objekter og undersøge byggeomkostningerne.

Ligeledes vil det være muligt ud fra modellen at inkludere informationer omkring driftøkonomiske forhold for bestemte typer af materialer, elementer eller overflader. Fx kan valget mellem træ- og linoleumgulv undersøges over en tidsperiode for at synliggøre driftsomkostning og dermed sammenholde vedligeholdelsesplanlægning (forbrug, rengøring, vedligehold), budgettering, forbrug, osv.

I forbindelse med større byggerier anvendes også risikoanalyse til undersøgelse af parametre, der har indflydelse på projektforsinkelse, øget omkostninger, reduceret nyttevirkning, personrisiko, og miljøpåvirkning. Disse simuleringer bygger på projektdefinitionen, identifikation af usikkerhedsparameter, risikovurdering og risikonedsettende tiltag. Herved kan fx byggeproblemers indflydelse på projektfærdiggørelsen og ekstraomkostning estimeres.

Den stigende anvendelse af forskellige former for simuleringer stiller større krav til behandling af de grundlæggende data som for eksempel bygningsgeometri. En ændring i udformningen af bygninger, valg af elementer eller materialer vil skabe en dominoeffekt til de anvendte simuleringsområder og videre til byggeomkostningerne samt de driftøkonomiske forhold.

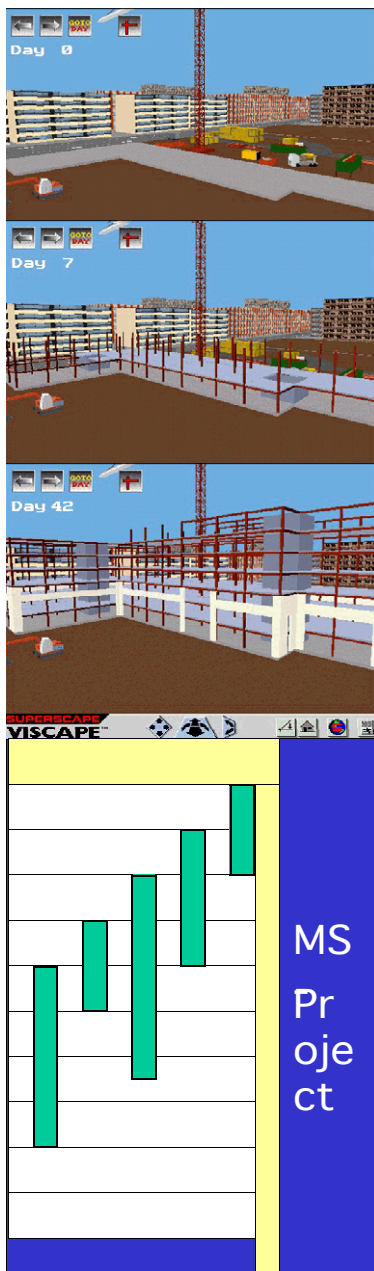
Med fokus på en objektorienteret 3D-model vil det være muligt at knytte informationer vedrørende geometri, objekt placering, materiale, pris, byggeomkostning med driftsøkonomisk parameter. Den objektorienterede projektering vil muliggøre en mere fleksibel anvendelse af data, ikke kun til tekniske simuleringer.

De økonomiske simuleringer kan udføres i forskellige faser af projektet og med stigende præcision. De indledende 3D-modeller kan anvendes til pris- og drifts-estimer, hvor forskellen mellem valg kan illustreres og dokumenteres, – og således medtages allerede i konkurrence/tilbuds fasen. Senere, når 3D-modellen udbygges med større præcision, vil det være muligt med en mere detaljeret information omkring ændringer i materialevalg osv.

### Tidsstyring/tidsplan

Med fokus på planlægning i forbindelse med byggeriet stilles der stadig større krav til udførelsen og analyse heraf. I udførelsesfasen kan 3D-modellerne anvendes til at illustrere problemstillinger omkring projektering og montage af bygningselementerne.

Herved sikres relationer mellem de beregnede mængder og det faktiske tidsforbrug, idet der kobles til en dynamisk tidsplanlægning. Her sikres det, at de rigtige ressourcer, mandskab, materialer og elementer er til rådighed på det rigtige tidspunkt i byggeprocessen.



Link mellem model og tidsplan

Specielt er ønsket omkring en visualisering af tidsplanen stigende. Dog er området stadig under udvikling, men vil i den nærmeste fremtid blive et vigtigt område. I nogle tilfælde sammenholdes visualiseringen med virkelighedens byggeproces for at illustrere, at byggeriet skrider planmæssigt frem.

Med fokus på de objektorienterede 3D-modeller vil det være muligt at koble hvert objekt til tidsplanen og derved undersøge, om der vil opstå flaskehalse i byggeprocessen. Herved sikres også, at der opnås en høj grad af genanvendelse, og at produktet er færdigt inden for den fastlagte tidsramme. Endvidere vil det være muligt at undersøge, hvordan forskellige forsinkelser påvirker byggeprocessen. Det vil således være muligt, at lave en risikoanalyse.

# KRAV TIL KERNEMODELLEN I FORBINDELSE MED SIMULERING

I forbindelse med et byggeris planlægning, udførelse og drift er der en lang række fagdiscipliner, der beskæftiger sig med hver sit ansvarsområde. Udfra hver deres synsvinkel opererer de alle med en form for model af bygningen og dens omgivelser og påvirkninger. De enkelte fagdiscipliner har fokus på forskellige dele af bygningen og har typisk brug for vidt forskellige egenskabsdata og detaljeringsgrad for de enkelte bygningsdele. De opererer principielt med hver sin model af bygningen, men da det i sidste ende handler om én samlet bygning, giver det god mening at alle disse modeller i videst muligt omfang baseres på en fælles kernemodel.

De forskellige anvendelsesområder stiller forskellige krav til, hvad der kan trækkes ud af kernemodellen. For indledende studier af bygningens indplacering i omgivelserne har man fx kun brug for det overordnede geometriske volumen, som bygningen dækker. I andre tilfælde har man brug for detaljeret geometri og egenskabsdata for de konkrete produkter, som den færdige bygning består af.

B3D konsortiet har valgt at operere med fem overordnede krav-niveauer til kernemodellens indhold:

- Bygningens overordnede volumen
- De enkelte rum kan identificeres
- Bygningsdeles overordnede geometri er på plads
- Bygningsdelstyper er valgt

- Konkrete produkter er valgt, grundlag for udførelse

Skemaet nedenfor viser eksempler på en række anvendelser af kernemodellen og hvilke krav, det er relevant at stille til modellens indhold. De angivne krav gælder ikke nødvendigvis hele bygningsmodellen, men kun de dele, der er relevante for den pågældende anvendelse.

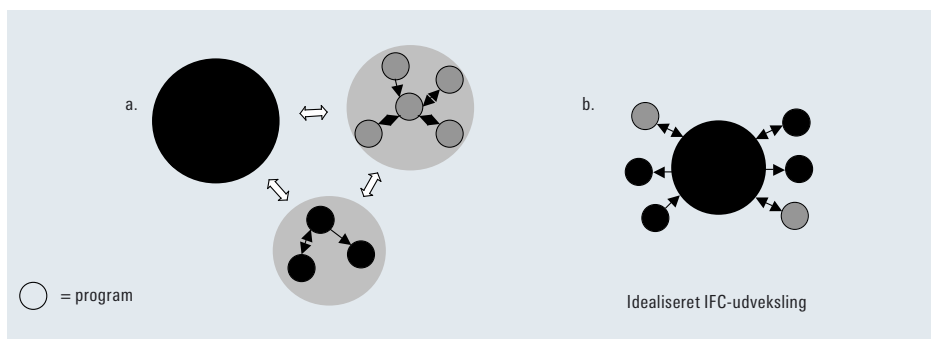
| Anvendelser                       |                                                                                                              | Modelniveau |   |   |   |   |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---|---|---|---|
|                                   |                                                                                                              | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Beslutningsgrundlag, simuleringer | Æstetik, fremtoning<br>– indplacering i omgivelser<br>– interør<br>– belyningsforhold                        | x           |   | x |   | x |
|                                   | Energi<br>– energirammeberegning<br>– termisk simulering<br>– drift af anlæg/procesudstyr                    |             | x |   | x | x |
|                                   | Komfort<br>– termisk<br>– atmosfærisk<br>– akustisk<br>– lysforhold<br>– adgangsforhold<br>– brugervenlighed |             |   | x |   | x |
|                                   | Sikkerhed<br>– flugtveje<br>– brandteknisk<br>– konstruktioners stabilitet<br>– indbrud/adgangsforhold       |             | x |   | x |   |
|                                   | Myndighedsgodkendelse                                                                                        |             |   |   | x |   |
|                                   | Udbud og tilbud                                                                                              |             |   |   | x | x |
| Udførelse og aflevering           | produktionsplanlægning<br>arbejdstegninger m.m.<br>kvalitetssikring<br>dokumentation                         |             |   |   | x | x |
|                                   |                                                                                                              |             |   |   | x | x |
| Drift og vedligeholdelse          | ejendomsdrift<br>arealforvaltning<br>ombygning/modernisering                                                 |             | x |   |   | x |
|                                   |                                                                                                              |             |   |   |   | x |

# IFC

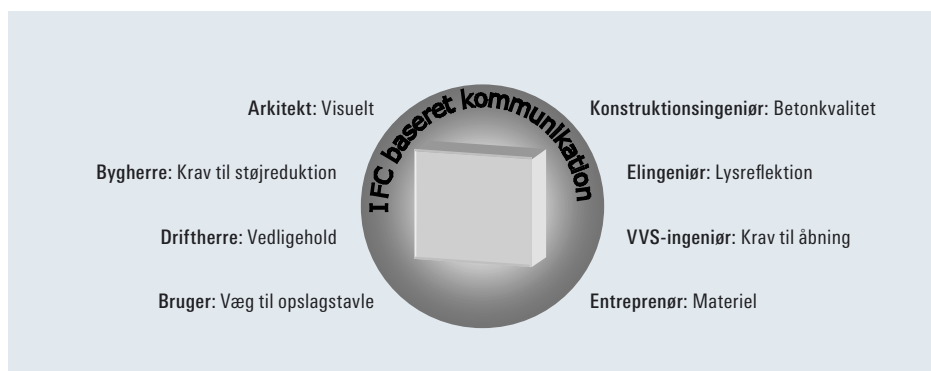
IFC står for Industrial Foundation Classes og er et sæt internationalt standardiserede klasser af bygningsobjekter i form af intelligente modeller af rum og bygningsdele. Kort beskrevet kan IFC opfattes som et udvekslingsformat for byggesektoren, på samme måde som DXF har været brugt til udveksling af 2D geometri i Cad-verdenen. Tanken med IFC er, at det skal være byggesektorens esperanto.

