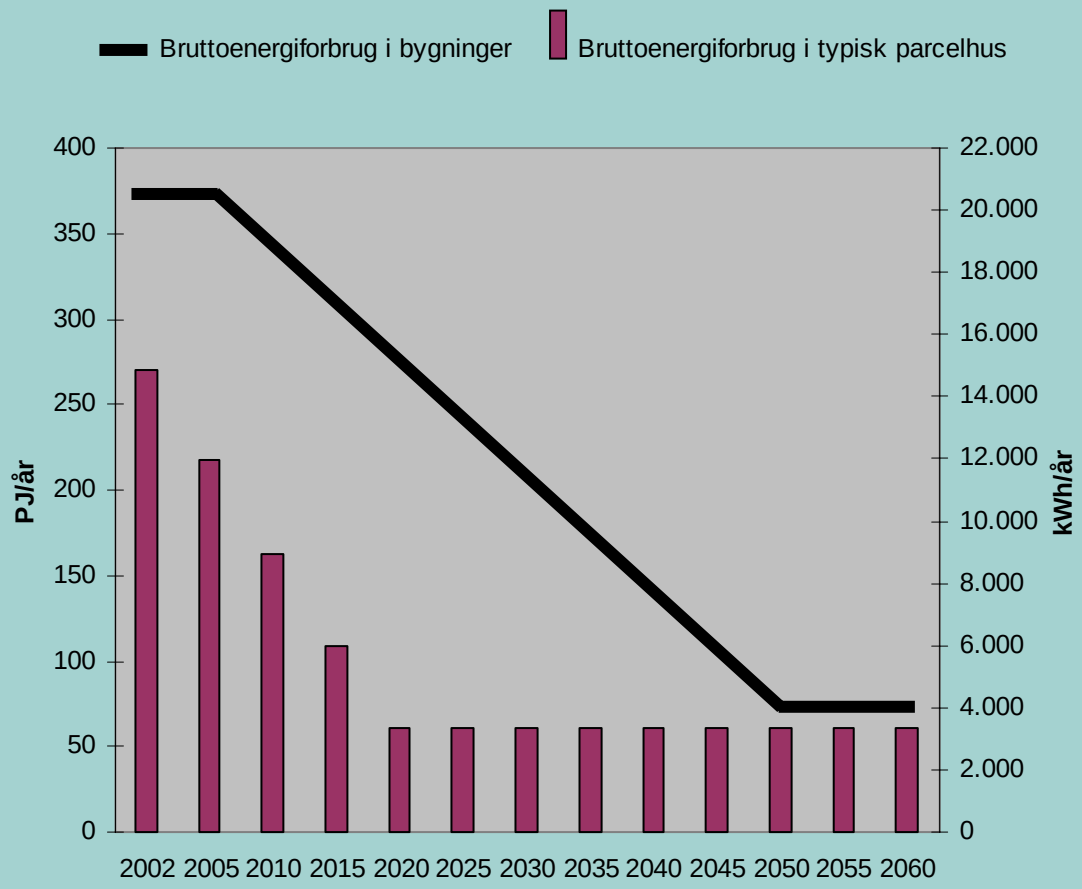
BYG·DTU

Energibesparelser i bygninger

Status over forsknings- og udviklingsaktiviteter ved DTU



DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

DTU

Rapport: R-088
BYG·DTU
September 2004
ISBN=87-7877-152-8

Energibesparelser i bygninger -
Status over forsknings- og udviklingsaktiviteter ved DTU

Gregers Reimann
Henrik M. Tommerup
Jacob Birck Laustsen
Jesper Kragh
Jørgen Rose
Peter Weitzmann
Toke Rammer Nielsen
Svend Svendsen

September 2004
BYG·DTU
Danmarks Tekniske Universitet

Indholdsfortegnelse

1 GENERELT 4

2 BYGNINGSDELE OG INSTALLATIONER 5

2.1 KLIMASKÆRM 5
2.2 VINDUER 6
2.3 VENTILATION 8
2.4 VARMEANLÆG 9
2.5 KØLEANLÆG (TERMOAKTIVE KONSTRUKTIONER) 10
2.6 EL-UDSTYR 11

3 BYGNINGER 12

3.1 BYGGERI I ANDRE KLIMAER 12

4 GENERELLE ANALYSER 14

5 FORSLAG TIL STRATEGI FOR FORSKNING OG UDVIKLING AF ENERGIEFFEKTIVE TEKNOLOGIER I BYGNINGER 15

Bilag 1 Emneopdelt litteraturoversigt med hovedrapporter

Bilag 2 Detaljerede projektbeskrivelser og resultater

1 Generelt

Denne status omfatter forsknings- og udviklingsprojekter udført af eller med deltagelse af en forskergruppe under ledelse af Svend Svendsen i periode fra 1994 til 2004.

