



## Center for Bygningssimulering

### Idegrundlag for etablering af center

**Christensen, Jørgen Erik; Karlshøj, Jan; Bacher, Peder; Johnsen, Kjeld; Olesen, Bjarne W.; Rode, Carsten; Heller, Alfred**

*Publication date:*  
2012

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

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Christensen, J. E., Karlshøj, J., Bacher, P., Johnsen, K., Olesen, B. W., Rode, C., & Heller, A. (2012). *Center for Bygningssimulering: Idegrundlag for etablering af center*. DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet. DTU Byg-Rapport No. R 279

---

#### 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

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Center for Bygningssimulering – Idegrundlag for etablering af center



Jørgen Erik Christensen, Jan  
Karlshøj, Peder Bacher, Kjeld  
Johnsen, Bjarne W. Olesen  
Carsten Rode og Alfred Heller

## Rapport

Institut for Byggeri og Anlæg

DTU Byg Rapport R 279 (DK)  
December 2012



## Forord

Denne rapport er et samarbejde mellem DTU Byg og AAU.SBi efter bevilling fra Dansk Energi net med PSO-støtte til gennemførelse af F&U-projekt: Journalnummer.: 464-09, projekt nummer 342-026 med projekttitlen: *Center for energisimuleringsprogrammer for reduktion af elforbruget i bygninger.*

Vi vil gerne takke alle de personer, der via deres deltagelse i workshop, strategimøde og arbejds møder har været med til at bibringe projektet værdifuldt indhold og inspiration til ideer til centeret og udarbejdelse af de to ansøgninger. Herudover vil vi takke firmaerne COWI AS, Grontmij og VELUX for deltagelse i firmainterviews, og Henrik Sørensen, ESBENSEN – Rådgivende Ingeniører A/S for specielt engageret deltagelse. Til slut vil vi takke Jørn Borup Jensen, som repræsentant for Dansk Energi for støtte til projektet.

Redaktør på rapporten Lektor Jørgen Erik Christensen, DTU Byg, DTU

December 2012

Danmarks Tekniske Universitet  
DTU Byg  
CVR-no. 30 06 09 46

Forsidebillede: Viborg rådhus, Jørgen Erik Christensen



# Indhold

Forord.....	i
Indhold .....	iii
Sammenfatning .....	v
Abstract.....	vi
1 Indledning.....	1
1.1 Formål .....	2
1.2 Projektets gennemførelse .....	2
2 Idégrundlag for Center for Bygningssimulering .....	3
2.1 Tankemodel for center .....	4
2.2 Tværfagligt samarbejde.....	5
2.3 Målsætning.....	6
2.4 Kompetence og kapacitet.....	10
2.5 Organisation.....	11
2.6 Placering og samarbejde.....	11
2.7 Internationale samarbejdspartnere.....	12
2.8 Vision for center.....	13
3 Konklusion.....	15
Litteratur .....	16
Bilag 1 – Workshop om etablering af Center for Bygningssimulering .....	17
Gruppe 1 – Udgangspunkt i den moderne projektering, State of the art.....	20
Gruppe 2 – Ambitiøse, visionære, originale og banebrydende fremtidsrettede tanker og ideer.....	21
Gruppe 3. – Fri for fossile brændstoffer i 2050 – Hvad skal et Center bidrage til for at visionen kan lykkes .....	23
Gruppe 4. – Fremtidens modelservere .....	26
Bilag 2 – Strategi for Etablering af Center – 4.3.2011 .....	29
Baggrundsnotat.....	29
Strategi møde 4.3.2011 – Notater.....	31
Bilag 3 – Ansøgning Danmarks Grundforskningsråd 29.11.2010 – Centers of Excellence....	35
A short description of the proposed research endeavour .....	36
Provide an argument for supporting the proposed endeavour.....	37

Provide a presentation of the research idea .....	38
References to the relevant literature .....	42
<b>Bilag 4 – Ansøgning Det Strategiske Forskningsråd 10.05.2011 – Centre for Intelligent Building Information Modelling (iBIM) .....</b>	<b>45</b>
Scientific summary .....	45
Objectives.....	45
Methodology .....	48
Participants, organisation and management .....	49
Anticipated results for both science and society .....	50
Main references .....	51

## Sammenfatning

Formålet med projektet har været, at skabe grundlaget for etablering af et Center for Bygningssimulering med fokus på udnyttelse af avancerede bygningsenergisimuleringer til opnåelse af el og varmebesparelser.

Projektet med at forsøge en opbygning af et **Center for Bygningssimulering** i Danmark har taget udgangspunkt i samtaler med kommende brugere og partnere, der har interesse i at videreudvikle Danmarks førende position på feltet. Herefter er der blevet afholdt en ”*Workshop om etablering af Center for Bygningssimulering*” fredag 29. oktober, 2010 på DTU med ca. 90 nationale og internationale deltagere. Workshoppens opbygning og resultater er beskrevet i bilag 1. Workshoppens primære formål var, at få etableret konsensus om behovene hos arkitekter og rådgivere i Danmark i forhold til bygningssimulering, og skabe idegrundlaget for opbygning af et dansk Center for Bygningssimulering.

I tiden efter workshopen udvikledes ideen med, at centeret skal samle forsknings- og udviklingsaktiviteter for dansk bygningssimulering og udvikle fremtidens intelligente simuleringsværktøjer med fokus på udnyttelse af avancerede bygningsenergisimuleringer til opnåelse af bæredygtigt byggeri. Disse programmer skal have et tæt samspil med Building Information Modelling, BIM, hvor byggeprocessen er bundet op omkring en digital bygningsmodel. Herudover blev forskellige finansieringsmuligheder undersøgt for driften af centeret med en foreløbig tidshorisont på 5-10 år.

Med udgangspunkt i workshopen og samtaler med kommende brugere og partnere, blev der skrevet en større ansøgning til Danmarks Grundforskningsråd, 7. ansøgningsrunde – Centre of Excellence til 29. november 2011 (bilag 3) med titlen ”*Centre for Intelligent Building Information Modelling – iBIM*”. Arbejdet med ansøgningen resulterede i at en stor viden blev samlet og bearbejdet i hele processen med udarbejdelsen af ansøgningen. Desværre blev ansøgningen ikke imødekommet.

Workshopen og ansøgningen til Danmarks Grundforskningsråd blev fuldt op af et strategimøde 4. marts 2011 (bilag 2) for nærmere at specificere indhold og fremgangsmåde for det videre arbejde hen imod etablering af et center. Dette har bidraget til en bred vifte af muligheder for, hvad det bør inkludere.

I foråret 2011 blev udarbejdet en ny større ansøgning til Det Strategiske Forskningsråd indenfor emneområdet: ”*Strategisk forskning inden for Bæredygtig Energi og Miljø*” med arbejdstitlen: ”*Centre for Intelligent Building Information Modelling (iBIM)*” (bilag 4). Beklageligvis blev denne ansøgning heller ikke imødekommet.

Arbejdet i projektet med de to ansøgninger og afholdelse af workshop, arbejdsrunde og møder med relevante parter har bidraget med en stor mængde viden, der er samlet i denne rapport. Det er ønsket, at denne rapport kan medvirke til det fortsatte arbejde med at etablere et Center for Bygningssimulering i Danmark. Hovedindholdet i de to ansøgninger er sammenskrevet på dansk i rapportens kapitel 2.



## Abstract

The purpose of the project was to create the basis for the establishment of a Centre for Building Simulation focusing on the use of advanced building energy simulations to obtain electricity and heat savings.

The project of trying to make a **Centre for Building Simulation** in Denmark was based on interviews with future users and partners with an interest in further development of Denmark's leading position in this field. Friday 29th October, 2010, a "*Workshop on the establishment of the Centre for Building Simulation*" was organized at DTU. Approximately 90 national and international participants were present. The workshop structure and results are described in enclosure 1. The primary purpose of the workshop was to establish consensus on the needs of architects and consultants in Denmark in relation to building simulation, and create the concept for a Danish Centre for Building Simulation.

As a result of the workshop the idea grew that the centre will combine research and development activities of the Danish building simulation and develops future intelligent simulation tools with a focus on the use of advanced building energy simulations to achieve sustainable construction. These programs need to interact closely with Building Information Modelling, BIM, where the construction process is connected to a digital building model. In addition, various financing options were considered for the operation of the centre with an initial time horizon of 5-10 years.

Based on results from the workshop, interviews with future users and partners, a large application was written to the Danish National Research Council, 7th application round – Centre of Excellence, 29 November 2011 (enclosure 3) entitled "*Centre for Intelligent Building Information Modelling – iBIM*". The work on the application resulted in a great deal of knowledge gathered and adapted during the whole process of preparing the application. Unfortunately, the application was not granted.

The workshop and the application to the Danish National Research Council was followed by a strategy meeting 4th March 2011 (enclosure 2) in order to further specify the contents and approach for further work towards the establishment of a centre. This has contributed to a wide range of possibilities of what it should include.

During spring 2011, a new large application was made for The Danish Council for Strategic Research within the topic: "*Strategic Research in Sustainable Energy and Environment*" with the working title: "*Centre for Intelligent Building Information Modelling (iBIM)*" (enclosure 4). Unfortunately, the application was not granted.

The work on the project with the two applications and the organization of the workshop, working meetings and meetings with relevant people has contributed to a collection of a great deal of knowledge which is assembled in this report. Hopefully this report will contribute to the on-going work to establish a Centre for Building Simulation in Denmark. The main contents of the two applications are compiled in Danish in the report Chapter 2.

# 1 Indledning

Danmark har i løbet af de sidste 30-40 år opbygget en meget stor ekspertise indenfor området bygningssimulering af energi- og indeklimaforhold, og har på denne måde opnået en førerposition i verden. De fine resultater er opnået gennem et epokegørende samarbejde mellem forskningsinstitutioner, rådgivere og bevillingsgivere. De globale udfordringer med krav om kraftige reduktioner i CO<sub>2</sub> udledningen stiller store krav til byggeriet, byggeriets processer og dermed tilhørende bygningssimuleringsprogrammerne, som er afgørende værktøjer til optimering af energiforbruget i planlagte byggerier og renoveringstiltag.

Fremtidens bygningsdesign vil i stigende grad fokusere på, at processen skal ske ud fra et helhedssynspunkt. Fremgangsmåden kaldes "*integreret design*", hvor de enkelte eksperter bliver inddraget parallelt i processerne. En vigtig forudsætning for dette er, at der kan udføres en detaljeret simulering af bygningerne. Dette vil være med til at reducere elforbruget, da el indgår i en lang række af delforbrug i bygningen: ventilation, belysning, udstyr, etc. Elforbruget er i mange tilfælde med til at forøge den interne varmebelastning og dermed give erhvervsbygninger en uønsket forøgelse af kølebehovet.

Der er dog stor risiko for, at manglende model- og programudvikling vil være en betydelig barriere for udviklingen af metoder til integreret energidesign. Herudover er kravene til programmerne blevet stadig større og mere komplekse med flere funktioner integrerede i programmerne. Dette har resulteret i, at det bliver stadig vanskeligere at fastholde Danmarks førende position med mindre, der gøres en større samlet indsats.

Byggeriet står for 40 % af Danmarks energiforbrug. For at Danmark skal kunne realisere de planlagte CO<sub>2</sub>-reduktioner, som vi er forpligtet til gennem internationale aftaler, er det derfor helt afgørende, at rådgiverne vil være i stand til at minimere energiforbruget ved projektering af nye / renovering af eksisterende bygninger.

I forbindelse med planlægning og projektering af næsten alle større bygninger (inklusive større renoveringer) gennemfører de projekterende analyser af indeklima- og energiforhold for at sikre, at det færdige byggeri vil kunne leve op til de specificerede krav. Imidlertid bygges mange bygninger i dag med en sådan kompleksitet for at forsøge at tilnærme CO<sub>2</sub> neutrale bygninger, at det ikke med eksisterende simuleringsværktøjer er muligt for arkitekt og ingeniør at opnå dette, fordi der ikke er den nødvendige sammenkobling mellem de forskellige programmer, og der desuden ikke udvikles nye modeller/programmer i tilstrækkelig grad.

Det er vigtigt, at der bliver etableret et Center for Bygningssimulering inden for en kort tidshorison, da nøglepersoner indenfor området går på pension indenfor nogle få år. Eftersom bevillingerne til dette område i de seneste 10-20 år har været meget begrænsede og normalt inkluderet i større ansøgninger til andre energimæssige indsatsområder, har der ikke været midler til almindelig vedligeholdelse, videreudvikling af modeller og brugerinterface til mere nutidigt design og etablering af koblinger til andre programmer.

## 1.1 Formål

Formålet med projektet er at skabe grundlaget for etablering af et **Center for Bygningssimulering** og på denne baggrund forsøge at påbegynde opbygningen. Det er tanken, at det skal være et center uden mure med fokus på udnyttelse af avancerede bygningsenergisimuleringer til opnåelse af el og varmebesparelser.

## 1.2 Projektets gennemførelse

Gennemførelsen af projektet med at gøre det muligt at etablere et **Center for Bygningssimulering** i Danmark har taget udgangspunkt i samtaler med kommende brugere og partnere. I projektet er der blevet gennemført én workshop, et strategimøde, arbejds møder og en række interviews med forskellige relevante brugere og partnere.

I den indledende fase blev alle relevante danske interessenter inviteret til at diskutere mulighederne for etablering af et center ved at deltage i en ”*Workshop om etablering af Center for Bygningssimulering*” fredag 29. oktober, 2010 på DTU. I forbindelse med workshoppen blev tillige inviteret relevante udenlandske eksperter, som havde erfaring på området. I alt deltog ca. 90 nationale og internationale deltagere. Workshoppen opbygning og resultater er beskrevet i bilag 1. Workshoppen primære formål var, at få etableret konsensus om behovene hos arkitekter og rådgivere i Danmark i forhold til bygningssimulering, og skabe idegrundlaget for opbygning af et dansk center.

På baggrund af workshoppen udvikledes idegrundlaget med, at centeret skal samle forsknings- og udviklingsaktiviteter for dansk bygningssimulering og skabe fremtidens intelligente simuleringsværktøjer til opnåelse af bæredygtigt byggeri. Disse programmer skal have et tæt samspil med Building Information Modelling, BIM, hvor byggeprocessen er bundet op omkring en digital bygningsmodel. Dermed er det grundlæggende muligt at informere simuleringmodeller automatisk ud fra de allerede bestemte informationer fra de digitale modeller. I praksis er der dog en række dele, der først skal udvikles og som centret vil have en aktiv rolle i.

Med udgangspunkt i det fremskaffede materiale blev udarbejdet en ansøgning til Danmarks Grundforskningsråd, 7. ansøgningsrunde – Centers of Excellence til 29. november 2011 (bilag 3) med titlen ”*Centre for Intelligent Building Information Modelling – iBIM*”. Beklageligvis blev ansøgningen ikke imødekommet. Dette blev efterfuldt af et strategimøde 4. marts 2011 (bilag 2) for nærmere at vurdere fremgangsmåde og specificere indholdet for det fortsatte arbejde med etablering af et center.

I foråret 2011 blev udarbejdet en ny større ansøgning til Det Strategiske Forskningsråd indenfor emneområdet: ”*Strategisk forskning inden for Bæredygtig Energi og Miljø*” med arbejdstitlen: ”*Centre for Intelligent Building Information Modelling (iBIM)*” (bilag 4). Desværre blev denne ansøgning ikke imødekommet.

Udarbejdelsen af de to ansøgninger har bidraget til en bred vifte af muligheder for, hvad et center bør inkludere, og dette er blevet samlet og bearbejdet til en gennemgang af projektideerne på dansk, som er beskrevet i kapitel 2.

## 2 Idégrundlag for Center for Bygningssimulering

Vi lever i en globaliseret verden, hvor produkter og tjenester bliver handlet på tværs af grænser. Et nyt bygningsprojekt i Tyskland kan have en investor fra USA, en arkitekt fra Japan og en rådgivende ingeniør fra Danmark. Visionen med centeret er, at hver partner i bygningsprocessen sidder i sit eget kontor og ser på den samme 3-dimensionale model på en stor touch screen skærm. Hvis arkitekten laver nogle ændringer på bygningen, vil samarbejdspartnerne øjeblikkeligt kunne se effekten på energiforbrug, indeklima og andet. Hvis den rådgivende ingeniør ønsker at flytte nogle søjler for at skaffe bedre betingelser for ventilationskanaler, kan det gøres direkte på touch screen. Virkningen og konsekvenser på f.eks. energi forbrug, sikkerhed, brugbart areal og økonomi vil blive synlig øjeblikkeligt og dermed forbedre beslutningsprocesserne afgørende.