I dag er det muligt, at benytte IT-programmer til mange forskellige opgaver i forbindelse med projektering, planlægning, opførelse og drift af byggerier. I takt med den stigende anvendelse af IT inden for mange fagområder er det ønskeligt, at data som er registreret i et IT-program let kan overføres og anvendes i andre programmer uden tab af information. Mange IT-leverandører har integreret deres programmer med et antal udvalgte programmer fra andre leverandører for på den måde at undgå unødvendige genindtastninger når andre programmer benyttes. Det er imidlertid ikke sikkert, at ens eget favoritprogram er blandt de udvalgte, og derfor kan man blive tvunget til at genindtaste data med tidsspilde og risiko for fejl til følge.

Siden midten af 90'erne har den internationale non-profit organisation International Alliance for Interoperability (IAI) arbejdet for at forbedre kommunikation, produktivitet, pris, leveringstid og kvalitet i hele byggeriets livscyklus. I den forbindelse har man set informationsdeling i hele byggeriets levetid som en nødvendighed. For at kunne dele informationer på tværs af programvarer og parter har IAI derfor udviklet de såkaldte IFC-specifikationer, der er uafhængige af specifikke softwareprodukter og som understøtter dataudveksling i byggesektoren. IAI står for udviklingen af IFC, mens softwareleverandørerne varetager implementeringen af IFC. Information om IAI kan findes på [www.iai-international.org](http://www.iai-international.org).



Princip i dataudveksling inden for programfamilier (a) og via IFC (b).



### Partsorienteret syn på virkeligheden

#### Formål med IFC

IFC-specifikationerne tager udgangspunkt i at man udveksler eller deler information om ting, eller mere præcist objekter, som man kender dem fra byggeverden. Det kan fx være en bygning, etage, væg, ventil eller endog en pris eller en proces. Der er altså tale om begreber, som man umiddelbart kan nikke genkendende til inden for byggeriet. Det vil sige, at IFC virker ved, at man overfører information fx om en væg fra et softwareprogram til et andet på en sådan måde, at programmet som modtager informationen kan genkende væggen. Denne metode er vidt forskellig fra udveksling af rene geometriske informationer mellem Cad-systemer eller kopiering af tekst mellem programmer i et Microsoft Windows miljø. IFC bevarer det såkaldte semantiske indhold, dvs. den indholdsmæssige betydningen af informationen. Det svarer helt til det man kender i det talte sprog, hvor et ord som bygning kan forstås både af afsenderen og modtageren. Det er naturligvis muligt at

få en person til at høre eller udtale et ord uden at kende betydningen af ordet, men i det tilfælde vil det ikke give mening for personen. Det er målet med IFC at både det afsendende og modtagende program kan forstå indholdet af data, der overføres mellem programmerne.

Det er muligt at knytte forskellige egenskaber til hvert enkelt objekt. Det kan være geometriske informationer som dimensioner og arealer samt oplysninger om fx isoleringsevne og klassifikationskoder eller korte beskrivelser. Herudover kan objekterne have relationer til andre objekter. Det kan være, at et vindue er placeret i en vinduesåbning, som igen er placeret i en væg, eller at en dør er relateret til en bestemt etage. Da IFC-specifikationerne tager udgangspunkt i at beskrive den virkelige verden, er den geometriske beskrivelse rumlig. Det er så op til det modtagne program, at afgøre om fx en væg skal vises i 2D eller 3D.

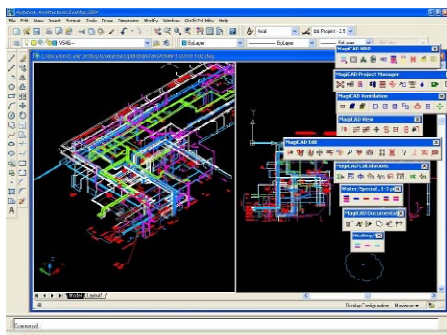
Formålet med IFC er blandt andet:

- At kunne sammenligne bygherrens rumprogram med konkrete forslag fra en arkitektkonkurrence.
- At den projekterende ingeniør kan udnytte arkitektens eksisterende data om en bygning i tekniske analyse- og dimensioneringsprogrammer.
- At entreprenøren direkte skal kunne drage fordel af data fra projekteringen, og bruge grundlaget i sin produktionsplanlægning.
- At driftsherren på tilsvarende måde skal kunne udnytte data fra projekteringen, udførelsen og leverandørerne i forbindelse med drift og vedligehold.

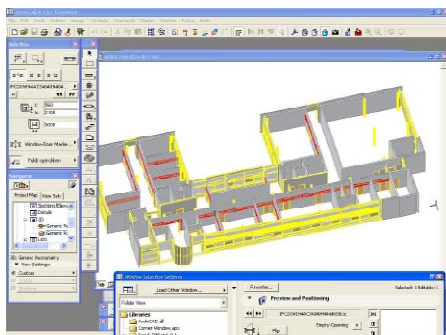
IFC specifikationerne er offentlige tilgængelige via [www.iai-international.org](http://www.iai-international.org). Kernen af IFC version 2x er optaget af den internationale standardorganisation ISO som PAS 16739.

## IFC kompatibelt software

IFC består af en række specifikationer, som ingen funktion har i sig selv. Derfor er brugen af IFC helt afhængig af, at softwareprodukterne har implementeret funktioner til import og eksport af data efter IFC specifikationerne. IFC er i dag tilgængelig i en række kommercielle softwareprodukter, og der findes adskillige hjælpeværktøjer til at kontrollere og vise indholdet af IFC-filer. Herudover findes der forskellige redskaber, der gør det lettere for softwareudviklerne at gøre eksisterende programmer IFC kompatible. Data som er struktureret efter retningslinjerne i IFC kan enten overføres mellem forskellige programmer i Express-format eller i XML-format. Af hensyn til at opnå den bedst muligt kvalitet i IFC-filerne tilbyder IAI en certificeringsordning til softwareleverandørerne af deres programmer. En række softwareleverandører har implementeret IFC-oversættere direkte i deres produkter. Andre leverandører kræver tilkøb af IFC-oversættere, og en tredje gruppe har valgt ikke at understøtte IFC.



Bygningsinstallationer i MagiCAD fra Progran.



Bygningsmodel importeret i ArchiCAD fra Graphisoft



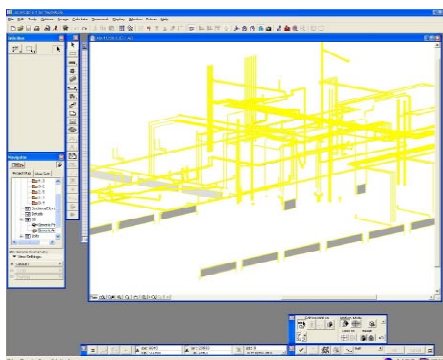
IFC certificeringslogo

## Softwareprodukter

En fortegnelse over softwareprodukter, som er certificeret af IAI, er tilgængelig på [www.iai-international.org](http://www.iai-international.org) og [www.ifcwiki.org](http://www.ifcwiki.org). Listen er ikke komplet, da alle softwareleverandører ikke oplyser IAI om deres implementering af IFC. Derfor tilrådes det, at interessenten kontakter softwareleverandøren i den aktuelle situation, for at forhøre sig om IFC-kompatibiliteten for det pågældende program.

## Udveksling via IFC

IFC er først og fremmest dannet med henblik på at overføre information om objekter, herunder deres geometriske form og deres indbyrdes relationer, men kun i begrænset omfang information om objekternes grafiske præsentation. I de følgende eksempler er informationer om vægge, dæk og lignende overført mellem programmerne, men ikke deres grafiske udtryk. Det er muligt, at der bliver stillet krav om, at den grafiske præsentation også kan overføres ved hjælp af IFC.

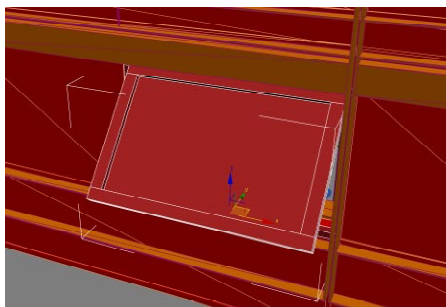


Bygningsinstallationer importeret i ArchiCAD fra Graphisoft.