Projekterne har haft fokus på udvikling og undersøgelse af energibesparende løsninger til bygninger med henblik på at belyse mulighederne for at indføre krav om 33% mindre energiforbrug i bygningsreglement i 2005. Oprindeligt omfattede energiforbruget kun varmebehovet til rumopvarmning men det ændredes i perioden til bruttoenergiforbruget.

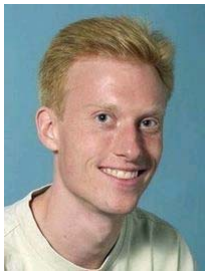
Der har været arbejdet mest med nybyggeriet, men dog har der også været enkelte projekter om energirenovering af eksisterende byggeri.

Projekterne har i høj grad været gennemført i samarbejde med byggebranchen og andre institutioner. Projekterne har fået økonomisk støtte fra Energistyrelsen (EFP og Projekt Vindue), Erhvervs- og Boligstyrelsen (Projekt Renovering), EU (SAVE) og byggebranchen (brancheorganisationer, byggevareproducenter og typehusproducenter). DTU har desuden bidraget til forskningen i form af projektledelse og forskeruddannelse.

I det følgende gives en kort beskrivelse af de enkelte områder og i bilag 1 er vist en litteraturliste med hovedrapporterne indenfor hvert område. Bilag 2 indeholder uddybende projektbeskrivelser, henvisning til projektrapporter og en sammenfattende resultatbeskrivelse.

september 2004

Forskergruppe med fagområde



Gregers Reimann
Tlf.: 45 25 18 53
E-mail: gr@byg.dtu.dk
Tropisk byggeri
Solafskærninger



Henrik M. Tommerup
Tlf.: 45 25 18 59
E-mail: hmt@byg.dtu.dk
Energirigtigt byggeri



Jacob Birck Laustsen
Tlf.: 45 25 19 39
E-mail: jbl@byg.dtu.dk
Vinduer
Solafskærmninger



Jesper Kragh
Tlf.: 45 25 18 56
E-mail: jek@byg.dtu.dk
Vinduer
Ventilation
Arktisk byggeri



Jørgen Rose
Tlf.: 45 25 18 84
E-mail: jro@byg.dtu.dk
Klimaskærm og kuldebro beregninger



Peter Weitzmann
Tlf.: 45 25 18 58
E-mail: pw@byg.dtu.dk
Bygningsintegrerede opvarmnings- og kølesystemer



Toke R. Nielsen
Tlf.: 45 25 18 60
E-mail: trn@byg.dtu.dk
Bygningsenergi
Ventilation
Installationer



Svend Svendsen
Tlf.: 45 25 18 54
E-mail: ss@byg.dtu.dk
Alle fagområder indenfor bygningsenergi og installationer

2 Bygningsdele og installationer

Især i begyndelsen var projekterne fokuseret på bygningens enkelte bygningsdele eller tekniske anlæg. Derved kunne man koncentrere arbejdet og fremme samarbejde med brancher og firmaer. Senere i forløbet blev der arbejdet mere med helhedsløsninger i form af hele bygninger.

2.1 Klimaskærm

Klimaskærmskonstruktionerne omfatter den isolerede del af bygningen og er typisk ansvarlig for den største del af varmetabet. Der har været fokus på udviklingen af nye typer bedre isolerende klimaskærmskonstruktioner baseret på alle typiske byggesystemer og til alle typer bygninger.