Det er vigtigt at kunne få mere viden om den måde, modeller fungerer i integrerede design processer. Konflikten mellem hastighed og præcision er et centralt forskningsområde. Hvilke typer designprocesser vil være hensigtsmæssige for højt udviklede design forløb? Hvordan kan information anvendes mest effektivt? Hvordan kan information og designbeslutninger blive videregivet til det næste niveau i processen? Hvordan kan der opnås en komplet dynamisk model, i hvilken det er muligt at gå tilbage og ændre tidligere beslutninger uden at skulle starte helt forfra igen? Hvordan kan samspillet mellem uafhængige værktøjer sikres (interoperabilitet). I de seneste ti år har der været en betydelig forskning i integreret design på Danmarks Tekniske Universitet (DTU) Byg, hvilket har resulteret i en studieretning i Bygningsdesign. DTU Informatik og Matematisk Modellering har udviklet nye metoder for databeregnete stokastiske modeller. Modellerne understøtter en kombineret brug af information fra fysiske modeller samt data i den integrerede og intelligente model udviklingsproces. Sådanne metoder er vigtige for modelleringen af den dynamiske respons forbundet til mange nye og avancerede elementer, såsom facader med integrerede solceller.

I følge 2010 udgaven af ”*The European Energy Performance of Buildings Directive*” skal nye bygninger i 2020 være næsten nulenergi bygninger, og direktivet udtrykker bestræbelse på, hvorledes eksisterende bygninger skal renoveres. Derfor er det vigtigt at rette opmærksomhed mod at forbedre energi effektiviteten for bygningsmassen. Tilnærmelsesvis nulenergi forbrugende bygninger opnås kun ved optimering af bygningsdesignet og smart-optimering af alle energimæssige parametre inden for bygningen. Optimerede bygninger skal være ”smarte bygninger”, og informations- og kommunikations teknologi (ICT) vil uden tvivl være et nøgleinstrument, der skal benyttes ved design og drift af fremtidens bygninger. De involverede parter har identificeret to hovedudfordringer, som nødvendigvis skal løses for at opnå dette. For det første deler de nuværende bygningsmodellerings software ikke information direkte, og de er derfor ikke i stand til at bidrage til den nødvendige dataudveksling for at gøre det muligt at udføre integreret design og optimering. For det andet er det nødvendigt, at energi optimering af bygninger skal være mere holistisk. Bygnings design må udvikle sig fra dagens praksis, hvor de individuelle bygningsdele er optimerede separat, og til fremtiden hvor hele bygningen inkl. alle dens installerede systemer vil være

optimerede ved at integrere innovative teknologier, som yderligere vil gøre bygningen selv til en aktiv del af det totale energisystem. For at gøre denne udvikling lettere er der behov for intensiv forskningsindsats for konstruktioner og måling gennem hele bygningens levetid. For at opnå dette meget komplicerede mål er det nødvendigt med et strategisk forskningscenter. Centeret vil bestå af ledende forskere i samarbejde med industrien, som vil efterspørge denne videns teknologi, da dette vil hjælpe dem til at forblive i en global ledende position.

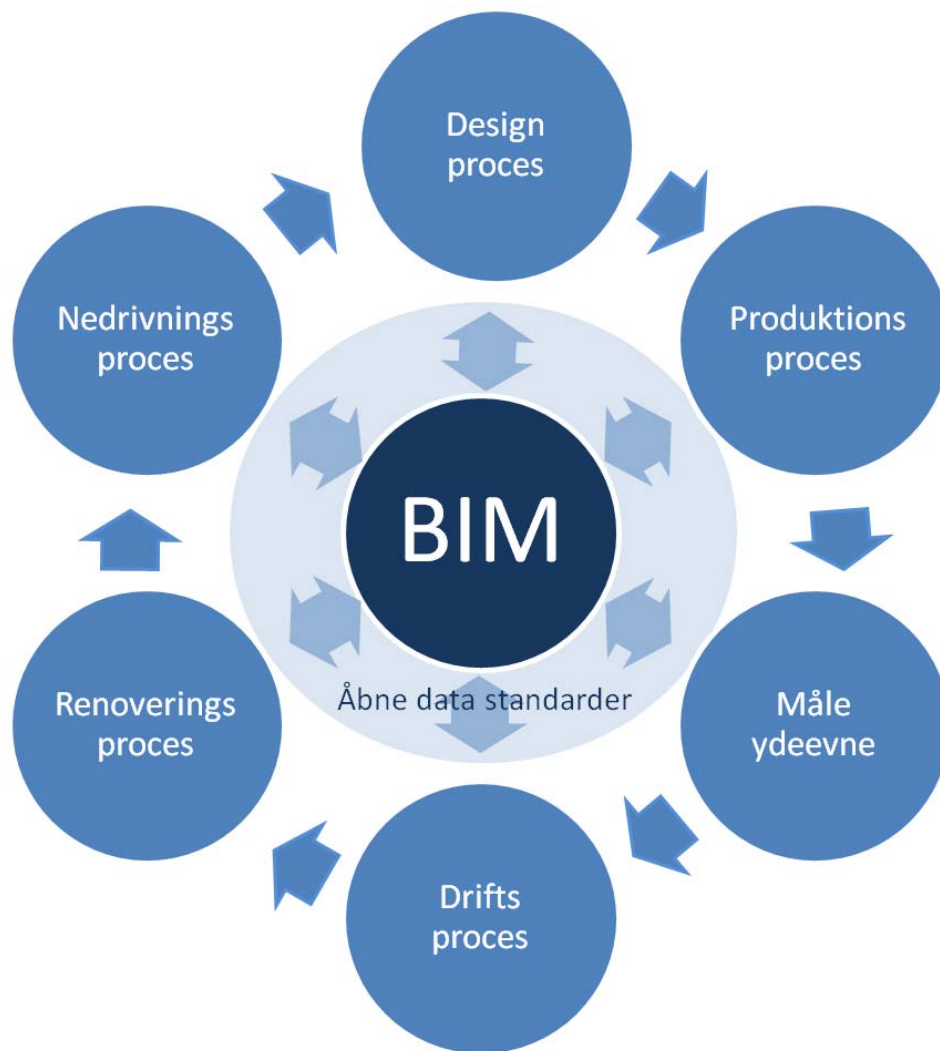
## 2.1 Tankemodel for center

Tankemodellen for det foreslåede projekt er at etablere et center for **Intelligent Bygnings Informations Modelling** (iBIM), som vil muliggøre en betydelig bedre støtte for beslutningstagere i løbet af tidsperioden før, under og efter bygningsprocessen. I de tidlige tegne/design stadier bliver betydningsfulde beslutninger alt for ofte taget på basis af erfaring i stedet for i forhold til kendsgerninger, fordi analyser traditionelt er udformet uafhængigt af hinanden og baserede på simple tilnærmelser, og der først senere i processen vil blive anvendt detaljerede beregningsprogrammer. Det er essentielt for planlæggere og for samfundet at have simuleringer modeller for renovering af eksisterende bygninger og design af nye bygninger med udskiftelige energisystemer, som fuldt ud kan dække energiforbruget for en bygning. Modeller er betydningsfulde for optimeringen af hele samfundets forbrug af energi, for eksempel når det drejer sig om fjernvarme, solvarmeanlæg og smart netværk.

I fremtiden vil bygninger blive udstyret med "smart meters" og andre instrumenter, for at man jævnligt vil kunne aflæse bygningens energiforbrug, bygningens tilstand og andre forhold. iBIM projektet vil fokusere på udviklingen af intelligente statistiske metoder til dataanalyse, hvilket vil betyde at de stokastiske modeller for dynamisk varmekonsum automatisk vil beskrive varmedynamikken i en bygning baseret på målinger. De statistiske metoder vil danne den teoretiske basis for metoder til energimærkning, computergenererede anbefalinger for energioptimering af bygninger og herunder driften. Disse vil kunne danne grundlag for den næste generation af optimeret kontrol af varme og energi i bygninger.

I kombination med omkostningsanalyser for hele bygningens levetid og analyser af sundhedspåvirkning fra byggematerialer kan modellerne anvendes til at bestemme optimale løsninger for renovering af eksisterende bygninger samt til design af nye bygninger. Disse aktiviteter vil blive kombinerede ved at anvende **Bygnings Informations Modelling** (BIM), i hvilken oplysninger om design, konstruktion, vedligeholdelse og arbejdsproces bliver vist i en digital model af bygningen og dens omgivelser. I løbet af hele den integrerede designproces er der et behov for konstant sammenspil mellem de forskellige modeller.

Det er ikke for nuværende muligt at modellere totalt integreret design, i hvilket alle aspekter af arbejdsprocessen er taget med i betragtning, fordi de forskellige modeller i praksis ikke kan arbejde direkte sammen. Centeret vil integrere computer baserede simuleringværktøjer, matematisk modellering og bygningsinformations modellering for at kunne udføre pålidelige forudsigelser af, hvordan bygningen vil kunne konstrueres, drives og vedligeholdes med metoder, som vil kunne føre til forbedring af omkostningsforhold og mindre indflydelse af negativt miljø på omgivelserne (Figur 1).



*Figur 1. Den integrerede designproces er et kompliceret forløb i hvilket de forskellige deltagere undervejs har behov for en konstant udveksling af data via en bygnings informations model snarere end at starte helt forfra med en ny model.*

## 2.2 Tværfagligt samarbejde

Informationsteknologi med digital fremstilling understøtter de fleste bygherres synsvinkel, og tidssvarende muligheder indenfor matematisk modellering og optimering frembringer en enestående mulighed for at udvikle byggeområdet til en bæredygtig sektor for samfundet.

Kombinationen af involverede forskningsområder (arkitekter, bygnings- og miljøingeniører, informations teknologi og matematisk modellering), som er planlagt, er mere ambitiøs og stræber højere end noget, der er set før. Centeret vil analysere de reelle IT behov, som er nødvendige for de design processer, det forsøges at nå til og vil komme med forslag til intelligente værktøjer til brug ved energimålinger for optimering af kalibrering af stokastiske dynamiske modeller.

Integreret design er en design proces, der involverer multidisciplinære fagområder. Software spiller en vigtig rolle, fordi en stor del af informationen er koncentreret i et format, som er

praktisk i design processen. Der findes et stort antal simulerings programmer indenfor de forskellige ingeniør områder (indeklima, energibalance, omkostningsanalyser for hele bygningens levetid, økobalance, vugge til grav analyser, etc.). Kommercielle deltagere kombinerer disse programmer på platforme, der bruger plug-ins/interface; men eftersom de ikke er udviklede på en fælles platform beregnet for integreret design, kan programmerne ikke arbejde sammen. Visionen med det foreslåede projekt er, at den samme digitale bygnings informations model (BIM) skal være i funktion fra de allerførste skitser i designprocessen hele vejen igennem til afslutning af bygningsprojektet og i løbet af dets totale livstid indtil nedrivning.

De foreslåede projektteams har etableret nogle kreative og dynamiske omgivelser på DTU Byg baseret på tværfagligt universitets samarbejde samt en lang tradition indenfor arbejde med bæredygtighed for bygnings simulering, modellering og optimering. Centeret vil repræsentere tværfagligt samarbejde mellem forskningsgrupper fra de bedste universiteter i verden, og denne forskning og udvikling skal være på et internationalt niveau. Det vil være særdeles vigtigt for centeret at kunne få indflydelse på international udvikling af bygnings modellering, og dette kan kun opnås med et meget stærkt center med en afgørende mulighed for internationalt at udvikle og forme fremtiden indenfor området. Forskningsholdene vil udarbejde løsninger, der vil være målrettet disse krav.

## 2.3 Målsætning.

Indenfor nogle få år forventes det, at nye bygninger skal være nulenergi bygninger. For at opnå et sådant mål vil det være nødvendigt, at bygninger bliver drevet med den maksimale grad af energieffektivitet baseret på klassiske metoder såsom termisk isolering, effektive vinduer, belysningssystemer styret med dagslys- og bevægelsescensorer, varmegenvinding, etc. Det vil være nødvendigt også at se på passive og aktive metoder ved hvilke bygninger opnår overskud af energi, og det vil være nødvendigt at se på muligheder for at lagre energi og udveksle energi med det lokale område. Dette kan kun opnås ved intelligent balancering af energistrømme indenfor eller gennem en bygning og ikke kun ved at minimere nogle af disse varmemstrømme. Driften af nulenergi bygninger må nødvendigvis være optimeret på alle mulige måder, og bruger indflydelsen er meget vigtig i denne sammenhæng. Fremtidens bygninger må have mindst det samme gode indeklima, som kan opnås i dag ifølge indeklima standarder.

Som nævnt har vi i Danmark opnået store gevinster i forhold til energireduktion i byggeriet allerede og byggenormerne skubber også i denne retning. Opnåelsen har været sikret gennem optimering af enkelte aspekter i bygningerne, mens det mangler at få høstet de store gevinster, der kan opnås ved at optimere bygningen i sin helhed. For at opnå et CO<sub>2</sub> neutralt samfund er der brug for software, som kan behandle adskillige dynamiske systemer på én gang. Nulenergi bygninger responderer dynamisk og forskelligt dag for dag i interaktion med det omgivende naturlige klima. Den bæredygtige energi infrastruktur må i fremtiden være dynamisk og respondere på klimaet; men det som mangler, er den software, der er i stand til arbejde med denne form for kompleksitet. Der er behov for software, som kan agere mellem forskellige klima responderende systemer.

Bygninger forbruger ca. 40 % af energiforbruget i vores samfund. Forskning og løsninger, der har lavenergi og nulenergi bygningstyper som mål, er nødvendige for at opnå de energimæssige mål der er sat af EU. Optimerede bygninger må være ”smarte bygninger”, og informations- og kommunikations teknologi (ICT) vil uden tvivl være nødvendige instrumenter, som må anvendes for drift af sådanne bygninger (ICT-REEB, 2009). ICT systemerne skal suppleres med korrekte data management systemer og beregningsmodeller, som hjælper brugerne og bygningsoperatørerne til at holde driften optimalt kørende. Indtil nu har der været fokuseret mest på energi effektive metoder for bygninger i udvikling af individuelle metoder for separate løsninger. Sådanne udviklingsmetoder vil stadig forblive vigtige, de vil imidlertid ikke være tilstrækkelige til at opnå energi neutralitet. Det vil være nødvendigt med en integreret tilgang til hele bygningen, og informations teknologi med BIM vil blive brugt som et instrument til at understøtte denne integrerede tilgang. BIM vil være vigtig i forbindelse med design og konstruktion (eller renovering) af bygninger, såvel som i forbindelse med driften i løbet af hele bygningens levetid. BIM må være i stand til at interagere eftersom interaktionen mellem brugerne og driften af bygningerne er vigtig, men BIM må også være åben for informations udveksling med eksterne data såsom meteorologiske tjenester og leverandører af varme og el.