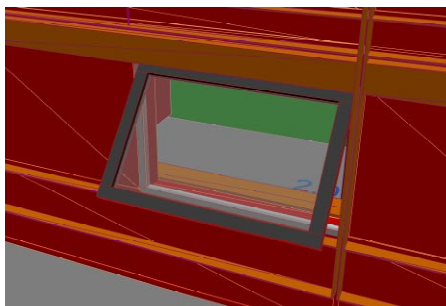
Udover overførelse af objekter med et højt informationsniveau er det i mange applikationer muligt at overføre rene geometriske elementer via IFC. Det sker ved at de identificeres og klassificeres før en eksport til IFC. Fx er det muligt i Architectural Desktop fra Autodesk at lade 3D solids indgå i en IFC eksport og dermed blive eksporteret som IFCBuildingElement-Proxy.

Da IFC-filerne indeholder en geometrisk beskrivelse af objektet, kan den geometriske repræsentation overføres til andre filformater. Denne metode kan benyttes, hvis programmet, som skal bruge 3D-data, ikke er IFC-kompatibelt.

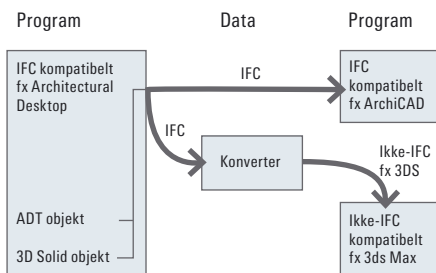
For vejledning vedrørende anvendelse af IFC-interface i de enkelte programmer henvises der til softwareleverandørens egen dokumentation.



Bygning importeret i Virtual Reality-software.



Bygning importeret og justeret i Virtual Reality-software.



### Udvekslingseksempel

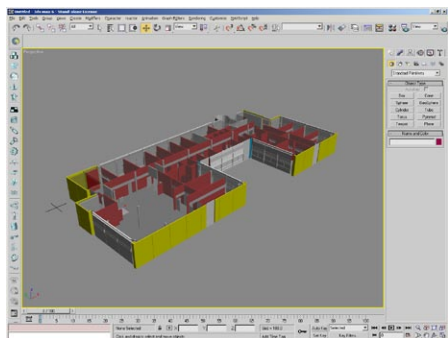
Det efterfølgende eksempel viser brug af data udvekslet med IFC 2x i Coordination View. Flere eksempler på anvendelse af IFC kan ses på [www.bimhouse.dk](http://www.bimhouse.dk), [www.iai-forum.dk](http://www.iai-forum.dk) og [www.buildingsmart.no](http://www.buildingsmart.no).

Aalborg Universitet, Biotek 1:

Arkitektmodellen er udarbejdet i Architectural Desktop fra Autodesk og installationer i MagiCAD fra Progran. Efter eksport til IFC er modellerne importeret i ArchiCAD fra Graphisoft og DDS IFC-Viewer fra Data Design System. I sidstnævnte program er IFC-data blevet overført til 3ds.

De følgende tre eksempler viser, hvordan man kan benytte IFC data til at tilrettelægge en præsentation i Virtual Reality. Der er valgt tre forskellige tilgange i forbindelse med dataoverførsel og konvertering. I alle tre tilfælde vil slutproduktet være en Virtual Reality4Max fil. Virtual Reality4Max er et relativt prisbilligt Virtual Reality produkt, som kan benyttes til både pc-baserede og Unix-baserede Virtual Reality systemer. Virtual Reality4Max fungerer som et plug-in i det meget udbredte 3D-modelleringsprogram 3DMax fra Discreet, som er ejet af AutoDesk. Derfor er målet typisk at få modellen over i 3DMax.

Data til eksemplet kommer fra Rambøll i forbindelse med Aalborg Universitets nye undervisningsbygning til Bioteknologi på Frederiks Bajers Vej.



Bygning importeret via IFC utility fra Inopso.

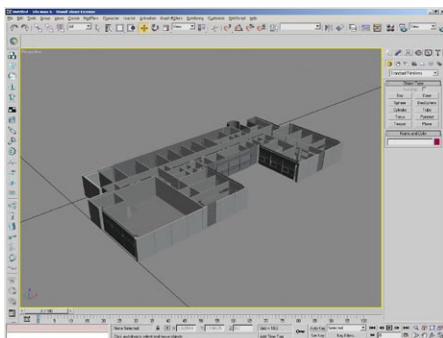
### Eksempel 1: IFC-data fra ADT til Virtual Reality4 Max med IFC-Utility 2x til ADT

I dette første eksempel blev IFC dataene indlæst ved hjælp af en IFC importer fra det tyske firma Inopso ([www.inopso.de](http://www.inopso.de)). Det kan købes som tredjepartsprodukt til AutoDesk Architectural Desktop (ADT). Vi benyttede således IFC-Utility 2x og ADT 2004.

#### Procedure:

- Indlæsning i ADT2004 med IFC-Utility 2x
- Gemme i DWG formatet
- Indlæse DWG filen i 3DMax og gemme med Virtual Reality4Max plugin
- Virtual Reality præsentation færdig

Under denne procedure gemmes objekt-informationen i DWG filen og føres videre til 3DMax, hvilket er udmærket i forbindelse med det videre oprydningarbejde i geometrien. Modellen var ganske god, men havde små fejl og dobbeltgeometri. Eksempel på importerede data ses ovenfor.



Bygning importeret via DDS og 3ds.

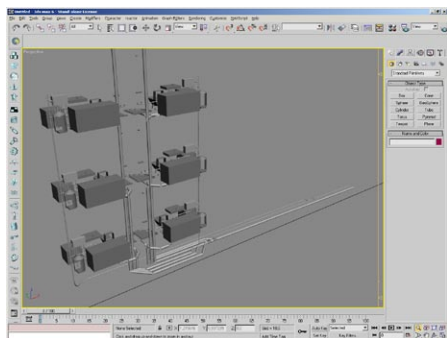
### Eksempel 2: IFC-data fra ADT til Virtual Reality4 Max med DDS 6.2

I dette eksempel blev det frit tilgængelige produkt fra norske Digital Design Systems DDS 6.2, benyttet. Nyeste udgave kan hentes på [ftp://ftp.dds.no/pub/install/IfcViewer](http://ftp://ftp.dds.no/pub/install/IfcViewer). DDS kan indlæse og vise en IFC model på forskellig vis. Programmet kan så gemme i 3ds formatet, som er et ældre men meget benyttet 3D-format. Samme data som eksempel 1, men med andet resultat, som ses ovenfor.

#### Procedure:

- Indlæsning af IFC data ind i DDS 6.2
- Gemme filen i 3ds formatet
- Indlæse 3ds filen i 3DMax og gemme denne i Virtual Reality4 Max formatet
- Virtual Reality præsentationen er klar.

Den endelige model via DDS programmet var mere ren og havde færre umiddelbare fejl. Til gengæld blev kun oplysning om geometrien overført. Dvs. alle objekt-informationerne blev desværre ikke gemt i 3ds filen.



Installationer importeret via DDS og 3ds.

### Eksempel 3: IFC-data fra MagiCad til Virtual Reality4Max via DDS 6.2

MagiCAD filen indeholdt dele af bygningsens rørføring, hvilket kan ses ovenfor. Denne skulle naturligt indbygges i den eksisterende model. Det kunne dog ikke lade sig gøre, fordi koordinatsystemerne ikke stemte overens. Det er ikke umiddelbart klart, hvor fejlen er opstået. Selve geometrien havde samme gode kvalitet, som i eksempel 2 og igen var objektbeskrivelserne fra IFC gået tabt i konverteringen.

Procedure som eksempel 2:

- Indlæsning af IFC data ind i DDS 6.2
- Gemme filen i 3ds formatet
- Indlæse 3ds filen i 3DMax og gemme denne i Virtual Reality4 Max formatet
- Virtual Reality præsentationen er klar.

## Konklusion

Konverteringer gik forholdsvis problemfrit, og det vil næppe være Virtual Reality præsentationerne, som i fremtiden sætter de store krav til IFC standarden. Fordelen ved at arbejde med 3D visualisering er netop at alle fejl meget hurtigt opdages. Og kravene er ofte at modellen skal "se rigtig ud", uden nødvendigvis at være det.

I forbindelse med 3D og Virtual Reality arbejde vil det være ønskeligt i fremtiden at have en 3dMax IFC importer svarende til IFC-Utility 2x, som udnytter nyeste Max version 6's muligheder for objektidentificering m.m.

En god procedure og kvalitetssikring vedrørende koordinatsystemer bliver også i dette tilfælde meget vital for gnidningsfrit arbejde.

Generelt kan man sige at IFC standarden vil være en velkommen dataudveksling inden for byggeriet, også når der skal laves visualiseringer eller Virtual Reality præsentationer.

## Entiteter i IFC udveksling

Skemaet på næste side angiver den ønskede anvendte IFC entitet ved brug af IFC 2x.