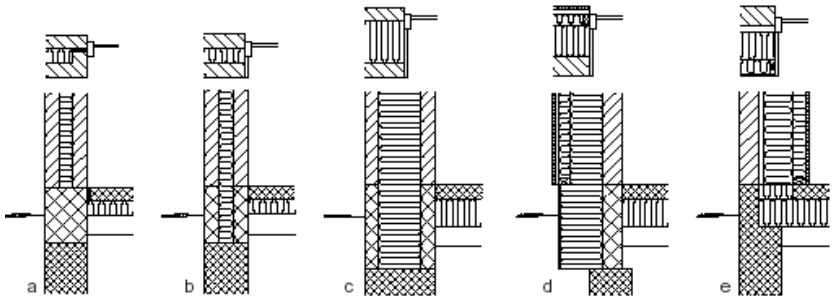
Med indførelsen af nye europæiske standarder for beregning af bygningers varmetab blev der reelt indført krav om at effekten af kuldebroer skulle tages korrekt med i beregningerne. Derfor blev der også lagt vægt på udviklingen af metoder til analyse af disse samt på udviklingen af konstruktioner med minimale kuldebroer. Der blev desuden arbejdet med udvikling af metoder til totaløkonomisk optimering af klimaskærmskonstruktioner med hensyn til isoleringsniveauet.

Hovedresultaterne af aktiviteterne på området er følgende:

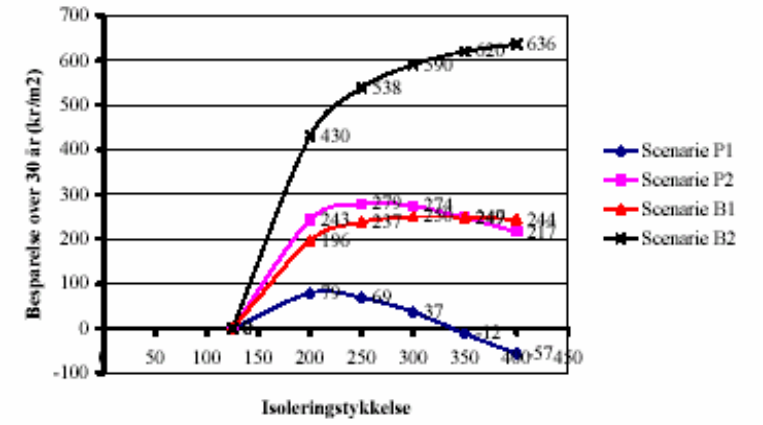
- **Nye bedre isolerede lette og tunge klimaskærmskonstruktioner til mindre bygninger omfattende både traditionelle og nye typer løsninger**
- **Nye typer bedre isolerede betonelementkonstruktioner til større bygninger med minimale kuldebroer**
- **Nye typer efterisoleringsløsninger med bedre energimæssige egenskaber**
- **Metoder til beregning af effekten af kuldebroer**
- **Metoder til totaløkonomisk optimering af isoleringsniveauet**

Bedre isolerede ydervægskonstruktioner og optimerede isoleringstykkelser

Figuren viser oplagte muligheder for forbedring af de varmetekniske egenskaber ved bedre isolering af væg, fundament, vinduesfalse og terrændæk.



Figuren viser at optimale isoleringstykkelser er væsentligt større end kravet i Bygningsreglement 1995.



2.2 Vinduer

Vinduesområdet omfatter ruder, vinduer, glasfacader, dobbeltfacader, solafskærmninger, forsatsvinduer og ovenlysvinduer. Der blev i projekterne på vinduesområdet fokuseret på udvikling af metoder til karakterisering af komponenternes energimæssige egenskaber med hensyn til både varmetab og solindfald samt lysindfald.
Desuden blev der arbejdet med udvikling af vinduer m.m. med bedre energimæssige egenskaber.
Der har været arbejdet med vinduesløsninger til såvel eksisterende som nybyggeri af forskellige typer.
I forbindelse med deltagelse i internationale projekter er der blevet arbejdet med udvikling og etablering af databaser med energidata for alle delprodukter i vinduessystemer (glas, belægninger, ruder, kantkonstruktioner, karmprofiler, solafskærmninger) som kan benyttes i detaljerede beregningsprogrammer til beregning af vinduessystemers energimæssige egenskaber.