For at denne vision kan blive til virkelighed må flere komplekse udfordringer løses, og dette vil kræve en høj grad af tværfaglig aktivitet. Det foreslås derfor at etablere et strategisk forskningscenter for at forene den danske ekspertise til at imødegå disse udfordringer. Det vil have følgende hovedformål:

- BIM værktøjer bliver i dag brugt hovedsagelig til isolerede formål og ikke som originalt planlagt som et fokuspunkt for information relateret til bygninger. Årsagen til dette er såvel tekniske vanskeligheder som mangel på tilpasning i design og konstruktions processer og den relevante lovgivning. En hovedudfordring for integrering af BIM og analytiske værktøjer er manglen på metode til forenklet oversættelse og fortolkning af BIM modeller til analytiske modeller (Bazjanac, 2008). Implementering af metodik i software løsninger vil gøre industrien i stand til effektivt at lave mere gennemførte designmuligheder for at skabe mere bæredygtige løsninger. For at overkomme de ikke-tekniske barrierer i indførelse af BIM i industrien, som er vurderet til at være årsag til 80 % af problemerne (Owen, 2010), vil der blive sat specielt fokus på at iværksætte et samarbejde mellem de forskellige deltagere i designprocessen. I tillæg vil en integreret tilgang med BIM gøre det muligt med vigtige forbedringer af omkostningsanalyser for hele en bygnings levetid. Centeret vil udvikle den integrerede designfilosofi til at involvere og bruge det fulde potentiale for at anvende BIM.
- I eksisterende bygninger er der et behov for ofte at indsamle måleresultater for varme og elektricitets forbrug i tillæg til andre relevante data ved at bruge smart meters. Kombinationen af datadrevne modeller udført af statistikere med bygningssimulering udført af ingeniørrådgivere vil tilvejebringe forskning, som kan anvendes til at forbedre næsten alle sider af nutidens bygningsinformations modellering. De nye forslag vil bygge bro over den nuværende kløft mellem fysisk og statistisk



modellering, og dette vil kunne føre til et kvantespring i bestemmelsen af avancerede detaljer, som kan lægges ind i simuleringens modeller. På denne måde vil centeret bidrage med forskning af international klasse fordi Danmark har en ekstremt kontrolleret og veldokumenteret bygningsmasse. Kombinerede fysiske og statistiske metoder til optimal brug af aflæsninger fra smart meters vil blive udviklet. For eksempel vil brugen af målrettet statistisk aflæsning gøre det lettere at inddrage det totale energiforbrug i en forbrugerdel, og en del som kun viser den termodynamiske reaktion fra bygningen. Modelleringen vil blive funderet på stokastiske semi-parametre, og nye metoder vil blive udviklede til automatisk kalibrering og viden indenfor dette område. Det forventes, at sådanne metoder vil vise sig vigtige for udviklingen af nye og automatiske metoder til at opnå pålidelige energimærkninger for bygningers termiske ydeevne. De foreslåede metoder vil gøre det muligt at fremstille ny software baseret på intelligente metoder for at få informationer om, hvor det er nødvendigt at forbedre bygningers termiske ydeevne. Metoderne vil også fremskaffe information om bygningernes dynamiske egenskaber, som vil kunne danne grundlag for den næste generation af automatiske klimakompensatorer. Ved at kombinere information, som er målt fra smart metre placeret i danske bygninger i løbet af de næste år, med detaljerede meteorologiske data i Danmark, vil centeret kunne få unikke data om den dynamiske interaktion for klima responderende systemer, som vil lede til bedre modeller. Designet af klima responderende energi systemer og bygninger afhænger af forskningen, som også vil vende sig mod yderligere udvikling af allerede eksisterende forskningsområder, såsom dagslys simulering og solenergi simulering. Forskere fra DTU Byg og AAU, Statens Byggeforsknings institut (SBI) har allerede udviklet mere traditionelle energisimulerings software programmer, som er meget anvendt af såvel danske bygningsdesignere som internationalt.

- For nærværende er der en mangel på metoder, som er i stand til at håndtere den meget store mængde værdifuldt data fra ICT i bygninger, specielt smart metre. Disse data er nøglen til at være i stand til at påbegynde vigtige energibesparelses initiativer såsom automatisk energi mærkning og computer genererede anbefalinger for bygningsrenovering. Baseret på disse data vil statistiske modeller blive integreret ind i BIM rammen for at gøre det muligt at lave en beskrivelse af energiudformningen af bygninger (Bacher, 2011).
- Nu til dags bliver virkning af energi, dagslys og indeklimate i nydesignede kontorbygninger beregnet og godkendt ved simuleringens modeller, mens private boliger ofte kun bliver evaluerede på baggrund af energiforbruget. Derfor er potentialet for mere hensigtsmæssig udførelse af bedre boliger med reduceret energiforbrug kun mulig, hvis de bedst mulige beregningsprogrammer og metoder bliver brugt. Mulighed for at udvikle disse forbedringer vil blive udviklet i tæt samarbejde mellem bygningsfysikere og statistikere hjulpet af anvendelse af statiske modeller baserede på målinger fra beboede bygninger.

- Transformationen af bygninger fra at bruge energi til også at producere energi i et decentraliseret energisystem er nødvendig. Intelligent kontrol af bygninger udrustet med ICT er meget vigtigt og må dække hele spekteret af bygninger fra boliger til kontorbygninger og skal også betragte interaktionen med vedvarende energikildesystemer såsom varmepumper, solvarme og solceller. Formålet er at udvikle den næste generation af intelligente kontrolsystemer både fra energi flowet inde i bygningerne og udvekslingen med de omgivne energisystemer. Dette vil transformere bygningerne til ”smarte” bygninger, som både kan producere og forbruge energi, og gøre det muligt at bygninger kan bruges til energi lagring (Halvgaard, 2011).
- Kontrol af indeklima (termisk komfort og luft kvalitet) vil være i fokus på centeret. De nuværende bygningssimulerings programmer gør kun lidt for at udregne indvendige luftbevægelser (træk, ventilations effektivitet). Computational Fluid Dynamics (CFD) kan anvendes; men er begrænset eftersom års CFD beregninger ikke er mulige i dag med en rimelig beregningstid. Fremtidige bygninger vil i højere grad være dynamiske og også dynamiske CFD beregninger vil være vigtige. Metoder, som kan blive implementerede i dynamiske simulerings programmer, vil blive udviklet baserede på CFD. Disse metoder vil blive anvendt for at beregne bygningers ydeevne på lang sigt og evaluering af termisk komfort og luftkvalitet indvendigt, hvilket vil tillade optimeret brug af kombineret mekanisk og naturlig ventilationssystem, som vil føre til bedre indeklima og reduceret energiforbrug. Ydermere vil der relateret til næsten nulenergi bygninger være behov for, at adskillige aspekter af bygningsmodelleringen vil få afgørende forbedringer af modellerne, såsom dagslys, termisk komfort og naturlig ventilation. Centeret vil udvikle den bedst mulige forskning indenfor bygningssimulering.
- Byggerier er kendetegnet ved et stort antal deltagere og interessenter, som i mange situationer skaber barrierer for realiseringen af den optimale bygningskonstruktion og drift. Det typiske eksempel er situationen for energiomkostninger – ejeren af bygningen investerer i forbedring af ejendommen; men lejerne og brugerne får typisk fordele ved reducerede omkostninger, eftersom de betaler energiomkostninger direkte til energiproducenten. For at arbejde med disse elementer vil centeret være katalysator og udvikle rammen for driften af bygningsomgivelser, hvor ejerne vil have tilskyndelse til at konstruere og drive effektive og sunde bygninger.

For nærværende har Danmark en enestående og ledende position indenfor vedvarende energi teknologi og i overgangen i retningen hen imod et bæredygtigt samfund. Forskning og udvikling, har til formål at placere centeret i en globalt ledende position, som kun kan blive muliggjort ved et meget stærkt center med de bedste forskere til at forme fremtiden internationalt. Et vigtigt mål er at kombinere forskningsområder indenfor: arkitektur, bygnings- og miljøingeniører, informations teknologi og statistisk og matematisk modellering. Et hovedformål for centeret er derfor at muliggøre et tæt samarbejde mellem forskning og industri, som er i stand til at udvikle teknologier, der vil være globalt efterspurgt.

## 2.4 Kompetence og kapacitet.

**Centeret for Intelligent Bygnings Informations Modellering (iBIM)** vil møde udfordringer fra dette ambitiøse mål for bæredygtige bygninger ved at kombinere den tværfaglige dimension repræsenteret ved dets komplementære hold af forskningsgrupper:

1. Energi og ressourcer (ingeniør dimension) [DTU Byg, AAU.SBi]
2. Arkitektur og Integreret Design (arkitekt dimension) [DTU Byg, AAU.SBi]
3. Model- og Softwareudvikling (ingeniør dimension) [DTU Byg, AAU.SBi]
4. **Bygnings Informations Modellering – BIM** [DTU Byg]
5. Matematisk og statistisk informations modellering [DTU Informatik og Matematisk Modellering]
6. Omkostningsanalyse og drift af bygninger. (Management Dimension) [DTU Management]
7. Komplet model i konstruktionsfasen hvilket gør arkitekten i stand til at skabe en total model, hvor tilskueren kan gå rundt i en tredimensional model [Software udvikler]
8. Infrastruktur og IT

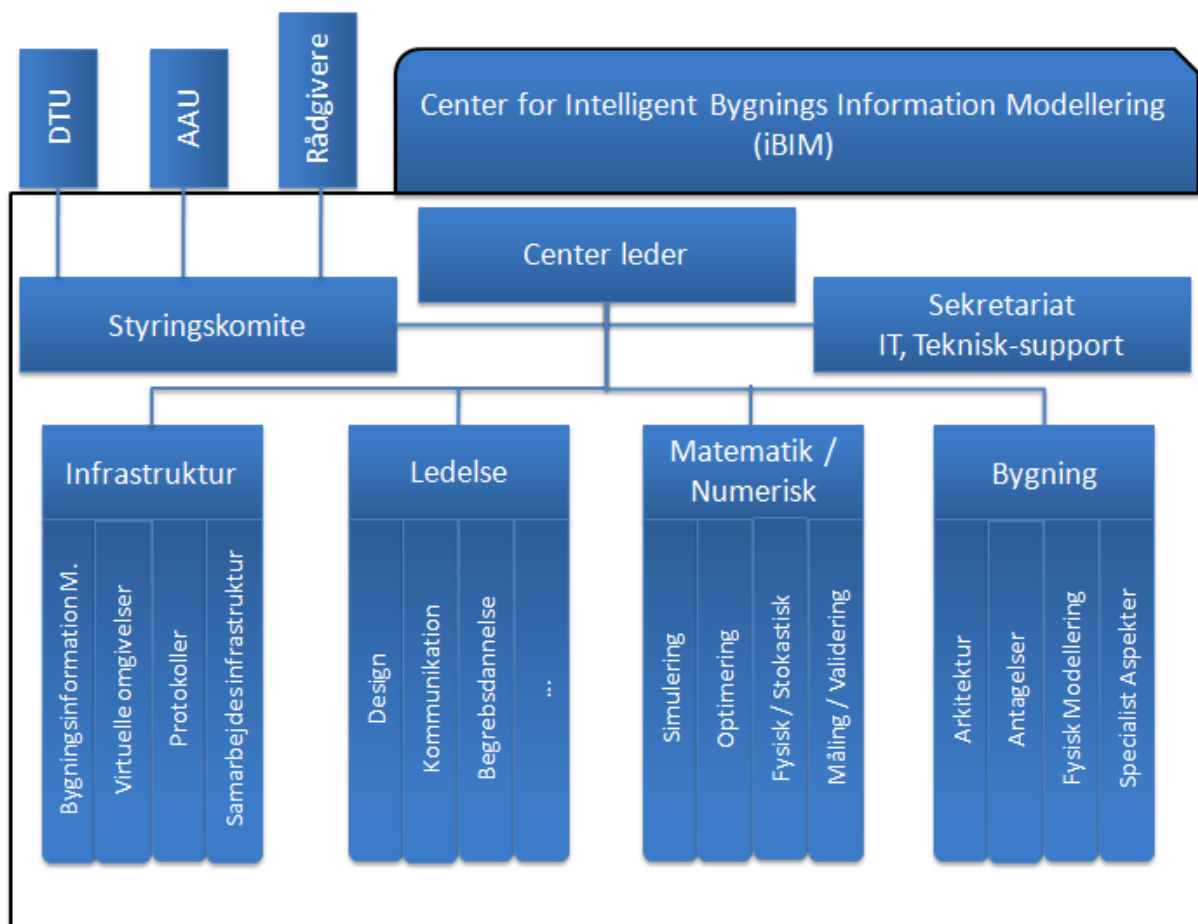
Centeret vil arbejde på at styrke eksisterende relationer med andre deltagere indenfor forskning, undervisning, udvikling, industri og bygningssektor gennem dets unikke og holistiske tilnærmelse hen imod udfordringen med bæredygtighed.

Centeret vil være i stand til at være vært for internationale ph.d. kurser i relevante emner plus være vært for et antal ph.d. studerende og Post Docs samt internationalt set højt profilerede forskere, og det vil bringe specialister sammen. Dette tætte samarbejde mellem forskere vil frembringe viden om, hvordan modeller skal struktureres og defineres. Centeret vil være i stand til at tiltrække de bedste forskere, fordi det vil være verdens første forskningscenter af sin art.

DTU Byg samarbejder også tæt med private arkitekter og rådgivende ingeniørfirmaer om at være vært for ph.d. studerende indenfor fagområdet integreret design. Dette giver en ideel basis for at udvikle nye design metoder, og gode muligheder for at fremstille dem som grundlæggende solid forskning.

## 2.5 Organisation.

Centeret kan organiseres på mange forskellige måder alt efter størrelsen på centeret og dets struktur. I det følgende er vist et eksempel på, hvorledes Centeret kan blive organiseret (Figur 2) med en styringskomite bestående af repræsentanter fra hver partner organisation og tre eksterne rådgivere. Lederen af centeret vil blive støttet af et sekretariat (administrativ leder, sekretær, IT, TAP, etc.) og hovedforskningsgrupperne.



Figur 2. Organisering af centeret.

## 2.6 Placering og samarbejde.

Centeret vil blive placeret ved DTU Byg, som på grund af dets tværfaglige universitets samarbejde og dets langvarige engagement i bæredygtig bygningsdesign og simulering samt internationale omdømme, vil være i stand til at tiltrække internationale forskere og studerende. Partnerorganisationer vil spille en supplerende rolle i relation til det overordnede mål. Centeret vil repræsentere tværfagligt samarbejde mellem forskningsgrupper fra de fineste universiteter i verden for eksempel MIT og Lawrence Berkeley National Laboratory.

**Centeret for intelligent Bygnings Information Modelling (iBIM)** skal placeres ved DTU Byg og det meste personale placeres på denne campus; men centeret vil få en satellit forskningsgruppe på AAU.SBi med det formål at opbygge eksperimenter med spredt

infrastruktur mellem involverede parter, som er et af hovedemnerne, der skal forskes i og ønskes løst af centeret.

Arkitekter, ledende personale, IT ansatte og alle andre vil blive placeret fysisk sammen med andre forskere for at skabe et holistisk miljø.

Centeret vil få en uafhængig struktur, som danner ramme for den organisatoriske opbygning for de involverede deltager organisationer. Personalet ved centeret vil være fuldtidsansat, men vil samarbejde tæt med personale fra værts- og deltager organisationer.

Centeret vil være et nationalt og internationalt samlingspunkt for deltagere fra alle brancher af bygningssektoren og andre relevante industrier, konsulenter, arkitekter, rådgivende ingeniører, designere, entreprenører, produktionsindustri og andre.

## 2.7 Internationale samarbejdspartnere

Centeret vil etablere samarbejde med internationalt førende universiteter i verden for at opnå den bedste viden deling:

- Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA
- Lawrence Berkeley National Laboratory, San Francisco, California, USA
- Stanford University, Palo Alto, California, USA
- Salford University, Manchester, UK
- Munich University of Applied Sciences, München, Tyskland
- Kassel Universität, Kassel, Tyskland
- Tokyo University (Institute for Industrial Technology), Tokyo, Japan
- Beijing University of Technology, Beijing, Kina
- Tsinghua University, Beijing, Kina
- Queensland University of Technology, Brisbane, Australien
- University of New South Wales, Sydney, Australien

Centeret vil etablere samarbejde med internationale organisationer, associationer og alliancer, der arbejder indenfor de samme områder. Blandt disse:

- IBPSA (the International Building Performance Simulation Association) er en nonprofit international forening af forskere, udviklere og udøvere, der har hovedinteresse i at forbedre byggeforhold. [www.ibpsa.org](http://www.ibpsa.org)
- GDL (Geometric Description Language) Alliance er en uafhængig international græsrods sammenslutning af professionelle, som arbejder med software udvikling og byggematerialer for at støtte GDL på verdensbasis. [www.gdlalliance.com](http://www.gdlalliance.com)
- Building SMART International (tidligere benævnt International Alliance for Interoperability, IAI) er en neutral og international organisation, der understøtter brug af BIM i hele bygningsperioden. [www.iai-international.org](http://www.iai-international.org)

## 2.8 Vision for center.

Via dets partnere og eksisterende internationale netværk vil centeret sikre at resultater er brugbare ikke kun i Danmark men også i andre lande. Dette er nødvendigt af flere årsager; men primært fordi det danske marked er for lille i forhold til at få støtte og interesse fra software udviklere til at udvikle løsninger kun rettet mod danske brugere.

Centeret vil samarbejde med ledende arkitekter og rådgivende ingeniørfirmaer, bygherrer, producerende virksomheder, energi leverandører samt kunder for at identificere og anbefale løsninger af hindringer for BIM støttet integreret design proces, da løsningerne er afhængige af et tæt samarbejde mellem forskellige professioner, som allerede har formet de indledende stadier i design processen. Verdens ledende akademiske organisationer vil have en aktiv deltagende rolle i specifikke forskningsområder ved centeret; mens andre vil blive involverede aktivt i netværksaktivitet.

Centeret vil muliggøre koblingen mellem datadrevet modellering udført af statistikere og bygningssimulering udført af fysikere. Dette vil bygge bro over den manglende kobling mellem disse to modelleringsmetoder. Ved at kombinere statistik og fysik vil modellens indfaldsvinkel til varmelære gøre det muligt at identificere avancerede detaljer, som kan anvendes i simulations modeller. Anvendelse af statistiske modeller vil lette optimeringen af bygningers energiforbrug. De vil blive baserede på stokastiske semi-parameter metoder og nye metoder for kalibrering, og viden indenfor disse rammer vil blive udviklet. Dette kombineres med en model til at forudsige en modelstrategi, som vil frembringe strategier for drift af bygninger på en energioptimal måde, både med hensyn til energisystemer i selve bygningen og under hensyntagen til samspil med det omgivende energisystem.