### Ifc Coordination View 2x

| Rumlige elementer      | Ifc entitet | Alternativ Ifc entitet  |
|------------------------|-------------|-------------------------|
| Bygning (volumenmodel) | IfcBuilding | IfcBuildingElementProxy |
| Byggegrund             | IfcSite     |                         |
| Rum                    | IfcSpace    |                         |

| Bygningsdel    | Ifc entitet             | Alternativ Ifc entitet        |
|----------------|-------------------------|-------------------------------|
| Væg            | IfcWall                 |                               |
| Curtainwall    | IfcCurtainWall          | IfcStandardWall eller IfcWall |
| Gulv           | IfcCovering             | IfcSlab                       |
| Loft           | IfcCovering             | IfcSlab                       |
| Bjælke         | IfcBeam                 |                               |
| Søjle          | IfcColumn               |                               |
| Dør            | IfcDoor                 |                               |
| Vindue         | IfcWindow               |                               |
| Tag            | IfcRoof                 |                               |
| Dæk            | IfcSlab                 |                               |
| Trappe         | IfcStair                |                               |
| Trappeløb      | IfcStairflight          |                               |
| Rampe          | IfcRamp                 |                               |
| Rampeforløb    | IfcRampflight           |                               |
| Rækværk        | IfcRailing              |                               |
| Rør            | IfcDistributionElement  |                               |
| Eludstyr       | IfcElectricalElement    |                               |
| VVS-udstyr     | IfcEquipmentElement     |                               |
| Transportanlæg | IfcTransportElement     |                               |
| Møbler         | IfcFurnishingElement    |                               |
| Øvrige         | IfcBuildingElementProxy |                               |

Såfremt det ikke er muligt, at benytte den foretrukne eller alternative entitet kan IfcBuildingElementProxy benyttes.

# SKEMATIK

I dette afsnit ser vi nærmere på, hvilke krav om data og modeller, der gør sig gældende i forskellige situationer så som:

- Projektkonkurrence
- Udbud på projektforslag
- Udbud på hovedprojekt
- Virtual Reality præsentationer
- Visualiseringer
- Simuleringer

De forskellige former for simuleringer uddybes i bilagene, der opdeler de forskellige simuleringsområder i forskellige niveauer med varierende bygherrekrav.

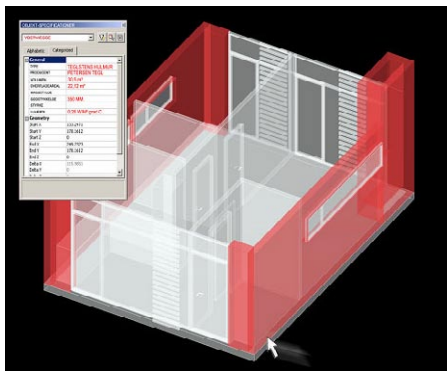
## 3D PROJEKTERING

Gennem en konsekvent brug af 3D-objekter etableres der sammenhæng i projektet. Geometrisk sikres der konsistens i projektet, så der kan udføres sikker kontrol af relationer mellem rum, konstruktioner,

bygningsdele og installationer. 3D objekterne tilknyttes alfanumeriske data, således at der på alle niveauer åbnes mulighed for specifikke beregninger, herunder mængdeudtag og prisberegninger.

### *Projektkonkurrence*

Kravene sikrer at der er konsistens mellem det udbudte konkurrencegrundlag og de enkelte forslag. Disse data skal endvidere danne grundlag for en entydig vurdering af konkurrenceforslaget konceptuelle ide, og at forslagene er i overensstemmelse med de stillede krav til arealer og volumen. Efterfølgende skal data indgå i en viderebearbejdning af konkurrenceforslaget og dermed sikre et entydigt grundlag i forbindelse med supplerende og udbyggende digitalt konkurrencemateriale. Kravet om en opdeling af data i kernetata og fagspecifikke data, sikrer dels at data kan genbru-



3D Projektering

ges i alle projektfaser over udbud, opførelse og DV, dels at de konkurrerende netop kan vælge de programmer, som de vurderer er bedst egnet til at løse deres opgave.

*Udbud på projektforslag og hovedprojekt*  
Kravene sikrer, at der er konsistens i det godkendte konkurrenceforslag, og at forslaget er i overensstemmelse med de stillede krav til arealer og volumen. Kravet om en opdeling af data i kernerdata og fagspecifikke data, sikrer her dels, at data er en del af grundlaget for prisindhentning, og at data kan genbruges videre i projektforslaget i forbindelse med planlægning, opførelse og DV. Endvidere sikres det også, at de projekterende kan vælge de fagspecifikke programmer, som de vurderer er bedst egnet til at løse deres opgave.

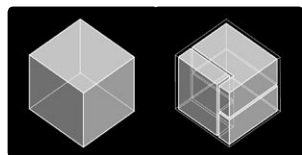
## Projektkonkurrence – A

### Formål

Materialet skal indgå i bygherrens bedømmelse af de indkomne forslag.

### Kernerdata

- Volumenmodel
- Rummodel



Volumenmodel

Rummodel

### Særlige krav

- Foruden de af rådgiveren valgte illustrationer, skal bygningen visualiseres fra fire angivne positioner og på tidspunk-

ter anført i ydelsesaftalen svarende til et kamera (24×36 mm) med et 35 mm objektiv dannet fra en kote, som er 1,75 m over færdigt terræn.

- Der skal være udført et skyggediagram for bygværket visende skygger i planprojektion med 1 times interval på 2 datoer, der er angivet i udbudsmaterialet.
- Visualiseringssekvens med foruddefineret navigation, som er angivet i ydelsesaftalen.

### Fagspecifikke data

Volumenmodel skal udføres med flader i en gråskala. Modellen vil alene blive anvendt til bedømmelse af forslagens volumen i relation til omkringliggende bygningsværker.

Rummodellen skal udføres med flader i en gråskala. Modellen vil alene blive anvendt til bedømmelse af overensstemmelse mellem forslagens arealer i relation til bygherrens krav.

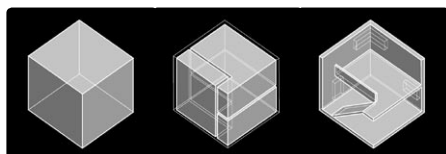
## Projektkonkurrence – B

### Formål

Den vindende rådgiver skal to uger efter konkurrencens afslutning aflevere nedenstående supplerende materiale, der skal anvendes i forbindelse med en virtuel præsentation af bygningen. Volumenmodel og Rummodel opdateres i henhold til nedenstående krav.

### Kernerdata

- Volumenmodel
- Rummodel
- Elementmodel



Volumenmodel

Rummodel

Elementmodel

### Særlige krav

Elementmodellen skal indeholde følgende bygningsdele:

- Vinduer med karme, rammer, glas
- Døre med karme, rammer og fyldning
- Dæk med loft, gulv
- Trappe med gelænder
- Lys med lampeplacering og effekt
- Interiør

De bygninger som er specificerede i konkurrencen, skal have gennemgået følgende former for analyser/simuleringer på basisniveau:

- En termisk simulering
- En vurdering af anlægsøkonomi og totaløkonomi

### Fagspecifikke data

For alle objekter skal materiale være oplyst. Specifikationerne skal indeholde:

- Angivelse af farvekode med en unik farve
- Angivelse af lysrefleksion med angivelse af glans eller mat
- Angivelse af transparens
- Angivelse af tekstur

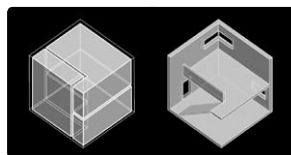
### Udbud på projektforslag

#### Formål

I forbindelse med et udbud på projektforslag skal de deltagende firmaer aflevere følgende:

#### Kernedata

- Rummodel
- Bygningsdelmodel



Rummodel

Bygningsdelmodel

### Særlige krav

Der skal være gennemført en termisk simulering på basisniveau.

### Fagspecifikke data

Følgende specifikationer for objekterne skal være oplyst:

- Materialebeskrivelse
- Pris
- Termiske oplysninger
- Data til DV
- Angivelse af farvekode med en unik farve
- Angivelse af lysrefleksion med angivelse af glans eller mat
- Angivelse af transparens
- Angivelse af tekstur

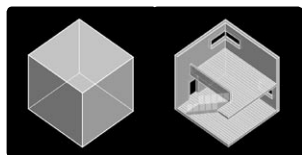
### Udbud på hovedprojekt

#### Formål

I forbindelse med et udbud på hovedprojekt skal de deltagende firmaer aflevere følgende:

#### Kernedata

- Rummodel
- Bygningsdelmodel/Konstruktionsmodel



Volumenmodel

Konstruktionsmodel

### *Særlige krav*

Der skal være gennemført en termisk simulering på basisniveau.

### *Fagspecifikke data*

Følgende specifikationer for objekterne skal være oplyst:

- Pris
- Vedligeholdelse
- Levetid
- Rengøringsbehov
- Forbrug
- Termiske oplysninger
- Data til DV
- Angivelse af farvekode med en unik farve
- Angivelse af lysrefleksion med angivelse af glans eller mat
- Angivelse af transparens
- Angivelse af tekstur

## VIRTUAL REALITY

Virtual Reality eller realtidsgrafik gør det muligt at bevæge sig frit rundt i en virtuel model af byggeriet, inden det realiseres. En præsentationsform, der for bygherren er et godt supplement til det materiale, som traditionelt afleveres i en konkurrence. De visuelle medier kan således indgå som et væsentligt element i bygherrens beslutningsgrundlag, og de kan også anvendes i forbindelse med en offentlig fremlæggelse af et byggeprojekt.

### Eksteriør

#### Formål

Realtidsvisning af bygningens eksteriør

#### Kernedata

- Volumenmodel

#### Særlige krav

Ingen



Volumenmodel

#### Fagspecifikke data

For alle objekter skal materiale være oplyst. Specifikationerne skal indeholde:

- En unik farve (farvekode)
- Angivelse af lysrefleksion på to niveauer, glans eller mat
- Angivelse af transparens
- Angivelse af tekstur

Herudover bør der eksistere en bymodel eller anden form for model, som gør det muligt at placere/vurdere bygningen i den rette kontekst.