Hovedresultaterne af aktiviteterne på området er følgende:

- **Opbygning af vidensystem om vinduers energimæssige egenskaber (kompendieserie)**
- **Metoder til karakterisering af vinduessystemers energimæssige egenskaber baseret på beregninger og målinger**
- **Udvikling af vinduessystemer med bedre energimæssige egenskaber**
- **Opbygning af viden om metoder til analyse af vinduessystemers levetid**

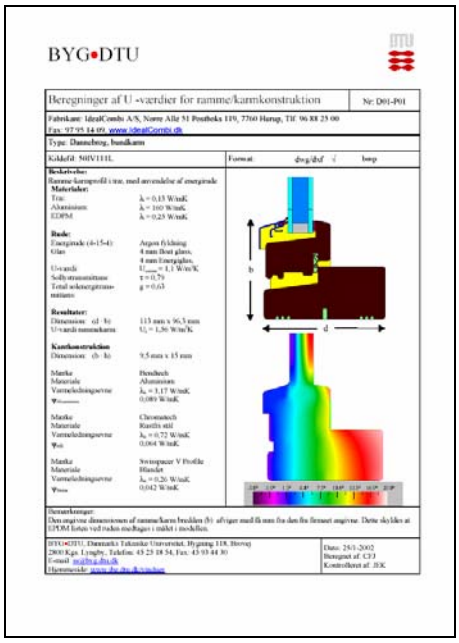
Dokumentation af vinduers energimæssige egenskaber

I det nye bygningsreglement vil vinduer indgå i beregningen af energiforbruget med både deres solenergitilskud og varmetab. Metoder til detaljeret bestemmelse af de varmetekniske egenskaber af et vindue er udviklet og resultater dokumenteres i form af datablade for profiler og vinduer.

1. Profildata:
   - U_f*-værdi*: Varmetransmissionskoefficient for den aktuelle ramme/karm, post eller sprosse.
   - Ψ*-værdi*: Linietabskoefficient for sammenbygningen mellem ramme/karm, kantkonstruktion og rude. (Evt. kan linietabskoefficienten angives som funktion af kantkonstruktionens termiske data)

2. Vinduesdata: (For specifik rudeløsning)
   - *U-værdi*: Vinduets totale varmetransmissionskoefficient.
   - τ*-værdi*: Vinduets sollystransmittans.
   - *g-værdi*: Vinduets totale solenergitransmittans.
   - *Energitilskud*: Beregnet efter varmebalanceligning der anvendes i energimærkningsordningen.

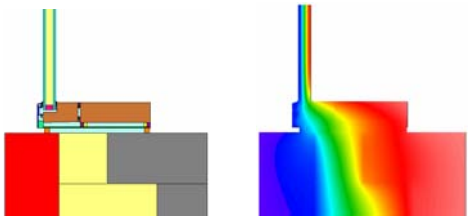
Datablad for ramme/karm profil


BYG•DTU

Beregninger af U -værdier for ramme/karmkonstruktion

Guarded hotbox til måling af vinduers energimæssige egenskaber

Forsøgsopstilling til måling af vinduers varmetabskoefficient. Nye optimerede vindues løsninger testes og analyseres i forsøgsopstillingen.
Målingerne sammenlignes med detaljerede computersimuleringer.





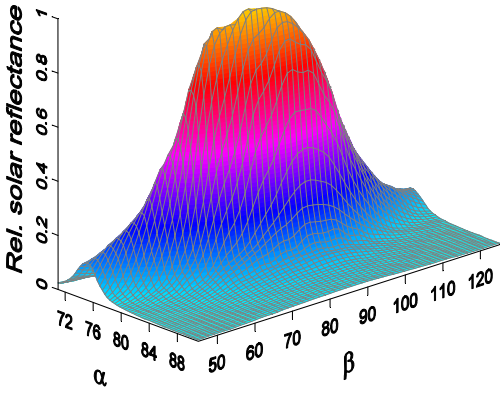
Goniospektrometer til måling af transmittans og reflektans af ruder og solafskærmninger

Vha. et goniospektrometer karakteriseres de optiske egenskaber af ruder og solafskærmninger. Apparatet er unikt og kan måle både den spektrale og rumlige fordeling af transmittansen og reflektansen. Derfor kan man, udover den samlede lystransmittans og solenergitransmittans, ganske præcist bestemme hvordan lyset fordeler sig gennem spredende solafskærmninger som fx persienner.



På figuren for oven ses goniospektrometret ved måling af transmittans for en termorude med integreret persienne.

På den nederste figur er den rumlige fordeling af reflektansen for en termorude med integreret persienne vist.