Det vil være den primære vision for centeret at udvikle metoder, som kan implementeres i software redskaber, samt processer, som vil gøre det muligt for industrien at opfylde og indfri de politiske mål sat af EU "Energy Performance of Buildings Directive" og den danske regering.

Det forenede arbejde med integreret og holistisk bygnings informations modellering er en sammenføjende design proces, som kombineret med en ny generation af simulerings- og overvågnings apparater, vil muliggøre et stort skridt fremad for mange former for anvendelse af bygningssimulering og modellering samt muliggøre brugen af ny intelligent teknologi for optimering af energi effektivitet.

Centeret vil især arbejde med:

- En metrologi for systematisk simplificering for oversættelse, forenkling og fortolkning af BIM modeller, som kan bruges af analytiske værktøjer, der er nødvendige for at kunne opnå et højere niveau af data samkøring.
- Intelligente statistiske metoder til at udnytte værdifulde data om energiforbrug og bygningers tilstand, som kommer fra "smart meters" i bygningen. Disse metoder vil lette automatiske procedurer for energimærkning og computergenererede forslag til

optimering af bygninger. Anvendelse af målinger af bruger adfærd i beboede ejendomme vil være et stort skridt frem i udviklingen og give mulighed for betydeligt mere realistiske simuleringer resultater. Disse metoder er en vigtig del af BIM integrerede fremgangsmåder.

- Metoder til intelligent energi optimering og kontrol af bygninger. Disse vil muliggøre gennemførelsen af, at bygninger kan blive vigtige brikker i smart net og energi markeder og dermed medvirke til en forøgelse af størrelsen af vedvarende energi produktion.
- Den integrerede fremgangsmåde, som vil blive udviklet med BIM, vil tillade forbedringer af levetidsanalyser for hele en bygnings levetid. Modellerne vil blive anvendt til at beregne optimale løsninger for både nye bygninger og ved renovering af eksisterende bygninger. Sammenkædningen af datadrevet modellering og bygnings simulering vil kunne frembringe forskning, som kan forbedre næsten alle områder af de nuværende tilstande indenfor disse felter, samt føre til en bedre energi reguleringsstrategi plan for bygninger.
- En metrologi for en integreret design proces som inkluderer brugen af BIM.
- En metrologi til at forudsige energimæssig ydeevne og evaluering af indendørs komfort i næsten nulenergi bygninger. Denne metrologi skal være anvendelig ved både beboelses- og andre typer bygninger.
- En metrologi for årlig, klimabaseret dagslyssimulering, som vil muliggøre et meget bedre samspil mellem energi- og dagslys simuleringer og forbedre ydeevnen for både energi og dagslys.

Disse resultater vil medvirke til Danmarks position som ledende land indenfor bygnings- og konstruktions sektoren, især med henblik på anvendelsen af ICT i bygninger og forøgelse af danske firmaers konkurrenceevne på det globale marked. Dette vil gøre det muligt for danske arkitekt og ingeniør firmaer at styrke deres internationale position ved at kombinere bæredygtige løsninger med høj arkitektonisk kvalitet. Dette tætte samarbejde mellem forskellige energisystemer vil gøre det muligt for danske producenter at imødegå den voksende internationale interesse for energi effektive løsninger.

### 3 Konklusion

Byggeriet står for ca. 40 % af Danmarks energiforbrug. Dette har været en medvirkende årsag til, at Danmark igennem de sidste 30-40 år har opbygget en meget stor ekspertise indenfor området bygningssimulering af energi- og indeklimaforhold, og har på denne måde opnået en førerposition i verden.

Udviklingen globalt set har imidlertid resulteret i, at udfordringer med krav om kraftige reduktioner i CO<sub>2</sub> udledningen stiller langt større krav til byggeriet end i fortiden. For at Danmark skal kunne realisere de planlagte CO<sub>2</sub>-reduktioner, som vi er forpligtet til gennem internationale aftaler, er det derfor helt afgørende, at rådgiverne vil være i stand til at minimere energiforbruget ved projektering af nye / reovering af eksisterende bygninger. Dette har derfor resulteret i, at der må stilles langt større krav og udvikles langt bedre og mere avancerede bygningssimuleringsprogrammer. Da der ikke stilles tilstrækkelige resurser til rådighed for denne udviklingsproces i Danmark, bliver det stadigt vanskeligere at fastholde Danmarks førende position med mindre, der gøres en større samlet indsats. For at råde bod på dette har formålet med projektet derfor været at skabe grundlaget for etablering af et **Center for Bygningssimulering**, med fokus på udnyttelse af avancerede bygningsenergisimuleringer til opnåelse af el og varmebesparelser.

For at undersøge holdningen til et sådant center har der været afholdt en workshop, et strategimøde, arbejds møder, etc. for at skabe konsensus for ønsket om indholdet af et center. På denne baggrund er der skaffet et godt overblik for behovene i forbindelse med etablering af et **Center for Bygningssimulering**. Ideen er, at centeret skal samle forsknings- og udviklingsaktiviteter for Dansk bygningssimulering og udvikle fremtidens intelligente simuleringsværktøjer med fokus på udnyttelse af avancerede bygningsenergisimuleringer til opnåelse af bæredygtigt byggeri. Disse programmer skal have et tæt samspil med Building Information Modelling, BIM, hvor byggeprocessen er bundet op omkring en digital bygningsmodel.

Der er på denne baggrund skrevet to ansøgninger om etablering af et **Center for Bygningssimulering**:

- Danmarks Grundforskningsråd, 7. ansøgningsrunde – Centre of Excellence til 29. november 2011 (bilag 3) med titlen ”*Centre for Intelligent Building Information Modelling – iBIM*”. – Ansøgning blev ikke imødekommet.
- Det Strategiske Forskningsråd indenfor emneområdet: ”*Strategisk forskning inden for Bæredygtig Energi og Miljø*” med arbejdstitlen: ”*Centre for Intelligent Building Information Modelling (iBIM)*” (bilag 4). – Ansøgning blev ikke imødekommet.

Resultatet af arbejdet i projektet med de to ansøgninger og afholdelse af workshop, strategimøde, arbejds møder og møder med relevante parter, har vist behovet for et sådant center og bidraget med en stor viden samling. Det er vigtigt, der forsættes med at arbejde for en etablering af et Center for Bygningssimulering i Danmark for at løse de globale udfordringer som fremtiden vil bringe.



## Litteratur

- \* Bacher, 2011: Bacher, P. & Madsen, H. Identifying suitable models for the heat dynamics of buildings, *Energy and Buildings*, 2011.
- \* Bazjanac, 2008: *IFC BIM-Based Methodology for Semi-Automated Building Energy Performance Simulation*, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008.
- \* Halvgaard, 2011: Halvgaard R.; Poulsen, N. K.; Madsen H.; Jørgensen, Bagterp J. Economic Model Predictive Control for Climate Control of Buildings in a Smart Energy System. IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference, 2011, Orlando, USA.
- \* ICT-REEB, 2009: ICT-REEB, July 2009. ICT for a low carbon society - Smart Buildings. URL: <http://ec.europa.eu/ictforg>, ISBN978-92-79-12977-3.
- \* Owen, 2010: Owen Robert, Amor R., Palmer M.; Dickinson J. Tatum C.B; Kazi A.S.; Prins M.; Kiviniemi A. and East B., *Challenges for Integrated Design and Delivery Solutions*, Architectural Engineering and Design Management 2010, Volume 6, p. 232–240.

# Bilag 1 – Workshop om etablering af Center for Bygningssimulering

Dette bilag indeholder dels programmet for Workshopen 29. oktober 2010, og dels resultaterne de fire grupper er kommet frem til. Resultaterne fra de fire grupper er uredigeret med undtagelse af rettelse af stavfejl, etc. Dette er gjort af hensyn til at bevare grundindholdet af dokumentet, og for ikke at redigere indholdet af resultaterne med fare for at ændre på det ønskede budskab fra grupperne. Resultatet fra grupperne er mere ment, som en bred brainstorming fra en gruppe centrale personer, der kan danne inspiration til ønskerne for et kommende center.

## INDHOLD

- Invitation til workshop om etablering af Center for Bygningssimulering 2 sider
- Gruppe 1 – Udgangspunkt i den moderne projektering, State of the art 1 side
- Gruppe 2– Ambitiøse, visionære, originale og banebrydende fremtidsrettede tanker og ideer 2 sider
- Gruppe 3– Fri for fossile brændstoffer i 2050 – Hvad skal et Center bidrage til for at visionen kan lykkes 4 sider
- Gruppe 4– Fremtidens modelservere 3 sider



Statens Byggeforskningsinstitut  
AALBORG UNIVERSITET



Technical University of Denmark



## Workshop om etablering af Center for Bygningssimulering

**Tid og sted:** Fredag 29. oktober, 2010, kl. 8:30 – 16:00

**Sted:** DTU, Bygning 101, Indgang A – Mødelokale S01, Lundtofte

**Tilmelding:** Send en e-mail til Judith Albertsen, [jsa@byg.dtu.dk](mailto:jsa@byg.dtu.dk) – Senest 14.10.2010  
Arrangementet er støttet af PSO midler fra ELFORSK.

DTU Byg og SBI inviterer interessenter til workshop om etablering af Center for bygningssimulering. Workshoppen er henvendt til beslutningstagere, arkitekter, rådgivere, forskere indenfor bygningssimuleringsområdet med fokus på energi, indeklima og digitale bygningssimuleringer.

### Formål:

Workshoppens primære formål er, at få etableret konsensus om behovene hos arkitekter og rådgivere i Danmark i forhold til bygningssimulering, og på denne baggrund skabe idegrundlaget for opbygning af et dansk **Center for Bygningssimulering**. Centeret skal samle forsknings- og udviklingsaktiviteter for Dansk bygningssimulering og udvikle fremtidens intelligente simuleringværktøjer med fokus på udnyttelse af avancerede bygningssimuleringer til opnåelse af bæredygtigt byggeri. Disse programmer skal have et tæt samspil med Building Information Modeling, BIM, hvor byggeprocessen er bundet op omkring en digital bygningssimulering.

### Baggrund:

De globale udfordringer med krav om kraftige reduktioner i CO<sub>2</sub>-udledningen stiller store krav til byggeriet og dermed til bygningssimuleringsprogrammerne. Fremtidens bygningssimulering vil i stigende grad fokusere på, at processen skal ske ud fra et helhedssynspunkt med brug af programmer med kunstig intelligens. En vigtig forudsætning for dette er, at der kan udføres en detaljeret simulering af bygningerne. BIM konceptet repræsenterer her en teknologi, der gør disse analyser mulige og overkommelige gennem datagenbrug via udvekslingen mellem bygningssimuleringen og simuleringværktøjerne. Brugen af BIM er obligatorisk i statslige byggerier i Danmark, og har vundet stor udbredelse i fx Norge og Finland både blandt rådgivere, entreprenører og de statslige bygherrer.

### Program for workshoppen er vist på næste side:

Workshoppen vil blive opbygget med præsentationer af simuleringværktøjer, som IES-VE, IDA-ICE og OpenBIM. Der vil blive vist eksempler på projektering i praksis set fra arkitektside og ingeniørside.

Med venlig hilsen

Henrik Stang  
Direktør, DTU Byg

Jørgen Erik Christensen  
Lektor, DTU Byg  
[jec@byg.dtu.dk](mailto:jec@byg.dtu.dk)

Kjeld Johnsen  
Seniorforsker, SBI, AAU  
[kjj@sbi.dk](mailto:kjj@sbi.dk)

# Workshop om Center for Bygningssimulering

DTU, Bygning 101, fredag 29. oktober, 2010, kl. 8:30 – 16:00

- 08.30 – 09.00**    **Registrering – Kaffe og morgenbrød**
- 09.00 – 09.15**    **Velkomst**  
*Direktør DTU Byg Henrik Stang*  
Etablering af Center for Bygningssimulering  
Information om dannelse af grupper, hvilke resultater ønsker vi
- 09.15 – 09.45**    **BIM – Nationale og internationale tendenser, 5D modeller, Interoperabilitet**  
*Lektor Jan Karlshøj, DTU Byg, Danmark*
- 09.45 – 10.05**    **IES Virtual Environment Software**  
*Direktør Craig Wheatley, IES, Skotland*
- 10.05 – 10.25**    **IDA Indoor Climate and Energy**  
*Docent Per Sahlin, EQUA, Sverige*
- 10.25 – 10.45**    **Kaffepause med forfriskninger**
- 10.45 – 10.55**    **VELUX Energy and Indoor Climate Visualizer**  
*Peter Foldbjerg, VELUX A/S – Daylight, Energy and Indoor Climate, Danmark*
- 10.55 – 11.35**    **Projekteringseksempler med forskellige vinkler**  
*Fagleder Niels Tredal, Rambøll, Danmark*  
Projektering af nyt større kontorbyggeri  
*Project Manager / Architect maa., Signe Kongebro, Henning Larsens Tegnastue*  
Fra ide til virkelighed, udfordringer for fremtidens arkitekt
- 11.35 – 11.45**    **Information om workshop grupper – Gruppeinddeling**
- 11.45 – 12.45**    **Frokost**
- 12.45 – 14.00**    **Workshop grupper til Center for Bygningssimulering**  
(Grupperne overtager selv kontrollen og vælger deres egen vinkel)  
1.   Udgangspunkt i den moderne projektering, State of the art  
2.   Ambitiøse, visionære, originale og banebrydende fremtidsrettede tanker og ideer  
3.   Fri for fossile brændstoffer i 2050 – Hvad skal et Center bidrage til for at visionen kan lykkes – Byggeriet står for 40 % af energiforbruget  
4.   Fremtidens modelservere
- 14.00 – 14.20**    **Kaffepause med forfriskninger**
- 14.20 – 15.00**    **Præsentation af resultaterne fra grupperne**
- 15.00 – 15.40**    **Åben diskussion, paneldebat**
- 15.40 – 15.50**    **Sammenfatning af resultaterne fra dagen**  
*Lektor Jan Karlshøj, DTU Byg, Danmark*
- 15.50 – 16.00**    **Vejen videre frem, Afslutning – Tak for i dag**

## Gruppe 1 – Udgangspunkt i den moderne projektering, State of the art

Problemer med brug af f.eks. IESVE da der ikke forefindes nogle bøger om programmet til sammenligning med f.eks. AutoCAD – der er mange tutorial og en manuel, men den guider dig ikke igennem et kompleks problem.

- Træningsprogram i IESVE

Mange ting i 3D fungerer ikke, så hvorfor fokuserer på 4 og 5D inden 3D fungerer korrekt. De helt basale ting skal fungere. Arkitekt 3D er ikke lavet for simulering, så når simuleringer skal laves skal modellen regenereres. Der mangler standarder for hvad en 3D model skal indeholde, så informationerne kan genbruges uden dobbeltarbejde.

Realisme omkring hvad der kan bruges penge på (der er ikke mange penge at bruge til alverdens analyser – pengene vil ofte hellere ses brugt i selve byggeriet).

Centeret kan bidrage med udvikling af standarder for, hvordan tegninger og modeller skal udarbejdes/hvad de skal indeholde på forskellige stadier, så arkitekter og ingeniører kan bruge samme tegningsmateriale. En person skal gå ud og være talsmand for Danmark, så standarderne kan blive lavet på et internationalt niveau. Denne person kunne komme fra centret.

I dag venter ingeniørerne helst med at lave deres fuldskala 3D model, fordi de ved, at arkitekterne ændrer bygningen undervejs. Dette er et problem, da det gerne skulle være med fra start. Ved ikke at arbejde i 3D sammen fra begyndelsen bliver muligheder ofte overset.

- Centeret kan være med til at definere hvilke og hvor mange modeller, der skal laves i et projekt – hvad må ikke udelades? I hvile stadier er der brug for hvilke modeller?

Centeret kan validere noget af det software, der er på markedet.

## Gruppe 2 – Ambitiøse, visionære, originale og banebrydende fremtidsrettede tanker og ideer

Hvad er fokus? Center, der kan formidle resultater og kontakter til industrien eller ren forskning.

Nok mest forskning (grundforskningsfonden) men også formidling. Højt internationalt forskningsniveau.

Pengene kan geares, da vi kan søge flere midler, når centeret er etableret.

Sammenhæng mellem forskellige værktøjer – standardisering af sprog til kommunikation mellem programmer.

Relationen til det nye viden center for digitalisering af byggeriet, som går meget på klassifikation og ikke så meget på specifikation af standard.