### Interiør

#### Formål

Realtidsvisning af bygningen og dens interiør

#### Kernedata

- Elementmodel



Elementmodel

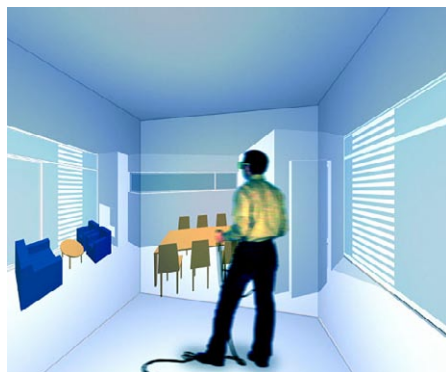
#### Særlige krav

- Vinduer skal være angivet med karme, angivet med karme, rammer og glas
- Døre skal være angivet med karme, rammer og fyldningsbeskrivelse
- Gelænder på trappe

#### Fagspecifikke data

For alle objekter skal materiale være oplyst. Specifikationerne skal indeholde:

- En unik farve (farvekode)
- Angivelse af lysrefleksion på to niveauer, glans eller mat
- Angivelse af transparens
- Angivelse af tekstur
- Lys herunder lampeplacering og effekt
- Interiørobjekter kan medtages



Virtual Reality

## VISUALISERING

Visualisering indgår i bygherrens beslutningsproces i.f.m præsentation, vurdering og bedømmelse af konkurrenceforslag. I designprocessen danner visualisering grundlag for diskussion og kommunikation omkring valg af detaljer, overflader, rum og form i.f.m. projektgruppens vurderinger af muligheder og valg til projektet.

### Skyggediagram

#### Formål

Visuel fremstilling af skyggeforhold forårsaget af bygningen.

#### Kernedata

- Volumenmodel

#### Særlige krav

Ingen

#### Fagspecifikke data

Ingen



Volumenmodel



Visualisering

## Volumen – Bymodel

#### Formål

Visuel fremstilling af bygningen baseret på dens volumen, evt. placeret i en bymodel.

#### Kernedata

- Volumenmodel

#### Særlige krav

Ingen



Volumenmodel

#### Fagspecifikke data

Modellen udføres med farveflader i en gråskala.

### Still – Niveau 1

#### Formål

Visuel fremstilling af bygningen i en realistisk gengivelse med hensyn til størrelsesforhold, udstrækning og placering.

#### Kernedata

- Volumenmodel

#### Særlige krav

Ingen



Volumenmodel

#### Fagspecifikke data

For alle objekter skal materiale være oplyst. Specifikationerne skal indeholde:

- En unik farve (farvekode)
- Angivelse af lysrefleksion på to niveauer, glans eller mat
- Angivelse af transparens
- Angivelse af tekstur

## Still – Niveau 2

### Formål

Visuel fremstilling af bygningen i en realistisk fremstilling med hensyn til størrelsesforhold, udstrækning og placering af bygningen.

### Kernedata

- Elementmodel



Elementmodel

### Særlige krav

For alle objekter skal materiale være oplyst. Specifikationerne skal indeholde

- En unik farve (farvekode)
- Angivelse af lysrefleksion på to niveauer, glans eller mat
- Angivelse af transparens
- Angivelse af tekstur

### Fagspecifikke data

Rådgiver angiver selv farver, tekstur, refleksioner osv. efter eget valg. Det er ikke et krav at stills er udarbejdet på grundlag af 3D-modellen, men der skal være overensstemmelse mellem stills og den afleverede model.

## Sekvens – Niveau 1

### Formål

Visualiseringssekvens med foruddefineret navigation af bygningen i en realistisk fremstilling med hensyn til størrelsesforhold, udstrækning og placering af bygningen.

### Kernedata

Ingen

### Særlige krav

Levering af en visualisering med foruddefineret navigation, som egner sig til projektorfremvisning. Leverancen skal indeholde programmet til afvikling af visualiseringen, eller en angivelse af hvor programmet lovligt kan hentes uden betaling. Leverancen af selve visualiseringssekvensen kan enten ske via et link eller ved at sekvensen leveres på et af bygherren valgt datamedium.

## Sekvens – Niveau 2

### Formål

Visualiseringssekvens med fri navigation af bygningen i en realistisk fremstilling med hensyn til størrelsesforhold, udstrækning og placering af bygningen.

### Kernedata

Ingen

### Særlige krav

Levering af en visualisering, som egner sig til projektorfremvisning. Det skal være muligt for brugeren frit at kunne navigere i modellen. Leverancen skal indeholde programmet til afvikling af visualiseringen, eller en angivelse af hvor programmet lovligt kan hentes uden betaling. Leverancen af selve visualiseringssekvensen kan enten ske via et link, eller ved at sekvensen leveres på et af bygherren valgt datamedium.

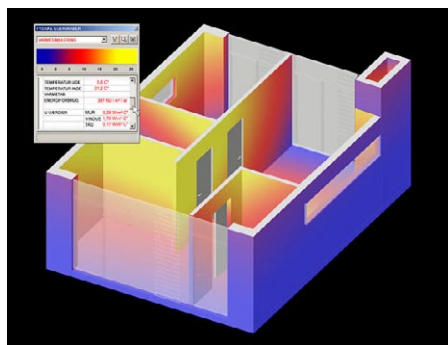
## SIMULERING

Gennem simulering og analyse kan man under design- og projekteringsfasen forudsige virkemåden af et system eller fx adfærden hos beboere under en brand-situation. Den voksende computerkraft har øget udbredelsen af software, der kan anvendes til forskellige former for simuleringer i et byggeri.

I dag kan man simulere termiske forhold, luftstrømme/vind påvirkninger, væskestrømme, lys, akustik, statik (konstruktive virkemåde), brandudbredelse, fugttransport, afgangning, evakuering, kødannelse eller handicaptilgængelighed.

### Typen af simulering

- Akustik
- Brand
- Evakuering og kødannelse
- Indeklima
- Lys
- Statik
- Anlægsomkostninger og driftsøkonomi
- Tidsstyring og tidsplan



Princip for simulering

### Simuleringsniveauer

- Basis
  - Simuleringer der netop opfylder de nødvendige krav til basisdokumentation
- Udvidet
  - Simuleringer der udfører både overordnet og detaljeret undersøgelse
- Ideelle
  - Simuleringer der udfører fuldendte og detaljerede beregninger

### Akustisk simulering

#### Formål

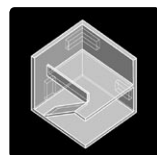
Vurdering af akustiske forhold

#### Kernedata

- Elementmodel

#### Særlige krav

Overfladespecifikation og geometri af inventar



Elementmodel

#### Fagspecifikke data

Absorption og refleksion af bygningsdele

### Simulering af indeklima

#### Formål

Vurdering af indeklima forhold

#### Kernedata

- Elementmodel

#### Særlige krav

Ingen



Elementmodel

#### Fagspecifikke data

Varmetransmissionskoefficienter af vægge, loft, gulv, vinduer og døre.

VVS-udstyr skal defineres efter IFC-objektstruktur. Informationer omkring følgende egenskaber skal oplyses:

- Position
- Varme/køleeffekteffekt, strålingsbidrag
- Luftmængde, recirkuleringsgrad
- Temperatur
- Luftfugtighed

## Brandsimulering

### Formål

Vurdering af brandmæssige forhold herunder evakuering

### Kernedata

- Elementmodel

### Særlige krav

Overfladespecifikation  
og geometri af inventar



Elementmodel

### Fagspecifikke data

Absorptions- og refleksionsegenskaber  
Varmetransmissionskoefficienter for IFC-objekter

- Væg, loft, gulv, vinduer, og døre

VVS-udstyr skal defineres efter IFC-objektstruktur med informationer omkring følgende egenskaber:

- Position
- Varme/køleeffekt, strålingsbidrag
- Luftmængde, recirkuleringsgrad
- Temperatur
- Luftfugtighed
- Brandventilation
- Luftydelse
- Temperatur
- Luftfugtighed

## Simulering af lys

### Formål

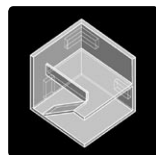
Vurdering af lysforhold

### Kernedata

- Elementmodel

### Særlige krav

Ingen



Elementmodel

### Fagspecifikke data

Information omkring følgende egenskaber skal oplyses:

- Farve
- Lys, position intensitet
- Refleksion
- Overflade materiale tekstur
- Lys armatur for ovennævnte

## Simulering af statik

### Formål

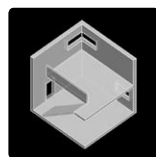
Vurdering af en bygnings statiske og dynamiske bæreevne

### Kernedata

- Bygningsdelmodel

### Særlige krav

Ingen



Bygningsdelmodel

### Fagspecifikke data

Materialeegenskaber,  
bæreevne, styrke, flydespænding.

## Simulering af anlægssomkostning – Driftsøkonomi

### Formål

Vurdering af bygge- og driftsomkostninger

### *Kernedata*

- Bygningsdelmodel

### *Særlige krav*

Ingen



Bygningsdelmodel

### *Fagspecifikke data*

Information om følgende egenskaber skal oplyses:

- Pris
- Vedligeholdelse
- Levetid
- Rengøringsbehov
- Forbrug

# ORDLISTE

## ABR89

Almindelig bestemmelser for teknisk rådgivning og bistand.

## Bymodel

3D geometrisk model af en by.

## Bygningsdelmodel

Bygningsdelmodellen indeholder bygningsdele, som er detaljeret til et niveau hvor kravene til deres ydeevne og opbygning er nøje specificeret, dog før der træffes valg af et produkt fra en bestemt leverandør.