2.3 Ventilation

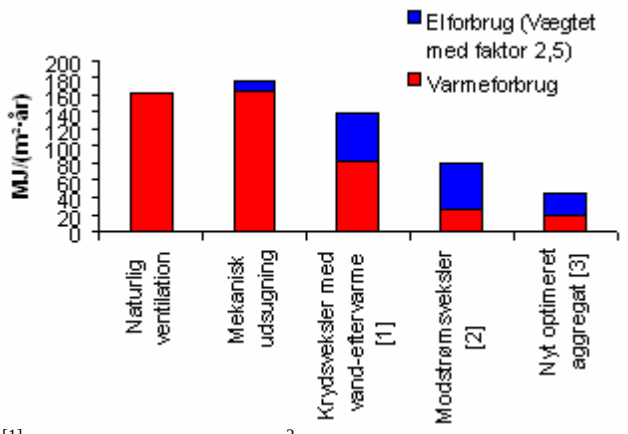
Ventilation kan i form af mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding og energieffektive ventilatorer sikre et komfortabelt og sundt atmosfærisk indeklima og samtidig give store energibesparelser.
Projekterne på området har haft fokus på energimæssigt bedre ventilationsaggregater og systemløsninger for kanalføring.

Hovedresultaterne af aktiviteterne på området er følgende:

- **Udvikling af aggregater med meget høj effektivitet på varmegenvindingen og på ventilatorerne**
- **Udvikling af systemløsninger til integrering af kanalsystemet i loftskonstruktionen så varmetab og tryktab kan minimeres på en økonomisk måde**
- **Udvikling af energieffektive metoder til sikring af varmeveksler mod tilisning**

Bruttoenergiforbrug for forskellige ventilationsløsninger i enfamiliehus

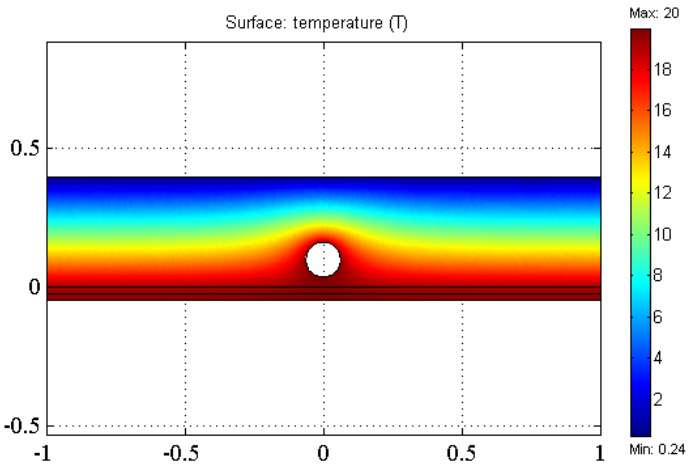
Et nyt optimeret aggregat til enfamiliehuse med bedre eleffektivitet og bedre varmegenvinding medfører et bruttoenergiforbrug til ventilation, der udgør ca. 30% af energiforbruget for et naturligt ventileret system og er ca. halvt så stort som energiforbruget for testede kommercielle ventilationsanlæg med modstrømsvarmeveksler. Bruttoenergiforbruget indeholder energi til el og varme, hvor el-energi er vægtet med faktor 2,5 i forhold til varme.



[1] SEL-værdi lig 2000 J/m^3 og temperaturvirkningsgrad lig 50%.
[2] Samme tekniske niveau som de kommercielle ventilationsanlæg; SEL-værdi 2000 J/m^3 , temperaturvirkningsgrad 85%.
[3] SEL-værdi lig 1000 J/m^3 og temperaturvirkningsgrad lig 90%.

Integrerede ventilationskanaler i loftkonstruktionen

Integreres ventilationskanalerne i den nederste del af loftisoleringen kan det samlede varmetab fra kanaler og gennem loftet reduceres med ca. 50% i forhold til en situation, hvor ventilationskanalerne ophænges i loftsrummet med 50 mm isolering. Det samlede varmetab gennem loftskonstruktionen og fra kanalerne i tilfældet med integrerede kanaler kun er ca. 5% større end det endimensionale varmetab gennem loftskonstruktionen alene.