Drømmeprogrammet er et program, der kan give konsekvenserne af en handling på alle parametre direkte – pris, energi, indeklima, osv. evt. på 3D skærm.

Om 10 år er regnekraft ikke et problem, så vi skal specificere grundalgoritmerne uden at bekymre os om hardware.

Tidslinjen skal evt. ind. De største problemer i byggeriet opstår typisk under opførelsen. Evt. skal vi også have vedligeholdelse med.

Feedback fra virkelig data er vigtig. I Sverige kontrolleres om bygningen lever op til krav, når den er bygget frem for at beregne det under projekteringen. Standarder for hvordan man bruger målinger til validering og feedback.

Centeret skal levere beslutningsgrundlag og skal arbejde virkeligt tværfagligt og ikke kun beskæftige sig med energi simulering.

Centeret skal også beskæftige sig med udvikling af modeller af f.eks. brugeradfærd.

Deterministisk eller probabilistiske modeller – evt. inspiration fra spilindustrien.

Vi skal ikke have ét dansk program, men flere løsninger, der arbejder på samme terminologi og internationalt. Brugerinterfacet er også meget vigtigt.

Centeret kunne være med til at udvikle infrastruktur til vugge til grav analyser med interface til GIS.

Simuleringssystemet kunne også bruges til at kunne fortælle brugerne om, hvordan de skal interagere med bygningen. Modellen kan bruges til at styre CTS.

Centeret kunne også se på lokalsamfund og det samlede net i stedet for den enkelte bygning.

Men også ned i detaljerne for at se på de enkelte rum for at kunne dimensionere på dét plan.

Simple værktøjer, der kan bruges tidligt i designfasen – integreret design – forbedre beslutningsgrundlaget lige fra start af projektet.

Et større netværk hvor BIM modeller lægges op i GIS systemet, så de kan bruges til at se på større lokalsamfund – der kunne evt. bruges Google Streetview til at lave 3D modeller af bydele og hente BIM modeller ind.

Det er vigtigt at håndtere formidling til lægmand. Bæredygtighedsbegrebet skal defineres – arbejdet er i gang med oprettelsen af center for Green Building Council.

Kompetencen skal ligge i at kunne håndtere den enorme mængde data også fra eksisterende bygninger og kommunikere resultaterne.

Procedurer for hvordan data fra eksisterende bygninger bruges – evt. koblet til BBR.

Simuleringen kunne også bruges under driften f.eks., når der skal omstruktureres i bygningen.

Simuleringsværktøjer rettet til arkitekter. – 200 programmer, der taler samme sprog er bedre end ét stort program.

Set ud fra et brugersynspunkt er det bedst ikke at skulle tage stilling til hvilke værktøj, der bruges. Programmet skal anskueliggøre konsekvenser af handlinger og beslutninger.

Center titel: Det kan være en ide at udskrive en konkurrence.

Ulempen ved et supersystem er, at det er svært at gennemskue, hvad der foregår i beregningerne hvilket besværliggør kvalitetskontrol.

En måde at få løbet centeret i gang kunne være at basere det på brugerdreven innovation, så brugerne har meget stor indflydelse på retningen. Skal skrives ind i ansøgningen.

Vores interesser er vidt forskellige.

Centeret kunne bruges til at få indflydelse på internationalt plan.

Center skal være samlingssted for danske brugere

En titel bør overvejes:

**iBIM – Centre for Intelligent Building Information Modelling**

## Gruppe 3. – Fri for fossile brændstoffer i 2050 – Hvad skal et Center bidrage til for at visionen kan lykkes

**Inputs fra workshop – (opsummerende overskrifter og bagvedliggende kommentarer i punktopstilling):**

### Afdækning af behov for simuleringsværktøjer.

- Samarbejde mellem forskellige interesser i modeludviklingen.
- Arbejde omkring flere simuleringsprogrammer -> integrering i samlet løsning, så flere aspekter kommer med.
- Har vi programmer, der tager varierende opvarmningsformer til forskellige tidspunkter på året med i betragtning?
- Udvikling af metoder til optimering på simpelt grundlag. Så man kan få konkrete svar på givet spørgsmål -> nemt at optimere bygning tidligt i processen.
- Finde beregningsværktøjer, der lynhurtigt giver resultater, så projekter ikke bliver projekteret langt, inden man finder ud af at energiforbruget er alt for højt.
- Simple model og brug af observeret/målt data til at finjustere modellen.
- Der mangler simuleringsprogrammer til starten af projekteringsfasen.
- Bygningssimuleringsværktøjer er dårlige til brug i moderne komplekse bygninger. Opdatering af eksisterende simuleringsværktøjer.
- Uddybende fra formiddagens oplæg: Skal interessere os for bygningen i stedet for behovet efterfølgende. Bygningens orientering osv. så energiforbruget fra starten er minimeret. Det er i starten man minimerer energiforbruget mest effektivt.
- Månedsbaseret beregningsprogram, der giver overblik hurtigt. Simple program, der lynhurtigt giver overblik.
- Eksisterende bygninger: behov for simuleringsmodeller, der viser samspil mellem energiforbrug og eksisterende bygning.
- Eksisterende bygninger? Nye bygninger >1 %. Hvordan forholder man sig til energibesparing i eksisterende bygninger? Energirenovering skal være meget praktisk betonet og skal leve op til lovgivning. Omkostninger og anvendelige løsninger, som brugeren kan forstå. Lejere har anden tilgang til energiforbrug i deres bolig, så hvis man kan få dem med. Lovgivning til hjælp.
- Lejelovgivning – hvis ejeren investerer penge i huset får beboere gevinst. Ændre lovgivning, så dette forhold ændrer sig.
- Hele forskningen er målrettet mod nye bygninger. Man kommer ikke til at bruge simuleringsværktøjer til eksisterende bygninger.
- For nye bygninger af mere kompliceret art bør måske benyttes data/erfaringstal til at lave modellen, da klassiske værktøjer ikke er dækkende.
- Har masse simuleringsværktøjer – prøv dem af i forhold til virkeligheden. Centeret skal skabe viden i branchen, så der er viden om hvilke værktøjer der kan benyttes.
- Oversigt over værktøjer (hvad er tilgængeligt?) og optimering af disse til brugbare og aktuelle løsninger.



- Afprøvning og indsamling af viden. Opdatering af værktøjer på baggrund af erfaringer/data.
- Softwareløsninger der kobler behov.

#### Efterspørgsel for kvalitetssikring af simuleringsprogrammer. Opdatering af eksisterende/nyudvikling?

- Certificeret bygningssimulator? Analogt til at være anerkendt statiker. Dårlige beregninger giver dårligt resultat. Sagt i forhold til energimærkningsordningen.
- Kvalitetssikring af eksisterende beregningsprogrammer med henblik på optimering og formning af præcise beregningsmetoder.

#### Standard for simulering

- Simulering – timebaseret modeller. Virker til nye bygninger – men ikke til gamle.
- Data til at udvikle simulering – når man ikke kan bruge klassiske metoder.
- Softwareløsninger, der kobler behov.
- Finde en standard så alle har samme retningslinjer for at udføre en simulering – og der er fælles grundlag for udførelsen.

#### Bedre model for brugeradfærd – stokastisk model?

- Forskel i folks adfærd giver forskelle i energiforbrug. Gøre opmærksom på dette forhold, når man afleverer en beregning, hvis de aktuelle energiforbrug afviger fra beregningen.
- Opdatering af litteratur til mere aktuelle behov/krav. Adfærd er forskellig for forskellige personer. Brugen af bygningen ændrer sig – præcis beskrivelse af adfærd kan ikke lade sig gøre. Hvordan skal man så kunne beregne det præcise indeklima med henblik på bestemmelse af energiforbrug?

#### Behov for opdaterede klimadata + regionale klimadata.

- Forskellige referenceår som beregningsgrundlag – udskiftning/opdatering af nuværende standarder.
- Nutidige vejrforhold – opdatere ældre og måske umoderne data. Indarbejdning af regionale forhold, så beregninger bliver mere præcise og aktuelle for placering af bygning.

### Simulering og optimering af styring (komplekst byggeri)

- Dynamiske styringssystemer. Varme eller lys – kun leverance når det er nødvendigt. Styring, der autotuner efter hvad der egentlig er behov for.
- Få bygningen til at indgå aktivt i energitilskuddet. Varmestyring/varmelagring. Simulering af den passive akkumulering.
- Intelligente energilagere.
- Styring af varmeanlæg kan reducere energiforbrug meget. ⇒ Øget fokus på styringsformer. Målinger og beregninger mere i fokus. Tuning af modeller ud fra data. Når man regner på huse bliver det aktuelle forbrug sjældent som beregnet.
- Kombineret varmeleverance – så man kan simulere forskellige opvarmningsformer afhængig af behov/vejr/tidskonstanter.

### Kobling af simulering mellem bygnings og infrastruktur (smart grid)

- Samarbejde med fjernvarme ⇒ Økonomisk attraktiv aftale ved at bruge returtemperatur til lavenergibygg som ellers er spild.
- Inddragelse af energisystemer i debatten – hvordan kommunikerer vi med energisystemerne og levering af disse.
- Energitilskuddende huse – udnyt mulighederne i stedet for at købe den billige fjernvarme. Opsøg mulighederne.

### Samarbejde med andre organisationer og institutioner

- Samarbejdet mellem forskellige organisationer er afgørende for at få det fulde billede. Arbejde parallelt i stedet for i forskellige retninger.

### Fugttransport, specielt ved renovering

- Fugt/fugttransport: interessant at bringe beregningsprogrammer mere på banen for dette forhold. Især gældende ved renoveringer.

### Kobling til eksisterende standarder – Energimærkning

- Hvornår dokumenterer man i simuleringen, at man lever op til lovgivningen? Indeklimastandarder osv.
- Folk vil ikke betale for den indsats, der kræves for at lave et ordentligt stykke arbejde. Markedet/lovgivning ændres? Sagt i forhold til energimærkningsordningen og om hvor vidt den egentlig er brugbar i dens nuværende form.
- Opfølgning af energimærkning? Opdatering af ordning – Hvis ikke energimærkning lever op til aktuelle forbrug, kan brugeren have svært ved at følge op på tiltag, hvis ikke beregningen hænger sammen med aktuelle vilkår. Så virker beregningen ligegyldig.
- Energirenovering: Eksisterende beregningsværktøjer peger mod lette løsninger som udskiftning af vinduer og lignende – giver ikke nok i forhold til BR10. I stedet at

ændre 'kulturarv' i retning af udvendig isolering og lignende mere nutidige tiltag, som rykker meget mere på energiforbruget.

Andet:

- Forskel på den detaljeringsgrad, der ønskes i forhold til hvad puttes ind. Ønskes der sammenligning på standard niveau eller hvad der er gældende for den konkrete bygning? Sagt i forhold til energimærkning og belastninger i indeklimaet. Bedre grundlag for input optimerer præcisionen af simuleringen og kan dermed forbedre simuleringsprogrammet.
- Helt til 2050? – sammenligning med UK, der tidligere (2020) skal være CO<sub>2</sub> neutrale i nye bygninger.

## Gruppe 4. – Fremtidens modelservere

Chairman for the meeting: Jan Karlshøj

Referat lavet af: Aldis

Referent sprog fra gruppen: Der blandes på dansk og engelsk.

Presentation round:

- Some expressed their interest in discussing how to define data/information in order to exchange them - rather than the modeling itself.
- An update of how things work in Finland. Described how names of spaces or other data could be extracted from relevant locations (depending on the program) when imported into a simulation program.
- Not only import geometry into simulations, but also other relevant things. Focus on the process and how the gaps can be filled up. Who defines the U-value?
- Then go to the model server.
- What information is needed at a certain stage of the project?

A disadvantage of ICT systems are they in most cases don't accept any tolerances in the data they shall manipulate.

IDMs are about requirements. You should follow the general business trend, and go forward with IDM. Deal with the process.

IDM shall describe many different things, to help cooperation. Instead of everyone inventing their own tools and having problems when wanting to cooperate with new people/companies.

Architects, incl. the association of architects, are also looking in to IDM, what is expected when producing digital data?

Et center kunne skabe nogle rammer som til fordel kunne bruges. Burde være nemmere at enes om noget i Danmark end i større lande. Vi er nødt til at bruge en fælles terminologi for at undgå misforståelser.

BuildingSmart skulle lette kommunikationen. Kunne der måske bruges et fælles format for at dele information, uden at tvinge folk til specielle programmer?

Do we want to use open standards?

Should this be made locally in Denmark or go international? Denmark is too small for a commercial program limited to this market.

A large difference in how things are done in Sweden and Finland even though the countries have a tight relation.

In Finland there are made requirements to programs instead of forcing the use of a certain program.

Issue of identification, agree on translations.

Be careful of when translating, words can describe different things even though being translated (door – dør with/without the door frame).

We need a common server but mainly to publish models

Does a good model of servers exist already? Experience of one that was useable but it did not support the process it rather affected the process. Not flexible enough. EPM and Eurostep have servers. Open Source server from TNO has limited functionality and is too slow.

Could we make a library which contains all information?

Several IDM's who would be supported by some MVD's. Some MVD's could support more than one IDM. This could be a way to connect Denmark and Finland, which have similar (but not the same) IDM which both are supported by the same MVD.

Model server should be a library.

Not realistic to force all to use the same software, but by making a common library which contains all relevant data and information we could come a step forward.

It would be functional to be able to extract certain information from a model server.

It would also be nice for architects to be able to deliver ONE model, but not needing to deliver a special drawing set also.

Is the center expected to deliver the hardware, storage, power, cables.....? No

**Conclusion:**

Define processes and requirements.

Publish some models as a starting point?

We want to go for an international approach.

**Whiteboard:**

- Information Delivery Manuals (IDM)
- Model server
  - Work
  - Share
  - Library
- Identification
- Semantic WEB/IFD
- Industry Foundation Classes (IFC)
  - Is an information model
  - Can be exchanged in Express format or XML

## Bilag 2 – Strategi for Etablering af Center – 4.3.2011

### Baggrundsnotat

#### Baggrund:

Med de skærper af Bygningsreglementet, der er kommet i 2010, og forventes i 2015 og 2020 vil kravene til byggesektoren blive meget stor, og der vil i højere grad blive behov for en samlet indsats for at leve op til kravene i fremtiden. Til gengæld kan denne skærpelse bidrage til et løft i kompetenceudviklingen, og på denne måde bidrage positivt i den internationale konkurrence.

De globale udfordringer med krav om kraftige reduktioner i CO<sub>2</sub> -udledningen stiller store krav til byggeriet og dermed til bygningssimuleringsprogrammerne. Fremtidens bygningsdesign vil i stigende grad fokusere på, at processen skal ske ud fra et helhedssynspunkt med brug af programmer med kunstig intelligens. En vigtig forudsætning for dette er, at der kan udføres en detaljeret simulering af bygningerne. Building Information Modelling – BIM konceptet repræsenterer her en teknologi, der gør disse analyser mulige og overkommelige gennem datagenbrug via udvekslingen mellem bygnings-modellen og simuleringsværktøjerne. Brugen af BIM er obligatorisk i statslige byggerier i Danmark, og har vundet stor udbredelse i fx Norge og Finland både blandt rådgivere, entreprenører og de statslige bygherrer.

#### Formål:

Formålet med dette arbejde er følgende:

- Fortsættelse af arbejdet med etablering af konsensus om behovene hos arkitekter og rådgivere i Danmark i forhold til bygningssimulering, og på denne baggrund skabe idegrundlaget for opbygning af et dansk **Center for Bygningssimulering**.
- Vurdere hvilke forsknings- og udviklingsaktiviteter Centeret skal samle for Dansk bygningssimulering for at udvikle fremtidens intelligente simuleringsværktøjer med fokus på udnyttelse af avancerede bygningsenergisimuleringer til opnåelse af bæredygtigt byggeri. Disse programmer skal have et tæt samspil med Building Information Modeling, BIM, hvor byggeprocessen er bundet op omkring en digital bygningsmodel.
- Komme med et oplæg til, hvordan der kan søges om finansiering til et Center.

## **Finansiering**

Byggerisektoren et omsætter for mange milliarder kroner hvert år og udgør en meget stor del af samfundsøkonomien i kombination med, at bygninger kommer til at stå i mange år. Der vil være mange steder, hvor det vil være muligt at søge om forskningsmidler; men ingen eller meget få vil være så ambitiøse og langtidsrettede, som Grundforskningsfonden er. Da der er givet afslag i denne omgang fra Grundforskningsfonden, vil det være nødvendigt at se på andre muligheder for at søge om tilstrækkelig store midler til at skabe et Center, der på afgørende måde kan give gode rammer for, at Danmark kan konkurrere i et internationalt globalt marked.