## Bygningsmodel

er en integreret helhed bestående af produktdata om en specifik bygning samt om bygningsprocesser i bygningens levetid. En produktmodel repræsenterer bygningens produktdata struktureret i overensstemmelse med en produktdata-model. En bygningsprodukt-model kan fx gemmes som en database eller som en dataudvekslingsfil. I et computerprogram og i dataudveksling repræsenterer produktmodellen en bygning og dens komponenter i form af objekter, der viser virkelige bygningsdele, rum osv. (ProlT).

## CSG

Constructive Solid Geometry

## Elementmodel

Elementmodellen er forløberen for bygningsdelmodellen, hvor elementerne er resultatet af den første nedbrydning af bygningen til afgrænsede bestanddele.

## Fagspecifikke data

er data som er specifikke for et enkelt fagområde, mens kernerdata har interesse og betydning for flere parter.

## IAI

International Alliance for Interoperability.

## IFC

Industry Foundation Classes.

## Kernedata

er den fællesmængde af data, som alle parter i byggesagen trækker på og bidrager til.

## Kravmodel

Bygherrens krav til byggeriet.

## Konstruktionsmodel

Konstruktionsmodellen er en videre detaljering baseret på bygningsdelmodellens indhold. I konstruktionsmodellen er produkter fra bestemte leverandører kendt, og dermed er produktdata og udførelsesdata også kendte.

## Planlægningmodel

Planlægningsmodellen er en videre udbygning af konstruktionsmodellen hvor man tilknytter leveringstider, produktionstider, bestillingstider mm., som danner grundlag for den egentlige opførelse.

## Proxy

Erstatningselement

## Rummodel

3D-rummodellen indeholder alene informationer om rummet, og ikke om de konstruktionselementer der omgiver rummet.

## Som udført model

er en endelig opdatering af modellen, så den fremstår som udført. Modellen danner grundlag for D&V til den videre drift.

## Volumenmodel

3D-volumenmodeller opbygges af geometriske grundformer, der er massive. I en volumenmodel er ude og inde kendt.

# REFERENCE

Implementering af Det digitale byggeri, februar 2003, Erhvervs- og boligstyrelsen

Udbudsmateriale vedrørende udbudet “Bygherrekrav – 3D modeller”, oktober 2003, Erhvervs- og boligstyrelsen.

B3D-konsortiet, Workshop 1, april 2004, [www.detdigitalebyggeri.dk/B3Dworkshop1/0/10](http://www.detdigitalebyggeri.dk/B3Dworkshop1/0/10)

Det Digitale Fundament, Klassifikation, Byggeriets begrebsbase, 26. maj 2004.

SfB 1988 Bygningsdeltavle, Byggecentrum

Bygherrekrav – Digitalt udbud, Krav – revision 1 (april 2004), 31. marts 2004, BANK-konsortiet, [www.ebst.dk/file/2048/DUkrav](http://www.ebst.dk/file/2048/DUkrav)

Design Guidelines 1.1, ProIT, Product model data in the construction process, Product models for architects, general basics and advice, architect Seppo Niemioja, Innovarch Oy

Bygherrekrav – 3D-modeller, Potentialer og barrierer B3D-konsortiet

Digitalt udbud, Notat om Barrierer og potentialer, juni 2004, BANK-konsortiet

Industry Foundation Classes, International Alliance for Interoperability, [www.iai-international.org](http://www.iai-international.org)

## BILAG – SIMULERINGSNIVEAUER

For at udnytte koblingen mellem de forskellige simuleringsområder er det vigtigt at forstå samspillet mellem krav og funktion med fokus på hele processen. Kravene synliggøres ved en opdeling af hvert simuleringsområde i tre niveauer:

- *Basis niveau* – de simuleringer, der netop opfylder de nødvendige krav til basisdokumentation
- *Udvidet niveau* – de simuleringer, der både giver overordnet og detaljeret undersøgelse
- *Ideelle niveau* – de simuleringer, der kan udføre fuldendte beregninger, hvor alle detaljer er medtaget.

Bygherren bør ved anvendelse af simuleringer som minimum kræve, at basisniveau er opfyldt.

Såfremt yderligere informationer eller detaljeundersøgelser er nødvendige, bør basis og udvidet benyttes. Det ideelle niveau betyder, at simuleringerne gen-

nemføres, hvor alle detaljer er medtaget og derved giver et ideelt resultat.

Bygherren og myndighederne er således medvirkende til at sætte kravene og dermed behovet for simulering. Dette valg har dernæst betydning for, hvilke data der er nødvendige for at gennemføre den bestemte type af simulering.

Der vil således være behov for at kunne konvertere fra bygningsmodellen til forskellige formater, således at der ikke sættes hindringer for anvendelsen af specifikke programmer eller bygningsdata.

Ud fra funktionskraverne ses, at behovet for anvendelsen af bygningsgeometrien indgår i flere simuleringsområder, hvorfor det vil være væsentligt, at kunne benytte den.

# BILAG – INDEKLIMA

I tabellen til højre er krav til beregningsværktøjer opdelt i de tre niveauer inden for indeklima eller brand.

Tabellen på næste side viser, hvilke egenskaber man kan forvente, at de enkelte versioner indeholder.

Enkelte kendte programmer er indføjet i tabellen. I dag anvendes zonemodeller primært til at opfylde krav fra lovgivning og bygherrer. CFD-modeller bruges til at undersøge specielle eller specifikke problemstillinger.

## Beskrivelser af versioner

| Version | De enkelte versioners formåen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Basis   | Basisversionens beregninger opfylder netop de minimumskrav, man kan forlange som dokumentation, når man dimensionerer indeklima, komfort, VVS-system iht. gældende lov og bygherrekrav. Denne anvendes primært i projekteringsfasen, hvor der oftest anvendes zonemodeller.                                                                                                                                                                                                        |
| Udvidet | I den udvidede version kan beregningerne opfylde mere end minimumskravene. Beregningerne kan, ud over dokumentationen af de gældende lov- og bygherrekrav for indendørs klima og brandsikkerhed, også benyttes til analyse af fx lugt/forureningsspredning, kuldenedfald, lokale varmezoner, animationer af tidlige problemstillinger. Disse kan bl.a. anvendes i den videre projekteringsfase, til detailundersøgelser, eller som verifikation af anvendte løsninger i byggeriet. |
| Ideelle | Den ideelle version adskiller sig fra de to øvrige metoder ved at kunne udføre komplette beregninger baseret på metoder, der viser et komplet tidsforløb vedrørende indeklima eller brandforløb under hensyntagen til givne valgte løsninger i bygningen.                                                                                                                                                                                                                          |

## Sammenligning af beregningsegenskaber

Basis-  
version

Udvidet  
version

Ideelle  
version

### Geometri input

|                                                                               |   |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|---|------|------|
| Simpel rumlig geometri af flader                                              | 1 |      |      |
| Kompleks geometri af flader<br>(Ustruktureret hexa/tetrahedisk beregningsnet) |   | 3    |      |
| Import af CAD-geometri filer (Autocad)                                        | 1 | 2, 3 |      |
| Import af IFC-filer                                                           |   |      | 2, 3 |
| Input af inventar / møbler i form af objekter                                 |   |      | 3    |
| Input af VVS-objekter, fx blæser, diffusor, dyser, armatur osv.               |   | 2    | 3    |

### Fysiske modeller

|                                                     |         |      |  |
|-----------------------------------------------------|---------|------|--|
| Stationær / Transientberegninger                    | 1,2,3   |      |  |
| Volumestruemmodel                                   | 1,2,3   |      |  |
| Simpel turbulensmodel                               | 2       | 2, 3 |  |
| Avanceret turbulensmodel                            |         | 3    |  |
| Mekanisk, naturlig, hybrid ventilation              | 2       | 2, 3 |  |
| Avanceret Stråling – model                          | 2,3     | 2, 3 |  |
| Refraktion på overflader i forbindelse med stråling |         | 2, 3 |  |
| Materialebibliotek                                  | 2       | 3    |  |
| Transport model for røg, gas                        | 1, 2, 3 |      |  |
| Røgspredning                                        | 2, 3    | 2, 3 |  |
| Forbrændnings model / Kilde brænd                   | 2       | 3    |  |
| Randbetingelser                                     |         |      |  |
| Volumenstrøm, Varmestrøm/tab                        | 1       | 2, 3 |  |
| Forskellige typer af ind- og ud-strøms betingelser  |         | 2, 3 |  |
| Tidsligt varierende ind- og ud-strøms betingelser   |         | 3    |  |
| Profiler af indsløbshastighed                       |         | 3    |  |
| Varmetransport igennem vægge eller konstruktion     | 2       | 3    |  |
| Varmerakkumulering i konstruktion                   |         | 3    |  |

### Visualisering /Post Processing

|                                                 |       |     |   |
|-------------------------------------------------|-------|-----|---|
| Tabel form                                      | 1,2,3 |     |   |
| Kurver form                                     | 1,2,3 |     |   |
| Kontour plan                                    |       | 2,3 |   |
| Luft hastighedsvektor                           |       | 2,3 |   |
| Partikel baner / Strømlinjer                    |       | 2,3 |   |
| Iso-flader af fx lufthastighed, temperatur osv. |       | 2,3 |   |
| Volume rendering af beregning data              |       |     | 3 |
| Animering                                       |       | 2,3 |   |
| Virtual Reality walkthrough                     |       |     | 3 |
| Virtual RealityML (Export til)                  |       | 3   |   |

1: Almindelige programmer med zonemodeller som Argos osv.

2: Indeklima/ specifikke CFD programmer, CFD2000, Flowvent, Airpack osv.