2.4 Varmeanlæg

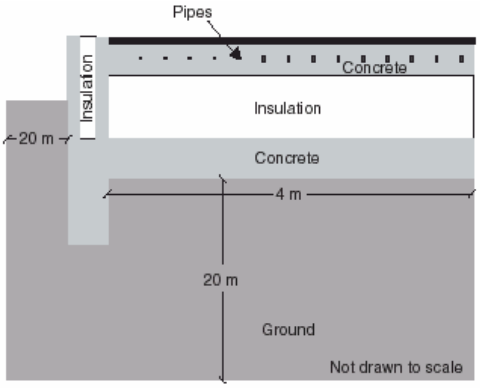
Varmeanlæg i nye boliger er ofte udformet som gulvvarme baseret på indstøbte slanger i betonlaget i terrændæk. Gulvvarmeanlæg kan derfor give anledning til ekstra varmetab.

Hovedresultaterne af projekterne på området er følgende:

- **Opbygning af meget detaljeret beregningsmodel til analyse af gulvvarmeanlægs varmetab og dynamiske egenskaber**
- **Der er arbejdet med udvikling af energirigtige gulvvarmeløsninger baseret på både tunge og lette gulve**
- **Udvikling af vejledning i udformning og styring af energirigtig gulvvarme til bedre isolerede bygninger**

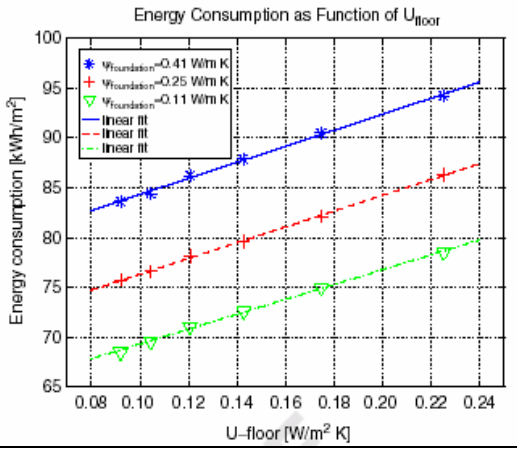
Simuleringsprogram FHSIM til detaljeret analyse af gulvvarme

Et computersimuleringsværktøj ved navn FHSim til simulering af forskellige gulvkonstruktioner med gulvvarme er udviklet. Programmet giver mulighed for at analysere udformningen af gulvvarmesystemets betydning mht. energiforbrug og indeklima.



<u>Input & parametre:</u>
Vejrdata (DRY)
Solindfald
Intern varmelast
Ventilation (med varmegenvinding)
Setpunktstemperatur
Isoleringstykkelse gulv
Isoleringstykkelse i fundament
Styring (fremløbstemperatur, natsænkning)
Gulvbelægning

<u>Output:</u>
Energistrømme
Indeklima
Linietabskoefficient fundament/terrændæk



2.5 Køleanlæg (Termoaktive konstruktioner)

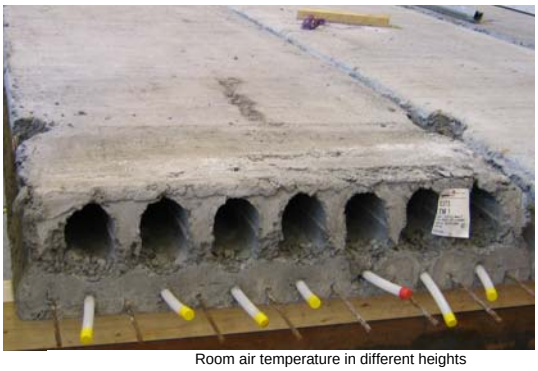
Termoaktive konstruktioner repræsenterer et alternativ til traditionel aircondition i kontorbyggeri. I arbejdet med termoaktive konstruktioner er der foretaget lovende indledende termiske analyser som har ført til opbygningen af en forsøgsopstilling som skal eftervise funktionaliteten af termoaktive konstruktioner baseret på præfabrikerede huldæk.