Det danske samfund har store interesser i ideerne og visionerne bag dette projekt. Det kan derfor være en god ide, at forsøge at skabe politisk opbakning til ideen med et Center for Bygningssimulering. For at kunne gøre dette vil det være nødvendigt med en meget klar afgrænsning af Centerets ideer og visioner med det. Herudover vil der være behov for en bred støtte fra alle aktører indenfor byggebranchen for, at der vil være nogen mulighed for at komme igennem politisk. Der vil også være behov for en gruppe af personer, som tager sig af den politiske og myndighedsmæssige kontakt. Det kan være en god ide, hvis der på mødet kommer en afklaring på om dette er en af vejene, vi ønsker at gå.

Den samlede kompleksitet i projektet gør, at der i høj grad i tillæg vil være behov for internationalt samarbejde for at løfte opgaven. Her kan EU og/eller IEA være en mulighed for etablering af det internationale samarbejde.

## Strategi møde 4.3.2011 – Notater

### Strategimøde for etablering af iBIM center – Arbejdsmøde kl. 9-12

#### Diskussion:

- Vi skal banke på politikernes dør det næste halve år.
- Bruge slipstrømmen efter klima kommissionens rapport, som støttes bredt, og smartgrid opbygning hvor bygninger kan være vigtig spiller til et fleksibelt energiforbrug.
- Indeklima er vigtigt.
- Forskningsmidler indenfor dette område vil give muligheder for forøget eksport, specielt indenfor grøn bygningsteknologi.
- Mange midler gives til "kortsigtede" forskningsprojekter, men dette center er langsigtet, derfor passede Grundforskningsfonden godt.
- Vi har brug for branchen, som skal efterspørge de her værktøjer, for ellers kan de ikke løse de problemer som stilles i fremtiden.
- Vi mangler aktører fra branchen, arkitekter etc.
- Der er faktisk mange værktøjer i dag, men de kommunikerer ikke sammen, så det er virkeligt opgaven.
- Branchen ved det godt og det sker allerede, men foregår ikke som en samlet proces, idet forskellige rådgivere bruger forskellige værktøjer og de taler ikke sammen. Kvalitetssikring af værktøjer.
- I første omgang få fat i politikerne, sig: Her er et behov og uden de her værktøjer, kan vi ikke løse fremtidens problemer. Kombineret med historien om at vi kan skabe innovation og dermed vækst.
- Endnu en god historie til politikere: Der går utroligt meget information tabt fra bygningsopførelsesprocessen til operationen af bygningen. For at ændre på dette vil det indebære yderligere et tættere samarbejde mellem arkitekter og ingeniører, det kan centeret også bidrage til.
- Skal vi søge bygnings- og innovations styrelsen for 65 millioner, hvad skal så stå på det papir?
- Der savnes bud på hvad vi kan tilbyde? F.eks. hvad forstår vi ved simulering? Et teoretisk udspil som beskriver hvad det præcist er.



- Der er lige givet flere hundrede millioner til eksperimenter med bygninger og smartgrid på Bornholm.
- Et grundlæggende problem er: Man kan ikke nemt ændre på modellen i simuleringen, vi har brug for, at man f.eks. kan ændre et vindue i modellen med alle de kendte vinduer på markedet.
- Incitamenter til at gøre det bedre end reglementet. Hvis det kun er entusiastene, som gør det, så er vi ikke langt.
- Den måde vi efterviser om bygningen rent faktisk efterlever kravene kan gøres ved at måle og udnytte informationen, som er lavet i byggeprocessen.
- Hvad er det vigtige mål centeret skal løse indenfor 7-10 år? Hvordan kan centeret gøre det?
- Skabe den struktur, som gør kommunikationen mellem elementerne mulig.
- Skrive et papir på en side som sammenfatter, hvad vi vil, og måske lidt længere skrivelse. Ikke fokuseret på grundforskningen, men mere bredt.
- Forskellige pointer:
  - Mere vægt på at hvis energiplan skal lykkes, så skal der struktur på den måde man arbejder i byggebranchen.
  - Carlsberg: Incitamenter fra byen er forskellig for branchens. Noget af det centeret også vil kunne er at analysere bygninger i en større sammenhæng.
  - Videnscenters opgave er på kort bane at beskrive og implementere strukturen (3-4 år). Den struktur er ikke omfattende nok, og vi skal ind på den lange bane. Beskrivelse af det teoretiske grundlag for videre udvikling.
  - Det drejer sig om at kommunikere udover denne kreds, hvad der skal til.

#### Videre ansøgning:

- Hvem skriver vi til?!
- Simpelthen få branchen til at skrive under på, at det her er meget vigtigt.
- Vil vi gå hele vejen eller tage det i "pakker"?
- Hvem stiler vi mod?
- En mulighed: Et strategisk forskningscenter (mindst 30 millioner kroner.).
- Tage større sammenhænge med dvs. byer etc. og vi kan ikke nå energipolitiske mål uden dette center.

- Snakker vi om to papirer? Et til politikere og et til "grundforskningen"
- Forslag om at finde ud af hvordan samarbejdet fortsættes mellem forskere og branchen. Nedsæt et lille sekretariat, som samler trådene.
- Det er en god ide, for at vi selv har klarhed over, hvad vi vil.
- Argument: Vi kan øge effektiviteten i byggeriet. Vi skaber videns deling. Vi er måske ikke altid i front, så det kan vi komme med de her værktøjer.
- Find de centrale dele "som regeringen gerne vil" og lever de argumenter. Det kan ikke lade sig gøre uden centeret.
- Bare beskrivelsen af hvad vi vil indenfor bygningsområdet, vil være en meget brugbar reference at have med i forskellige sammenhænge.
- Er "modellering" et bedre ord end "simulering"? "smart" "open source"
- Hvem er egentligt de væsentlige aktører her: DTU, SBI, producenter, arkitekter, bygningsstyrelsen, energistyrelsen, ...?
- Hvem vil være med til at skrive basisdokumentet (dokument til at gøde jorderne med)? Arbejdsgruppe skriver og pingponger med referencegruppe.
- Mandatet til arbejdsgruppen?
- 1 side som forklarer det til et bredt publikum.
- Lav et første hug på en uge og derefter indspark fra næste led.
- To baner:
  - Kort bane: branchen er behov for noget som virker, hurtigt!
  - Lang bane: Forskning, hvad kan der bidrages med internationalt, som ikke eksisterer.

Løs snak:

- Bygninger er efterhånden meget avancerede! Der er mange faktorer, som spiller ind: beboerne, f.eks. er det svært at finde det rigtige vindue for at det skal kunne ses i sammenhæng med alle andre dele af bygningen.
- Kan et delmål være, at centeret kan afdække muligheder for at man bruge andet end B06 til verificering af bygninger.

### Køreplan:

- Arbejdsgruppen laver papir (1/2 til 1 side). Strategipapir (5-6 sider og der er allerede ansøgningen og andet.)
- Afdække hvor der kan søges finansiering.
- Afdække hvem der skal være med i referencegruppen.
- Referencegruppen skal kommentere arbejdsgruppens output og gøde jorden i deres netværk. Komme med input til hvad centeret skal kunne på lang sigt.
- Det skal køre indtil sommerferien.
- Hvad er arbejdsplatformen?

# Bilag 3 – Ansøgning Danmarks Grundforskningsråd

## 29.11.2010 – Centers of Excellence

### Uddrag af ansøgning

---

#### 5. Title and acronym of the proposed research centre in Danish and English

Centre for Intelligent Building Information Modelling – iBIM

---

#### 6. List 5-10 scientific keywords (to be used for the identification of potential reviewers if the applicant is invited to submit a complete application)

Building Information Models (BIM), buildingSMART, energy performance, indoor environmental quality, integrated design, life cycle assessment (LCA), openBIM, simulation, smart meters, statistical information modelling, sustainable solutions, virtual design and construction

---

#### 7. Indicate most relevant field(s) of research

Humanities    Life Sciences    Physical Sciences    Social Sciences    Technical Sciences

---

#### 8. Location of the proposed center

DTU Civil Engineering, Brovej, Building 118, DTU, 2800 Kgs. Lyngby , Denmark

---

#### 9. Participants. Please list senior core members of the center:

Prof. Bjarne W. Olesen (Center Leader), DTU Civil Engineering  
Prof. Carsten Rode, DTU Civil Engineering  
Prof. Svend Svendsen, DTU Civil Engineering  
Prof. Per Anker Jensen, DTU Management  
Prof. Henrik Madsen, DTU Informatics  
Senior Researcher, Head of Department, Kjeld Johnsen, SBI, AAU  
Senior Researcher, Kirsten Engelund Thomsen, SBI, AAU  
Ass. Prof. Niclas Andersson, DTU Management  
Ass. Prof. Architect, Lotte Bjerregaard Jensen, DTU Civil Engineering  
Ass. Prof. Simon Furbo, DTU Civil Engineering  
Ass. Prof. Jan Karlshøj, DTU Civil Engineering  
Ass. Prof. Jianhua Fan, DTU Civil Engineering

---

## A short description of the proposed research endeavour

---

### 10. A short description of the proposed research endeavour.

This text will be used as an introduction to the proposal when identifying potential peer reviewers if the applicant is invited to submit a complete application.

The proposed research idea is to establish **Centre for Intelligent Building Information Modelling** that will enable significant better support for decision-making throughout the lifecycle of assets in the built environment. Simulation models for renovation of existing buildings and for design of new buildings inclusive renewable energy systems which fully can cover the energy consumption of the buildings are essential for planners and for the society. It is very important to optimize the whole community through for instance district heating, solar heating plants and smart grid.

Present it is not possible to model completely integrated design, where all aspects of the sustainable process are taken into account since in practice there is no direct interaction between the different models.

The models can together with cost analyses, LCA (Life Cycle Assessment) and health impact analysis of building materials be used to determine optimal solutions for renovations of existing buildings and for designs of new ones. These activities will be integrated by applying the **B**uilding **I**nformation **M**odelling, BIM, where information from design, construction, maintenance and operational processes are represented in a digital model of the building and the built environment. In the whole integrated design process there is a need for a constant interaction between the different models. Centre for Intelligent Building Information Modelling will enable significant better support for decision-making throughout the lifecycle of assets in the built environment.

Buildings will in the near future be equipped with smart meters and other tools for obtaining frequent readings of the energy consumption and the states of the building. The iBIM project will focus on development of intelligent and statistical methods for data analysis which implies that the stochastic dynamical model for the heat dynamics automatically will reflect the observed dynamics of the building. The methods will form the theoretical basis for automatic procedures for energy labelling, computer generated suggestions for optimizing the building, and a next generation for predictive control.

## Provide an argument for supporting the proposed endeavour

---

### 11. Provide an argument for supporting the proposed endeavour, for instance, by addressing the following questions:

- How will it redefine the research in its respective field?
- What kind of new insights and results may it produce?
- Why should this particular proposed team pursue this research?

Information technology with digital representations that support most stakeholders' views upon buildings along with contemporary possibilities for mathematical modelling and optimization represent a unique opportunity to develop the built environment into a sustainable sector of society.

The intended intelligent combination of the involved research fields (architecture, civil and environmental engineering, information technology, mathematical modelling) is more ambitious and has higher aspirations than earlier seen. The Centre will analyze the real IT needs, necessary for the design process we pursue. Finally intelligent tools for using energy readings for optimizing and calibrating stochastic dynamical models will be suggested.

Integrated design is a design process informed by multidisciplinary knowledge. Software plays an important part because a large amount of information is concentrated in a format that works in a design process. Numerous simulation programs from different kinds of engineering fields (indoor climate, energy balance, life cycle assessment etc.) exist today. Commercial players concentrate these programs on platforms with different plug-ins; but since they are not developed on a common foundation, aimed at integrated design, the programs do not work together. **The vision is that the same digital Building Information Model (BIM)** should be in operation from the very first sketches of a design process till completion of the building project and during its entire lifetime until demolition.

Software that can handle many dynamic systems simultaneously is necessary in order to reach a CO<sub>2</sub>neutral society. Zero-energy buildings perform dynamically and differently from day to day in close collaboration with the natural climate. Future sustainable energy infrastructure is dynamic and climate responsive. Software able to work with this sort of complexity is the missing link in the development. We need software that can intermediate between several different climate-responsive systems.

The proposed team has established a creative and dynamic environment at DTU Byg due to the cross-disciplinary universities corporation and the long tradition on sustainability efforts through among others building simulation, modelling and optimization. The Centre consists of an interdisciplinary cooperation between research groups from the finest universities of the world.

## Provide a presentation of the research idea

---

### 12. Provide a presentation of the research idea, which could include:

- A description of the proposed *research idea*, including its dimension of novelty and potential for groundbreaking results and an argument for its scientific or investigative relevance.
- A *strategy* for addressing the challenges. How will the center be organized? Which competencies/capacities will be involved? How will a creative and dynamic research environment be established? Which methodologies and approaches will be employed?

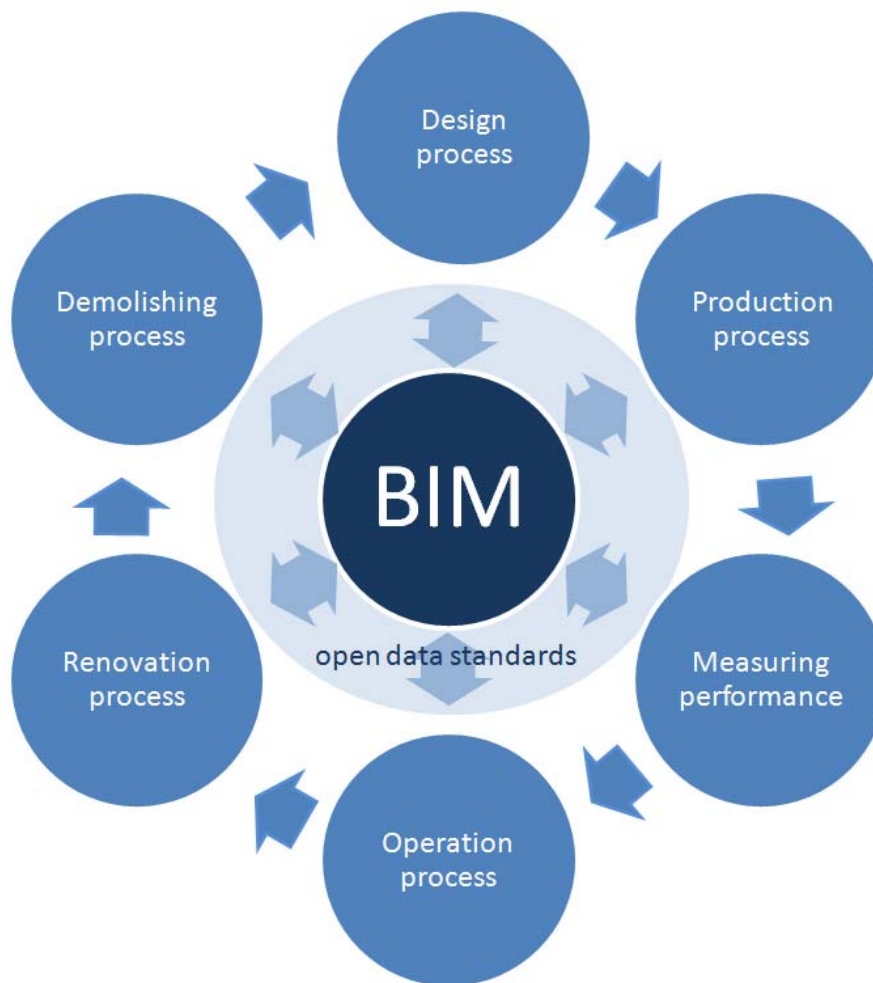
We live in a globalised world where products and services are traded without borders. A new building project in Germany may have an investor from the USA, an architect from Japan and a consulting engineer from Denmark. The vision of the centre is that in the building process each partner sits in his/her office and looks at the same 3D virtual model on a large touch screen. If the architect makes changes to the orientation the partners will immediately see the effect on energy consumption and indoor environmental quality. If the engineer needs to have some columns moved to achieve more efficient conduits for the ventilation ducts, it can be done directly on the touch screen. The effect on safety, available space and economy will be directly visible.

More knowledge about the way models function in the integrated design processes is an important issue. The dilemma between speed and precision is a central research topic. Which types of design processes are adequate for a highly informed design process? How can this be informed most efficiently? How can information and design decisions be transmitted to the next level in the process? And how can we achieve a completely dynamic model where it is possible to go back and change initial decisions without starting all over again? Dedicated research into integrated design has been developed at DTU Byg for the last decade, which has resulted in a new line of study. New methods for data-driven stochastic modelling has been developed at DTU Informatics. The so-called grey-box approach facilitates a combined use of information from physics and data in the integrated and intelligent model development process. Such methods are essential for modelling the dynamic response linked to many new and advanced elements; like facades with integrated PV.