3: Generelle CFD programmer som Fluent, Star-cd, CFX osv.

# BILAG – BRAND

Inden for brandsimuleringer er der en tendens til at bruge CFD-modeller i større og større grad i stedet for zonemodeller.

| Sammenligning af beregningsegenskaber vedr. brand                          | Basis-version | Udvidet version | Ideelle version |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Geometri input                                                             |               |                 |                 |
| Simple rumlig geometri af flader                                           | 1             |                 |                 |
| Kompleks geometri af flader (Ustruktureret hexa/tetrahedisk beregningsnet) |               | 3               |                 |
| Import af CAD-geometri filer (Autocad)                                     | 1             | 2, 3            |                 |
| Import af IFC-filer                                                        |               |                 | 2, 3            |
| Input af inventar / møbler i form af objekter                              |               |                 | 3               |
| Input af VVS-objekter, fx blæser, diffusor, dyser, armatur osv.            |               | 2               | 3               |
| Fysiske modeller                                                           |               |                 |                 |
| Stationær / Transientberegninger                                           | 1,2,3         |                 |                 |
| Volumestrømmodel                                                           | 1,2,3         |                 |                 |
| Simple turbulensmodel                                                      | 2             | 2, 3            |                 |
| Avanceret turbulensmodel                                                   |               | 3               |                 |
| Mekanisk, naturlig, hybrid ventilation                                     | 2             | 2, 3            |                 |
| Avanceret Stråling – model                                                 | 2,3           | 2, 3            |                 |
| Refraktion på overflader i forbindelse med stråling                        |               | 2, 3            |                 |
| Materialebibliotek                                                         | 2             | 3               |                 |
| Transportmodel for røg, gas                                                | 1,2,3         |                 |                 |
| Røgspredning                                                               | 2, 3          | 2, 3            |                 |
| Forbrændningsmodel / Kilde brænd                                           | 2             | 3               |                 |
| Randbetingelser                                                            |               |                 |                 |
| Volumenstrøm, Varmestrøm/tab                                               | 1             | 2, 3            |                 |
| Forskellige typer af ind- og ud-strøms betingelser                         |               | 2, 3            |                 |
| Tidsligt varierende ind- og ud-strøms betingelser                          |               | 3               |                 |
| Profiler af indsløbshastighed                                              |               | 3               |                 |
| Varmetransport igennem vægge eller konstruktion                            | 2             | 3               |                 |
| Varmerakkumulering i konstruktion                                          |               | 3               |                 |
| Visualisering /Post Processing                                             |               |                 |                 |
| Tabel form                                                                 | 1,2,3         |                 |                 |
| Kurver form                                                                | 1,2,3         |                 |                 |
| Kontour plan                                                               |               | 2,3             |                 |
| Luft hastighedsvektor                                                      |               | 2,3             |                 |
| Partikel baner / Strømlinjer                                               |               | 2,3             |                 |
| Iso-flader af fx lufthastighed, temperatur osv.                            |               | 2,3             |                 |
| Volume rendering af beregning data                                         |               |                 | 3               |
| Animering                                                                  |               | 2,3             |                 |
| Virtual Reality walkthrough                                                |               |                 | 3               |
| Virtual RealityML (Export til)                                             |               | 3               |                 |

1: Almindelige programmer med zonemodeller som Argos osv.  
2: Indeklima/ specifikke CFD programmer, CFD2000, Flowvent, Airpack osv.  
3: Generelle CFD programmer som Fluent, Star-cd, CFX osv.

## BILAG – BELYSNING

Behovet for, hvad et beregningsprogram skal kunne, afhænger bl.a. af opgavens type, omfang og kompleksitet samt krav til det ønskede output – herunder dokumentation og den ønskede tolerance på beregningsusikkerheden.

Ved projekteringen af nye belysningsanlæg skal man eksempelvis dokumentere, at de dimensionerede anlæg opfylder gældende lovkrav, der bl.a. er defineret vha. belysningsniveauer og blændingstal. Hertil kræves en lysberegning.

Ved udformningen af facader, ovenlys og atrier ønsker man tit at optimere disse for at opnå en tilfredsstillende dagslysadgang samt muligheden for en effektiv afskærmning af solen. Dokumentationen herfor behøver dog ikke nødvendigvis at udføres vha. beregninger, selvom disse vil kunne bidrage til, at udformningen nemmere kan vurderes og optimeres. En typisk beregning vil være udregningen af dagslysfaktorer.

I tabellen til højre er krav til beregningsværktøjer opdelt i tre niveauer:

*Basisversion* – den, der netop opfylder den nødvendige dokumentation for indendørsbelysning

*Udvidet version* – den, der kan regne på kunst- og dagslys både indendørs og udendørs

*Ideelle version* – den, der kan udføre fulde beregninger

### Beskrivelse af versioner

| Version | De enkelte versioners formåen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Basis   | Basisversionens beregninger opfylder netop kun minimumskravet til, hvad man kan forlange af dokumentation, når man dimensionerer et nyt indendørs belysningsanlæg iht. gældende lovkrav.<br>For et umøbleret lokale med simpel geometri kan basisversionen beregne belysningen fra den kunstige belysning samt udregne blændingstal.                                                                                                                                                                                                                       |
| Udvidet | I den udvidede version kan beregningerne opfylde mere end de minimumskrav, man normalt vil stille. Beregningerne kan ud over dokumentationen af de gældende lovkrav for indendørs belysning også benyttes til udarbejdelse af fotorealistiske visualiseringer og animationer af komplekse modeller. Disse kan bl.a. anvendes i projekteringsfasen, hvor bygningsgeometri, materialer samt belysningsarmaturer diskuteres og klarlægges.<br>Lysberegningerne kan endvidere benyttes til analyse af både dagslysadgangen og solindfaldet gennem facader osv. |
| Ideelle | Den ideelle version adskiller sig fra de to øvrige metoder ved at kunne udføre komplette beregninger baseret på metoder, der følger de naturvidenskabelige love fuldt ud, og som derfor giver et 100% korrekt output. Programmet har endvidere uanede muligheder mht. interface og brugermuligheder.                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                                                                                                     | Basis-<br>version | Udvidet<br>version | Ideelle<br>version |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Geometri input</b>                                                                                               |                   |                    |                    |
| Simpel geometri af flader                                                                                           | 1,2,3,4           |                    |                    |
| Kompleks geometri af flader (kurvede flader osv.)                                                                   |                   | 2,3,4              |                    |
| Input af vinduer                                                                                                    |                   | 2,3,4              |                    |
| Input af udvendige bygninger osv.                                                                                   |                   | 2,3,4              |                    |
| Input af inventar / møbler                                                                                          |                   | 2,3,4              |                    |
| <b>Materiale input</b>                                                                                              |                   |                    |                    |
| Diffuse refleksioner på overflader                                                                                  | 1,2,3,4           |                    |                    |
| Spejlende / semispejlende refleksioner på overflader                                                                |                   | 2,3,4              |                    |
| Transmittanser på gennemskinnelige materialer                                                                       |                   | 2,3,4              |                    |
| Vinkelafhængig transmittanser på gennemskinnelige materialer                                                        |                   |                    | 4                  |
| Refraktion på overflader                                                                                            |                   | 2,3,4              |                    |
| Farver på overflader                                                                                                |                   | 2,3,4              |                    |
| Bølgelængdeafhængig refleksion på overflader                                                                        |                   |                    |                    |
| Bølgelængdeafhængig transmittans på overflader                                                                      |                   |                    |                    |
| Materialebibliotek                                                                                                  |                   | 2,3                |                    |
| <b>Lys input</b>                                                                                                    |                   |                    |                    |
| Fotometriske lysfordelinger fra producenter                                                                         | 1,2,3,4           |                    |                    |
| Vedligeholdelsesfaktorer osv.                                                                                       | 1                 |                    |                    |
| Armaturbibliotek                                                                                                    | 1,3               |                    |                    |
| Forskellige himmelmodeller (lysfordelinger for himmel)                                                              |                   | 2,3,4              |                    |
| Position af sol for solstudier                                                                                      |                   | 2,3,4              |                    |
| <b>Interface</b>                                                                                                    |                   |                    |                    |
| Brugervenlig opbygning af simpel model geometri                                                                     | 1                 |                    |                    |
| Brugervenlig opbygning af kompleks model geometri                                                                   |                   |                    |                    |
| Brugervenlig positionering af sol efter geografisk og tidsmæssigt input                                             |                   | 2,3                |                    |
| Import af model geometri fra andre CAD programmer                                                                   |                   | 2,3                |                    |
| Ændring og optimering af overfladers meshing (beregningsnet)                                                        | 1,2,3             |                    |                    |
| Ændring af overfladers refleksionsegenskaber                                                                        | 1,2,3             |                    |                    |
| Udvidet mulighed for ændring af overfladers materialeegenskaber såsom farve, glans, transmittans osv.               |                   | 2,3,4              |                    |
| Udvidet mulighed for definering og ændring af fotometriske data, camera settings, renderings- og beregningskvalitet |                   | 3,4                |                    |
| Eksport af output til andre programmer                                                                              |                   | 3                  |                    |
| Netværksberegning                                                                                                   |                   | 3                  |                    |
| <b>Fotometrisk korrekte beregninger</b>                                                                             |                   |                    |                    |
| Refraktion                                                                                                          |                   |                    | 2,4                |
| Transmittanser                                                                                                      |                   | 2,4                |                    |
| Diffuse reflektanser                                                                                                | 1,2,3,4           |                    |                    |
| Spejlende reflektanser                                                                                              |                   | 2,4                |                    |
| Semispejlende reflektanser                                                                                          |                   |                    | 4                  |
| <b>Lysteknisk output</b>                                                                                            |                   |                    |                    |
| Belysningsstyrke på arbejdsplan                                                                                     | 1,2,3,4           |                    |                    |
| Min/max- samt middelbelysningsstyrker på arbejdsplan                                                                | 1,2,3,4           |                    |                    |
| Belysningsstyrke i et vilkårligt punkt                                                                              |                   | 2,3,4              |                    |
| Belysningsstyrke på alle overflader                                                                                 |                   | 2,3,4              |                    |
| Min/max- samt middelbelysningsstyrker på alle overflader                                                            |                   | 2,3,4              |                    |
| Halvrumlige belysningsstyrker for udvendig belysning                                                                |                   | 1                  |                    |
| Luminansberegning med farver på alle overflader                                                                     |                   | 2,3,4              |                    |
| Luminansberegning med farver i et vilkårligt punkt                                                                  |                   | 2,3,4              |                    |
| Min/max- samt middelluminanser i farver på alle overflader                                                          |                   | 2,3,4              |                    |
| Dagslysfaktorberegning på arbejdsplan                                                                               |                   | 2,3,4              |                    |
| Dagslysfaktorberegning på alle overflader                                                                           |                   | 2,3,4              |                    |
| Dagslysfaktor i et vilkårligt punkt                                                                                 |                   | 2,3,4              |                    |
| Min/max- samt middeldagslysfaktorer på vilkårlige overflader                                                        |                   | 2,3,4              |                    |
| Solstudier                                                                                                          |                   | 2,3,4              |                    |
| Blændingstal for udvalgte synsvinkler                                                                               | 1,2               |                    |                    |
| Fotorealistic visualisering                                                                                         |                   | 2,3                |                    |
| Fotorealistic Animering                                                                                             |                   |                    | 2,3                |
| Virtual Reality walkthrough                                                                                         |                   |                    |                    |
| Virtual Reality ML / X3D eller andre 3D-formater til internettet                                                    |                   |                    | 3                  |

Tabellen til venstre viser, hvilke egenskaber man kan forvente, at de enkelte versioner indeholder. Enkelte kendte programmer er indføjet. Nedenfor er der en oversigt, der forklarer enkelte ord fra tabellen.

## Ordforklaring

|                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                      |                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Arbejdsplan</b>                                                    | Det plan, som arbejdet normalt udføres i, og som benyttes som referenceplan ved fx beregning og måling af belysning.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Halvrumlige belysningsstyrker</b> | (af et punkt af en overflade): Forholdet mellem den lysstrøm, der rammer et overfladeelement, som indeholder punktet og elementets areal.<br>(Halv)rumlig belysningsstyrke er forholdet mellem lysstrømmen på en (halv)kugle og dens areal. |
| <b>Belysningsstyrke</b>                                               | (af et punkt af en overflade): Forholdet mellem den lysstrøm, der rammer et overfladeelement, som indeholder punktet og elementets areal.                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Luminans</b>                      | (af et punkt af en overflade i en given retning): Mål for lystæthed for en flade. Findes som lysstyrken af et overfladeelement, som indeholder punktet pr. tilsyneladende areal af elementet set i den pågældende retning.                  |
| <b>Blændingstal</b>                                                   | Tal, som angiver graden af ubehagsblænding i et belysningsanlæg.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Lysfordelingskurve</b>            | Kurve, der angiver lysstyrken af en lyskilde eller et armatur i et plan gennem lyskildens eller armaturets centrum.                                                                                                                         |
| <b>Dagslysfaktor</b>                                                  | Belysningsstyrken i et punkt i et lokale hidrørende fra diffust himmellys i forhold til den samtidige belysningsstyrke på vandret plan i det fri med fri horisont.                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Reflektans</b>                    | (refleksionsfaktor): Den brøkdel af det indfaldende lys, som reflekteres.                                                                                                                                                                   |
| <b>Diffuse, spejlende og semispejlende refleksioner på overflader</b> | <i>Diffus</i> : Refleksion, hvor det indfaldende lys ved refleksionen spredes i større eller mindre grad.<br><i>Ideel diffus</i> : Refleksion af en overflade fordelt således, at luminansen er ens i alle retninger.<br><i>Spejlende</i> : Refleksion fra en flade, hvor et indfaldende parallelt strålebundt reflekteres som et parallelt strålebundt og således, at udstrålingsvinklen bliver lig med indfaldsvinklen. | <b>Refraktion</b>                    | (brydning): Retningsændring ved passage mellem to gennemsigtige stoffer.                                                                                                                                                                    |
| <b>Fotometri</b>                                                      | Måling af lystekniske størrelser.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Transmittans</b>                  | (transmissionsfaktor): Den brøkdel af det indfaldende lys, som transmitteres.                                                                                                                                                               |
|                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Vedligeholdelsesfaktorer</b>      | En faktor, som anvendes ved belysningsprojekteringer, og hvis værdi afspejler lysstrømsnedgangen pga. ældning og den vedligeholdelse, der vil blive udført.                                                                                 |

NOTE – Under fastlæggelse af vedligeholdet værdi foretages ofte separat vurdering af lyskilder, armaturer og lokale.

# BILAG – STATIK

Behovet for, hvad et beregningsprogram skal kunne, afhænger af opgavens type, omfang og kompleksitet. Krav til programmernes formåen er direkte eller indirekte dikteret af normsættene. Forskellige typer konstruktioner kræver forskellige typer af undersøgelser. Det er ikke bygherren, der stiller kravene, men normerne der angiver, hvad der skal undersøges.

Niveauopdeling af værktøjer er derfor kun vejledende. Normerne skal til enhver tid overholdes, så selv om bygherren ikke stiller særlige krav til statik-modelleringen, så er det muligt, at normerne gør. I det tilfælde skal den projekterende følge normerne.

*Basisversion* – et program, der gør det muligt for den projekterende at opfylde de basale krav til en statisk beregning i henhold til normerne.

*Udvidet version* – et program, der ud over at kunne opfylde de basale krav kan lave 2. ordensberegninger og egenfrekvensberegninger.

*Ideelle version* – et program, der ud over udvidet version – kan arbejde med dynamiske laste og lave avancerede frekvens- og foldningsanalyser.

## Beskrivelser af versioner

| Version | De enkelte versioners formåen                                                                                                                                |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Basis   | Basisversionens beregninger opfylder netop minimumskraverne til, hvad der er nødvendigt for at overholde normernes krav.                                     |
| Udvidet | I den udvidede version kan programmet lave egenfrekvensberegninger og regne på 2. ordens effekter.                                                           |
| Ideelle | Den ideelle version er i stand til at behandle alle former for laste. Det kan arbejde med dynamiske laste og lave avancerede frekvens- og foldningsanalyser. |

## Sammenligning af beregningssegenskaber

|                                                             | Basis-version | Udvidet version | Ideelle version |
|-------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| <b>Geometri input</b>                                       |               |                 |                 |
| Konstruktion kan modelleres med bjælkeelementer             | 1,2,3,4,5     |                 |                 |
| Konstruktion kan modelleres som både rammer og plane flader |               | 2,3,4,5         |                 |
| Konstruktion kan modelleres med vilkårlig geometri          |               |                 | 2,3,4,5         |
| <b>Materiale input</b>                                      |               |                 |                 |
| Materialebibliotek                                          | 1,2,3,4,5     |                 |                 |
| Vilkårlig tværsnitsgeometri                                 |               | 2,3,4,5         |                 |
| <b>Belastningsinput</b>                                     |               |                 |                 |
| Punktlaste og jævnt fordelte laste                          | 1,2,3,4,5     |                 |                 |
| Temperaturlast                                              | 1,2,3,4,5     |                 |                 |
| Tryklast                                                    |               |                 | 3,4,5           |
| Dynamiske laste                                             |               | 2,3,4,5         |                 |
| <b>Beregningstyper</b>                                      |               |                 |                 |
| Lineær beregning                                            | 1,2,3,4,5     |                 |                 |
| Ikke-lineær-beregning                                       |               | 2,3,4,5         |                 |
| Udmattelsesanalyse                                          |               |                 | 3,4,5           |
| <b>Efterbehandling</b>                                      |               |                 |                 |
| Postprocessor – Eurocode                                    | 1,2,3,4,5     |                 |                 |
| Postprocessor DS                                            |               |                 |                 |

1: Almindelige FEM-programmer som eksempelvis QSE fra Research Engineers.

2: StaadPro

3: LUSAS

4: GTStrudl

5: ANSYS

## Ordforklaring

|                            |                                                                                                            |                           |                                                                                                                               |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2. ordensberegning</b>  | Beregning, der tager højde for de tillægskræfter der kommer, når konstruktionen deformeres.                | <b>Mesh</b>               | Et net, der bruges til at underopdele eksempelvis en plade ved en FEM-modellering.                                            |
| <b>Dynamisk belastning</b> | En belastning, der varierer med tiden.                                                                     | <b>Lineær beregning</b>   | Beregning, der bruger teknisk bjælke-teori.                                                                                   |
| <b>FEM-program</b>         | Finite Element Program – program til beregning af en konstruktion, der er underinddelt i mindre elementer. | <b>Post-processor</b>     | Et program, der kan efterbehandle de data, der kommer ud af FEM-programmet.                                                   |
| <b>Frekvensanalyse</b>     | Dækker blandt andet over en analyse af en konstruktions egenfrekvenser.                                    | <b>Udmattelsesanalyse</b> | Analyse der ser på en belastning, der varierer med tiden. Ved et stort antal lastcykler, kan der komme brud i konstruktionen. |