The proposed research idea is to establish **Centre for Intelligent Building Information Modelling** that will enable significant better support for decision-making throughout the lifecycle of assets in the built environment. In the early stage design significant decisions have been on experiences rather than on facts, because traditionally analyses have been performed independently from each other and based on simple approximations. The centre will integrate computer based simulation tools, Mathematical Modelling and Building Information Modelling in order to make trustworthy estimates of how the facility can be constructed, operated and maintained that will lead to better facilities with lower life cycle cost and less negative impact on the environment. Also the whole community needs to be optimized in order to reduce the impact on the environment.

The research and development must be on an international level. It is extremely important that the Centre will influence the international developments in building modelling. This can

only be done by a very strong centre with critical mass to shape the future internationally. The team will outline solutions addressing these requirements.



*Figure 1. The integrated design process is a complicated process, where different partners in the process need constantly to be able to exchange data via the **B**uilding **I**nformation **M**odelling, rather than starting from scratch in each new model.*

In the existing buildings there is a need for collecting frequent readings of heat- and electricity consumption, plus other relevant data using smart meters. The coupling of data-driven modelling, carried out by statisticians, and building simulation, carried out by physicists, will provide research, which can be applied to improve nearly all aspects of the current state of the art of building information modelling. The new approaches will bridge the existing gap between physical and statistical modelling, and this will lead to a quantum leap in methods for identifying advanced details which can be embedded in simulation models. The Centre will with this contribute with internationally ground breaking research because Denmark has an extremely controlled and documented building stock.

Combined physical and statistical methods for optimal use of readings from smart meters will be developed. Use of dedicated statistical approaches will facilitate a splitting of e.g. the total energy consumption into a consumer part and a part which solely represents the thermodynamic behaviour of the building. The modelling will be based on stochastic semi-parametric methods, and new methods for automatic calibration and learning within this framework will be developed. It is believed that such methods will prove essential for



developing new and automatic methods for obtaining reliable energy labels of the performance of buildings. New software based intelligent methods for obtaining hints on where to improve the thermal performance of the buildings will be possible using the suggested methods. The methods will also provide information about the dynamical characteristics of the buildings which in the future will form the basis for a next generation of automatic outdoor compensators.

In combination with the information we will get from smart meters that will be placed in Danish buildings during the next years and the detailed knowledge about meteorological data in Denmark, the Centre will have unique data in relation to the dynamic interaction of climate responsive systems and lead to better models. The design of climate responsive energy systems and buildings depends on this research. The research also addresses the further development of already well established research fields, e.g. Daylight-simulation and solar energy simulation. Researchers from DTU Byg and SBi have previously developed more traditional energy simulation software programs that have been extensively used by Danish building designers as well as internationally.

### **Competencies and capacities**

**Centre for Intelligent Building Information Modelling – iBIM** will address the challenges to this ambitious target for sustainable buildings by combining its multidisciplinary dimensions, represented by its complementary team of research groups:

- 1) Energy and Resources (Engineering Dimension) [DTU Byg, AAU.SBi]
- 2) Architecture and Integrated Design (Architectural Dimension)[DTU Byg, AAU.SBi]
- 3) **B**uilding **I**nformation **M**odelling – BIM [DTU Byg]
- 4) Mathematical and statistical information modelling [DTU Informatics and Mathematical Modelling]
- 5) Lifecycle and Operation (Management Dimension) [DTU Management]
- 6) Virtual environment in the design – possibilities for the architect to create an architectural virtual environmental model, where the spectator can walk around in a 3D model [Software developer]
- 7) Infrastructure and IT

The Centre will inherit and strengthen the existing relation to other actors in research, education, development, industries and the building sector through its unique and holistic approach towards the challenge of sustainability. It will host a number of Ph.D. students, post docs and internationally high ranking researchers and it will bring together specialist. A close collaboration between scientists will give knowledge of how models should be structured and defined. The centre will be able to attract the finest researchers because it will be the first research centre of this kind in the world. It will be possible to host international Ph.D. courses within relevant topics.

Additionally, DTU Byg cooperates closely with private Architecture- and Civil Engineering companies hosting Ph.D. students in the field of integrated design. This will be an ideal starting point for creating new design methods, and it will be a respected setting for presenting them as solid research.

### **Organisation**

The Centre will be organized (figure 2) with a Steering Committee consisting of representatives of each partner organisation and 3 external advisors. The Centre Leader will

be supported by a Secretariat (Administrative leader, secretary, IT, TAB etc.) and the main research groups.

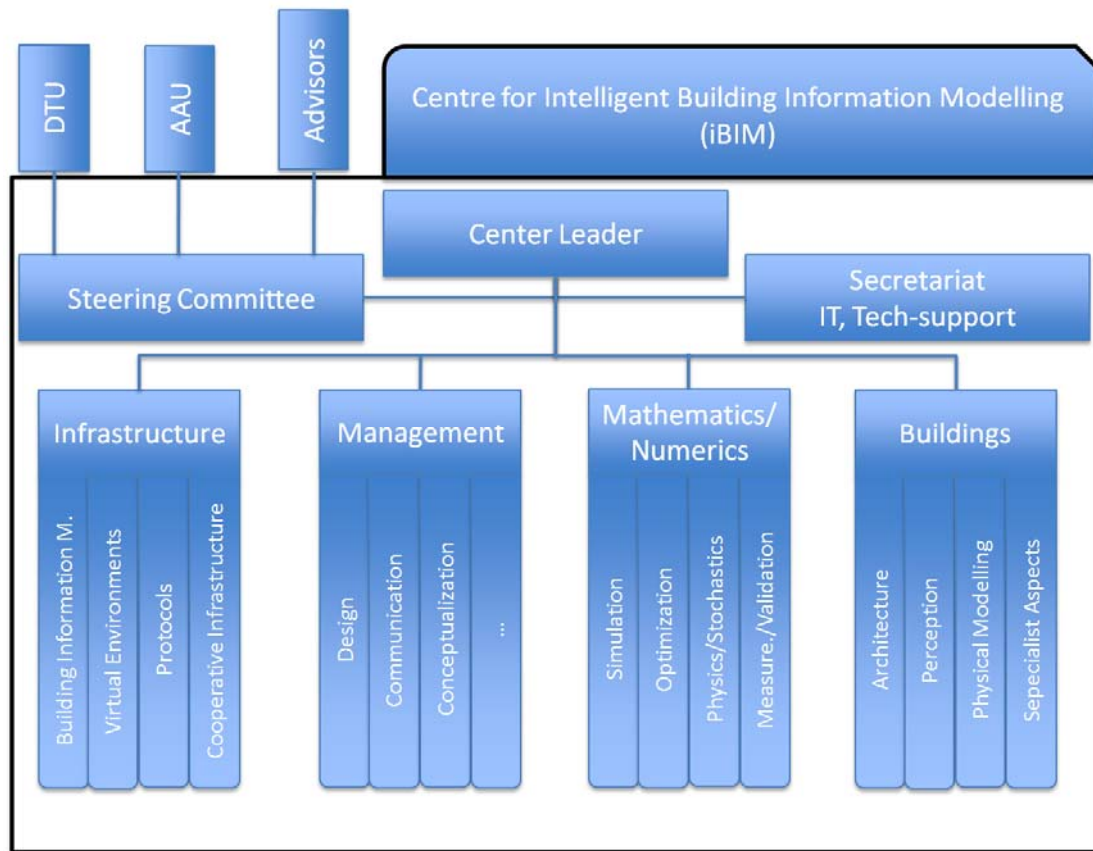


Figure 2. Organisation of the centre.

The Centre will be placed at DTU Byg due to the cross-disciplinary universities corporation and its long-term engagement in sustainable building design and simulation, that has international reputation and hereby able to attracted international researchers and graduates. Partner organisations are complementary in their dimension towards the overall task. The Centre consists of an interdisciplinary cooperation between research groups from the finest universities of the world, ex. MIT, Lawrence Berkeley National Laboratory.

## References to the relevant literature

---

### 13. References to the relevant literature

- Causone, Francesco; Baldin, Fabio; Olesen, Bjarne W.; Corgnati, Stefano. (2010). **Floor heating and cooling combined with displacement ventilation: Possibilities and limitations** *Energy and Buildings* , 42(12), 2338-2352
- Toftum, Jørn; Kolarik, Jakub; Belkowska, D.; Olesen, Bjarne W.. (2010). **Influence on Occupant Responses of Behavioral Modification of Clothing Insulation in Nonsteady Thermal Environments (RP-1269)** *H V A C & R Research* , 16(1), 59-74
- Olesen, Oline Vinter; Paulsen, Rasmus Reinhold; Højgaard, Liselotte; Roed, Bjarne; Larsen, Rasmus. (2010). **Motion tracking in narrow spaces: A structured light approach** . Presented at: Motion tracking in narrow spaces: A structured light approach . Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI , Beijing, China , 2010 *Lecture Notes in Computer Science* , 6363/2010, 253--260
- Steskens, Paul Wilhelmus Maria Hermanus; Janssen, Hans; Rode, Carsten. (2009). **Influence of the convective surface transfer coefficients on the Heat, Air, and Moisture (HAM) building performance** *Indoor and Built Environment* , 18(3), 245-256
- Rode, Carsten; Grau, Karl. (2003). **Whole-building Hygrothermal Simulation Model** . Presented at: 2003 Winter Meeting of The ASHRAE . Chicago, IL, USA , 2003 *ASHRAE Transactions : American Society of Heating Refrigerating Airconditioning Engineers* , 109(1), 572-582
- Jensen, Per Anker; Scupola, Ada. **ICT Adoption in the Danish Facilities Management Supply Chain - What are the factors that matter?** . Presented at: Constructions Matter , 2010
- Jensen, Per Anker. **Management for Usability of the Built Environment** . Presented at: CIB World Congress 2010 . Salford Quays, UK , 2010 *Building a Better World : CIB World Congress 2010* , 217
- Friling, N.; Jimenez, M.J.; Bloem, H.; Madsen, Henrik. (2009). **Modelling the heat dynamics of building integrated and ventilated photovoltaic modules** *Energy and Buildings* , 41(10), 1051-1057
- Jimenez, M.J.; Madsen, Henrik; Bloem, J.J.; Dammann, Bernd. (2008). **Estimation of non-linear continuous time models for the heat exchange dynamics of building integrated photovoltaic modules** *Energy and Buildings* , 40(2), 157-167
- Jimenez, M.J.; Madsen, Henrik. (2008). **Models for describing the thermal characteristics of building components** *Building and Environment* , 43(2), 152-162
- Andersen, Klaus Kaae; Madsen, Henrik; Hansen, Lars Henrik. (2000). **Modelling the heat dynamics of a building using stochastic differential equations** *Energy and Buildings* , 31(1), 13-24
- Hviid, Christian Anker; Nielsen, Toke Rammer; Svendsen, Svend. (2008). **Simple tool to evaluate the impact of daylight on building energy consumption** *Solar Energy* , 82(9), 787-798
- Tommerup, Henrik M.; Rose, Jørgen; Svendsen, Svend. (2007). **Energy-efficient houses built according to the energy performance requirements introduced in Denmark in 2006** *Energy and Buildings* , 39(10), 1123-1130

- Weitzmann, Peter; Kragh, Jesper; Roots, Peter; Svendsen, Svend. (2005). **Modelling floor heating systems using a validated two-dimensional ground coupled numerical model** *Building and Environment* , 40(2), 153-163
- Hoffmann, Birgitte; Nielsen, Susanne Balslev; Elle, Morten; Gabriel, Søren; Eilersen, Ann Marie; Henze, Mogens; Mikkelsen, Peter Steen. (2000). **Assessing the sustainability of small wastewater systems. A context-oriented planning approach** *Environmental Impact Assessment Review* , 20(3), 347-357
- Bjerregaard Jensen, Lotte; Almegaard, Henrik. **The problem of scale in design-implement experiences in civil engineering** . Presented at: CDIO Singapore 7-10 June 2009 , 2009 *CDIO Singapore 7-10 June 2009* , 1-8
- Haller, Michel; Cruickshank, Chynthia; Streicher, Wolfgang; Harrison, Stephen J.; Andersen, Elsa; Furbo, Simon. (2009). **Methods to determine stratification efficiency of thermal energy storage processes–Review and theoretical comparison** *Solar Energy* , 83(10), 1847-1860
- Andersen, Elsa; Furbo, Simon. (2009). **Theoretical variations of the thermal performance of different solar collectors and solar combi systems as function of the varying yearly weather conditions in Denmark** *Solar Energy* , 83(4), 552-565
- Andersen, Elsa; Furbo, Simon; Hampel, Matthias; Heidemann, Wolfgang; Müller-Steinhagen, Hans. (2008). **Investigations on stratification devices for hot water stores** *International Journal of Energy Research* , 32(3), 255-263
- Dederichs, Anne; Karlshøj, Jan; Hertz, Kristian Dahl. (2010). **A case study on collaboration within multidisciplinary teamwork** . Presented at: International Conference on Structures and Architecture . Guimaraes-Portugal , 2010 *ICSA2010 Proceedings*
- Fan, Jianhua; Furbo, Simon. (2008). **Buoyancy effects on thermal behavior of a flat-plate solar collector** *Journal of Solar Energy Engineering* , 130(2), 021010

---

**14. A description of institutional affiliations** (maximum: 2400 characters incl. spaces)  
Please note that construction of a center may involve more than one institution.

The Centre for Intelligent Building Information Modelling (iBIM) will be hosted at DTU Byg and most staff will be situated at this Campus.

The Centre will have a satellite research group at AAU.SBi for the purpose of enabling experiments with distributed infrastructures, a boundary condition that is one of the main issues to be researched and resolved by the Centre.

Architects, management staff, IT people and all others will be placed physically together with other researchers to ensure holistic approaches.

The Centre will be an independent research body, framing the organizational structure for the involved partner organizations. Staff will be fulltime employed by the Centre, but cooperating tightly with staff from hosting and partner organization.

The Centre will be national and international attraction point for partners from all branches of the building sector and other relevant industries, consultants, architectures, engineers, designers, entrepreneurs, production industry, and others.

The Centre diagram and additional information can be found in section 12.

---

**15. Information about formalized international cooperation and, if relevant, how the applicant envisages attracting junior and senior researchers to the center (maximum: 2400 characters incl. spaces)**

The Centre will be placed at DTU Byg due to the cross-disciplinary universities corporation and its long-term engagement in sustainable building design and simulation, that has international reputation and hereby able to attract international researchers and graduates. Partner organisations are complementary in their dimension towards the overall task. The Centre consists of an interdisciplinary cooperation between research groups from the finest universities of the world.

The Centre will host a number of Ph.D. students, post docs and internationally high ranking researchers and it will bring together specialist. A close collaboration between scientists will give knowledge of how models should be structured and defined. The centre will be able to attract the finest researchers because it will be the first research centre of this kind in the world. It will be possible to host international Ph.D. courses within relevant topics.

International Corporation:

- Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA
- Lawrence Berkeley National Laboratory, San Francisco, California, USA
- Stanford University, Palo Alto, California, USA
- Salford University, Manchester, UK
- Munich University of Applied Sciences, Munich, Germany
- Kassel Universität, Kassel, Germany
- Tokyo University (Institute for Industrial Technology), Tokyo, Japan
- Beijing University of Technology, Beijing, China
- Tsinghua University, Beijing, China
- Queensland University of Technology, Brisbane, Australia
- University of New South Wales, Sydney, Australia

The Centre will establish co-operation with international organizations, associations and alliances working in the same field. Among those are:

- IBPSA (the International Building Performance Simulation Association) is a non-profit international society of building performance simulation researchers, developers and practitioners, dedicated to improving the built environment.  
[www.ibpsa.org](http://www.ibpsa.org)
- GDL (Geometric Description Language) Alliance is an independent, international "grass roots" professional association consisting of GDL authors, software developers, and building product manufacturers to promote GDL Culture world-wide.  
[www.gdlalliance.com](http://www.gdlalliance.com)
- buildingSMART International (formerly International Alliance for Interoperability, IAI) is a neutral, international and unique organisation supporting open BIM through the life cycle. [www.iai-international.org](http://www.iai-international.org)

# Bilag 4 – Ansøgning Det Strategiske Forskningsråd

## 10.05.2011 – Centre for Intelligent Building

### Information Modelling (iBIM)

#### Uddrag af ansøgning

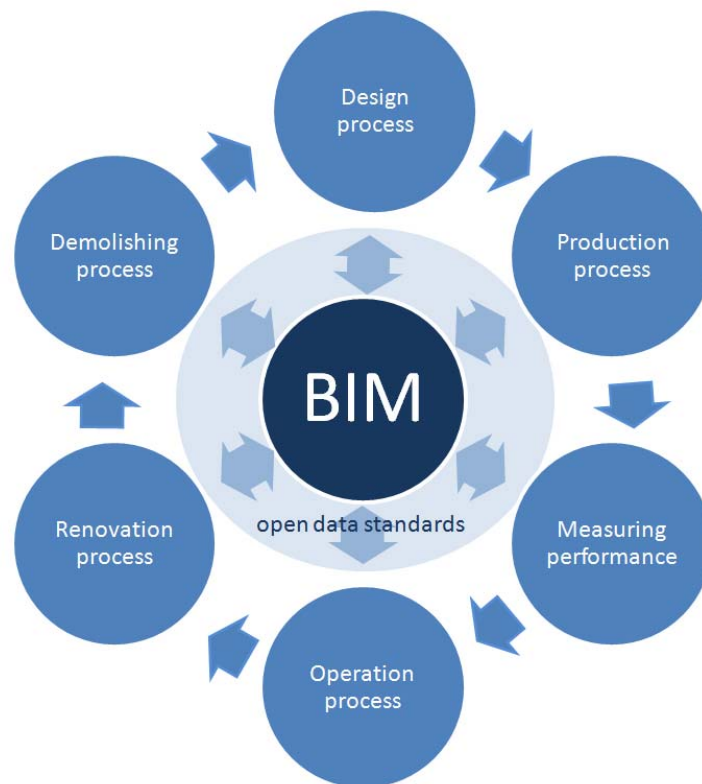
#### Scientific summary

According to the 2010 recast of the European Energy Performance of Buildings Directive new buildings must, by 2020, be 'nearly zero energy buildings', and the directive expresses aspirations on how existing buildings should follow pace. Hence urgent attention is required to improve the energy efficiency of the built environment. Near zero energy consumption is obtained only by optimization of the building design and clever optimization of all energy flows within and through the building. Optimized buildings must be "smart" buildings, and information and communication technology (ICT) will without doubt be the key instrument to be used for design and operation of such buildings. We identify two major challenges to be solved in order to achieve this. Firstly, the current building modelling software does not share information directly and thereby fails to provide the opportunities of integrated design and optimization. Secondly, the energy optimization of buildings needs to be much more holistic. Building design must evolve from today's practice where the individual building parts are optimized separately and into a future where the whole building, including all its installed systems, are optimized by integrating innovative technologies, which will furthermore make the building itself an active part of the total energy system. To facilitate this necessary evolution we need intensive research into building simulation models, integrated Smart Building design, embedded technologies for construction and operational monitoring, and full life cycle and carbon footprint assessment. To achieve this very complex task a strategic research centre is needed. The centre will consist of leading researchers in collaboration with the industry, which will be requesting this technology to stay in a globally leading position.

#### Objectives

Within few years, new buildings must be nearly zero energy buildings. To reach such targets, it will be necessary not only that buildings are operated with the maximum degree of energy efficiency based on classical measures such as thermal insulation, efficient windows, and heat recovery. It will be necessary also to look at passive and active measures by which buildings obtain a surplus of energy, and it will be necessary to look at possibilities for storing energy and for exchanging energy with the local community. This can be obtained only by clever balancing of the energy flows within and through a building, and not only by minimizing some of those flows. The operation of zero energy buildings needs to be optimized in every way possible, and the influence of the user is most important in this context. Buildings of the future must have at least the same good indoor environment that can be achieved today according to indoor climate standards.

Residential buildings have a share of nearly half of the energy consumption of our society. Research and solutions targeting this building type are necessary to achieve the energy targets set by the EU. Optimized buildings must be “smart” buildings, and information and communication technology (ICT) will no doubt be required instruments to be used for operation of such buildings (ICT-REEB, 2009). The ICT systems must be supplied with proper data management systems and computational models that aid the users and building operators in keeping the operation optimally tuned. Hitherto, most energy efficiency measures for buildings have been focussing on developing individual measures on separate solutions. While such developments will remain important, they will not be sufficient to provide energy neutrality. An integrated, whole building approach will be needed, and information technology with BIM will be used as vehicle to support this integrated approach. The BIM will be important during the design and construction (or refurbishment) of buildings, as well as through the operation during the whole life cycle. The BIM must be interoperable, since not only the interactions with the users and managers of the building are important, but the BIM must also be open to information exchange with external data providers such as meteorological services and utility companies.



*Figure 1. The integrated design process is a complicated process, where there is a constant need for exchanging data.*

For this vision to become a reality several complex challenges, which will require a high degree of inter-disciplinary activity, have to be solved. We propose to create a strategic

research centre to unify the Danish expertise in facing these challenges. It will have the following main objectives:

- BIM tools are today used mainly for isolated purposes and not as originally intended, as a hub for information related to buildings. This is due both to technical challenges as well as a lack of adaptation in the design and construction processes and the relevant legislation. A major hurdle for integrating BIM and analytic tools is the lack of a methodology for simplification, translation and interpretation of BIM models to analytic models (Bazjanac, 2008), which will be addressed in the project. Implementation of the methodology in software tools will enable the industry to efficiently make more thorough evaluations of different design options leading to more sustainable solutions. To overcome the non-technical barriers in the adoption of BIM in the industry, which is estimated to cause 80% of the problems (Robert Owen, 2010), a specific focus will be put on the collaboration between the different actors in the design process. In addition, an integrated approach with BIM will enable essential improvements of cost analysis and LCA (Life Cycle Assessment). The centre will develop the integrated design philosophy to comprise and use the full potential from using BIM.
- Currently we lack methods to deal with the huge amount of valuable data from ICT in buildings, especially smart meters. This data is the key to enable important energy saving initiatives, such as automatic energy labelling and computer-generated suggestions for building renovation. Based on this data, statistical models integrated into the BIM framework will be applied to enable a description of the energy performance of buildings (Bacher, 2011).
- Today the energy, daylight and indoor climate performance of newly designed office buildings are estimated and approved with simulation models, while residential buildings are often evaluated only regarding energy performance, hence a potential for better performing residential buildings with reduced energy use exists if the best available evaluation tools and methods are used. Ways to achieve these improvements will be found in close cooperation between building physicists and statisticians, facilitated by the application of statistical models based on measurements from inhabited buildings.
- The transformation of buildings from using energy to also produce energy in a decentralized energy system is required. Intelligent control of buildings equipped with ICT is indispensable and must cover the entire range of buildings, from single family houses to office buildings, and must also consider the interaction with renewable energy systems, such as heat pumps, solar heating, and PV systems. The objective is to develop the next generation of intelligent control, both of the energy flows inside the building and of the interplay with the surrounding energy system. This will transform buildings into smart buildings, which can both produce and use energy, and enable buildings for energy storage and peak-shaving (Halvgaard, 2011).
- Control of the indoor climate (thermal comfort and air quality) will be in focus of the centre. The current building simulation programs do only little to predict indoor air flows (draught, ventilation effectiveness). Computational Fluid Dynamics (CFD) can be applied, but are limited since all-year CFD simulations are today not feasible. Future buildings will be increasingly dynamic and also dynamic CFD simulations will be important. Methods that can be implemented in dynamic simulation tools will be developed based on flow element theory or CFD. These methods will be applied to calculate the long term performance of buildings and for evaluation of indoor thermal comfort and air quality, which will allow optimized use of combined mechanical and natural ventilation systems leading to better indoor climate and reduced energy use. Furthermore, especially related to near-zero energy buildings, several aspects of building modelling need significant refinements, such as daylight, thermal comfort, and natural ventilation. The centre will provide state-of-the-art research on building simulation.



- The built environment is characterised by a very large number of stakeholders and interests, which in many situations provide barriers for a realisation of the optimal building construction and operation. A typical example is the situation on energy costs – the building owner makes the investment in improvement of the buildings, but the tenants and users typically get the benefit in reduced costs, since they pay the energy costs directly to the utility. In order to address these issues, the centre will catalyse collaboration and develop new frameworks for operation of the built environment, where the stakeholders will have the right incentives to construct and operate energy efficient and healthy buildings.

Currently, Denmark has a unique and leading position in renewable energy technologies and in the transition towards a sustainable society. The research and development carried out aims at placing the centre in a globally leading position, which can only be achieved through a very strong centre with the critical mass to shape the future internationally. An equally important objective is to combine the research fields involved from: architecture, civil and environmental engineering, information technology, and statistical and mathematical modelling. A major objective of the centre is therefore to facilitate a close collaboration between research and industry in order to develop the technologies that will be globally requested.

## Methodology

Through its partners and existing international network the centre will ensure that the results are applicable not only in Danish but can be applied in other countries as well. This approach is needed for several reasons, e.g. the Danish market is too small in order to get support and interest from software vendors to implement solutions solely for the Danish customers.

The Triple Helix principle will be used to capture need and ease adoption by the industry, by involvement of organisation from academia, industry and government. The centre will collaborate with leading architectural and engineering institutions, contractors, product manufactures, energy providers and clients, to identify and suggest solutions of barriers in a BIM supported integrated design process, since the solutions are dependent on a tight collaboration between different professionals already forming the initial stages in the design process. World leading academic institutions will have an active role as participants in specific field of research in the centre, while others will be involved actively in network activities.

The centre will provide the coupling between data-driven modelling, carried out by statisticians, and building simulation, carried out by physicists, which will bridge the current gap between these two modelling approaches. By combining statistics and physics, grey-box modelling of heat dynamics enables possibilities for identification of advanced details which can be embedded in simulation models. Statistical approaches will facilitate the optimization of energy use in buildings. They will be based on stochastic semi-parametric methods, and new methods for automatic calibration and learning within this framework will be developed. This will be combined with model predictive control, which will provide the strategies to operate buildings in an energy optimal way, both regarding energy systems within the building and regarding the interplay with the surrounding energy system.

Process modelling and information requirements will be done according to (ISO 29481) in order to be compatible with other international efforts and avoid reinventing the wheel for capturing data. Modelling of properties will be done according to International Framework Dictionaries following (ISO 12006-3). Exchange of data between applications will primarily be done with or by extensions to the IFC specifications (ISO 16739). Prototypes will be developed as open source solutions at the research centre, whereas commercial products will be developed by the industry. Prototypes will be developed to test, adjust and demonstrate specific simulation methods and how integration to existing BIM tools can be performed.

## Participants, organisation and management

### *Participants*

The centre will consist of researchers from: **DTU Byg, SBI-AAU and DTU Informatics.**

### *Competencies and capacities*

**Centre for Intelligent Building Information Modelling – iBIM** will address the challenges of this ambitious target for sustainable buildings by combining its multidisciplinary dimensions, represented by its complementary team of research groups:

1. Energy and Resources (Engineering Dimension) [DTU Byg, AAU.SBi]
2. Architecture and Integrated Design (Architectural Dimension)[DTU Byg, AAU.SBi]
3. **B**uilding **I**nformation **M**odelling – BIM [DTU Byg]
4. Mathematical and statistical information modelling [DTU Informatics]

The centre will inherit and strengthen the existing relation to other actors in research, education, development, industries and the building sector through its unique and holistic approach towards the challenge of sustainability. A close collaboration between scientists will provide knowledge of how models should be structured and defined. Additionally, DTU Byg already today cooperates closely with private architecture- and civil engineering companies hosting Ph.D. students in the field of integrated design.

**Organisation and management.** The centre will be organized with a steering committee consisting of representatives of each partner organisation and 3 external advisors. The centre leader will be supported by a secretariat and the main research groups.

**Information about formalized international cooperation.** The centre will be placed at DTU Byg due to the cross-disciplinary universities corporation and its long-term engagement in sustainable building design and simulation that has international reputation and is hereby able to attract international researchers and graduates. Partner organisations are complementary in their dimension towards the overall task. The centre consists of an interdisciplinary cooperation between research groups from the finest universities in the world.

The centre will host a number of Ph.D. students, post docs and internationally high ranking researchers and it will bring together specialists. The centre will be able to attract the finest

researchers because it will host a globally unique combination of the research fields. It will be possible to host international Ph.D. courses within relevant topics.

**International corporation:** Lawrence Berkeley National Laboratory, San Francisco, California, USA; Salford University, UK; Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.

The centre will establish co-operation with international organizations, associations and alliances working in the same field. Among those are: IBPSA (the International Building Performance Simulation Association), Building SMART International and MODELICA association.

## Anticipated results for both science and society

It is the main aim for the centre to develop methods that are implemented in software tools and processes that will enable the industry to fulfil the political goal set by EU Energy Performance of Buildings Directive and the Danish government.

The unified approach of integrated and holistic building information modelling in an integrated design processes, combined with a new generation of simulation and monitoring tools, will provide a major leap for many applications of building simulation and modelling, and enable the employment of new intelligent technologies for optimization of energy efficiency.

Specifically, the centre will develop:

- A methodology for simplification, translation and interpretation of BIM models to be used by analytic tools, which is needed to obtain a higher level of data integration.
- Intelligent statistical methods to exploit valuable data on energy consumption and the condition of the building coming from smart meters in the building. These methods will facilitate automatic procedures for energy labelling and computer-generated suggestions for optimizing buildings. Embracing user behaviour via measurements from inhabited buildings will be a huge step forward and allow for much more realistic simulation results. These methods are a vital part of the BIM integrated approach.
- The methods for intelligent energy optimization and control of buildings. These will enable the realization of the extensive potential of buildings as key players in smart grids and energy markets, and thus facilitate an increasing level of renewable energy production.
- The integrated approach to be developed with BIM will allow improvements of cost analyses and LCA. The models will be used to determine optimal solutions for both new buildings and renovations of existing buildings. The integration of data-driven modelling and building simulation constitutes research which can improve nearly all aspects of the current state of the art in these fields and lead to better energy regulation policy of buildings.
- A methodology for an integrated design process including the use of BIM.
- A methodology to predict energy performance and evaluation of indoor comfort in near-zero energy buildings and applicable to both residential and other building types.
- A methodology for climate-based, annual daylight performance simulation which will allow a much better interaction between energy and daylight simulations and improve the performance on both energy and daylight.

These results contribute to Denmark's position as leading country within the building and construction sector, especially regarding the application of ICT in buildings and increase competitiveness of Danish companies on the global market. This will enable Danish architectural and engineering companies to strength their international position in combining sustainable solutions with high architectural quality. The tight integration of different energy systems will enable Danish product manufactures to meet the growing international interest for energy efficient solutions.

## Main references

- \* (Bacher, 2011) Bacher, P. & Madsen, H. Identifying suitable models for the heat dynamics of buildings, *Energy and Buildings*, 2011.
- \* (Halvgaard, 2011) Halvgaard R.; Poulsen, N. K.; Madsen H.; Jørgensen, Bagterp J. Economic Model Predictive Control for Climate Control of Buildings in a Smart Energy System. IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference, 2011, Orlando, USA.
- \* (ICT-REEB, 2009) ICT-REEB, July 2009. ICT for a low carbon society - Smart Buildings. URL: <http://ec.europa.eu/ictforsg>, ISBN978-92-79-12977-3.
- \* (Bazjanac, 2008) *IFC BIM-Based Methodology for Semi-Automated Building Energy Performance Simulation*, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008.
- \* (Robert Owen, 2010) Amor R., Palmer M.; Dickinson J. Tatum C.B; Kazi A.S.; Prins M.; Kiviniemi A. and East B., *Challenges for Integrated Design and Delivery Solutions*, Architectural Engineering and Design Management 2010, Volume 6, p. 232–240.
- \* (Kerry Brown, 2008) BIM – Implications for Government, Business and Industry Development, Research Project No.: 2004-032-A, Construction Industry Business Environment, July 2008.





Formålet med projektet har været, at skabe grundlaget for etablering af et Center for Bygningssimulering med fokus på udnyttelse af avancerede bygningsenergisimuleringer til opnåelse af el og varmebesparelser. Resultatet af arbejdet i projektet med skrivning af en ansøgning til det Danmarks Grundforskningsråd – Centre of Excellence og Det Strategiske Forskningsråd, afholdelse af workshop, strategimøde, arbejds-møder og møder med relevante parter, har bidraget med en stor mængde viden, der er samlet i denne rapport. Det er ønsket, at denne rapport kan medvirke til det fortsatte arbejde med at etablere et Center for Bygningssimulering i Danmark. Hovedindholdet i de to ansøgninger er sammenskrevet på dansk i rapportens kapitel 2.

**DTU Byg**  
**Institut for Byggeri og Anlæg**  
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118  
2800 Kgs. Lyngby  
Tlf. 45 25 17 00

[www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)

**ISBN 978 877 877 36 47**