Hovedresultaterne af projekterne på området:

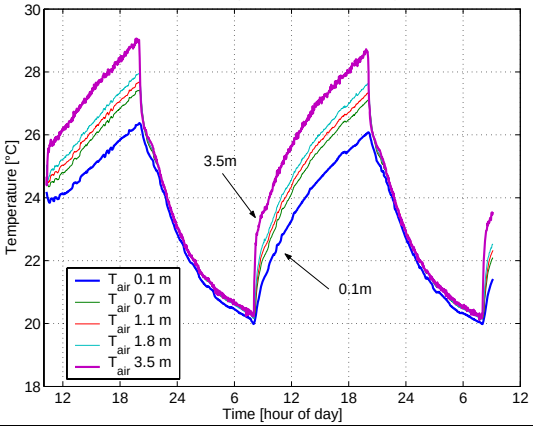
- **Der er udviklet detaljerede beregningsværktøjer til bestemmelse af kølekapacitet og termiske forhold i bygninger med termoaktive konstruktioner**
- **Der er foretaget termiske analyser, som har vist lovende resultater mht. den opnåelige køling. Herunder er specielt fundet at der er mulighed for "højtemperaturkøling" samt at der er en stor lastudjævning over døgnet som bevirker at køleanlægget kan gøres mindre**
- **Der er foretaget målinger på termoaktive konstruktioner der efterviser de beregnede resultater**

Termoaktive konstruktioner

Som et konkret eksempel på et termoaktivt dæk vises på billedet et præfabrikeret betonhuldæk med indstøbte slanger. Kølekapaciteten af dækket under stationære og dynamiske forhold er undersøgt i en fuldskala forsøgsopstilling som indeholder et kontor på ca. 20m². Formålet med udviklingen er at klargøre en introduktion af termoaktive konstruktioner på det danske marked samt at udvikle nye løsninger til det termoaktive dæk.



Room air temperature in different heights



Kurven viser et eksempel på den målte lufttemperatur i forskellige højder i kontoret under dynamiske påvirkning af hhv. køling og intern varmelast. Målingen illustrerer funktionaliteten af køling med termoaktive dæk i en kontorbygning. Især bemærkes det, at der ikke kan holdes en konstant temperatur i rummet i løbet af dagen men derimod at temperaturen vil stige fra morgen til aften, hvorefter rummet køles ned igen i løbet af natten.

2.6 El-udstyr

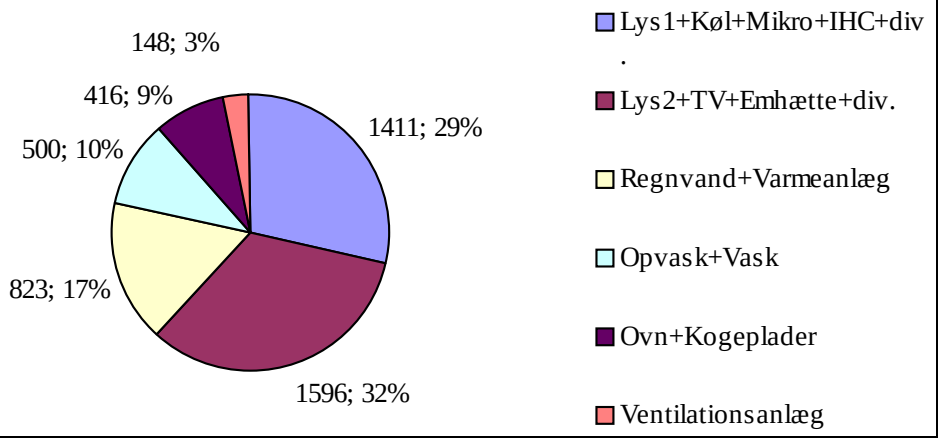
Da elforbruget til installationer direkte indgår i bruttoenergirammen og elforbruget til apparater indirekte påvirker husets varmebehov er det vigtigt at behandle elforbruget som led i energibesparelser i bygninger.
Der er blevet foretaget målinger af bruttoenergiforbrug i en række beboede forsøgshuse svarende til BR20005-energikrav; dvs. forbruget til rumopvarmning, varmt brugsvand, virkningsgraden af varmeanlægget samt elforbrug til ventilationsanlæg, pumper i varme- og varmtvandsanlæg og belysning. Desuden er elforbrug til apparater i husene blevet målt.

Hovedresultatet for projektet er følgende:

- **Målte elforbrug i husenes installationer og apparater**
- **Analyse af hvordan elforbruget påvirker varmeforbruget**

Målte fordelinger af elforbrug i huse

Elforbruget fordelt på forskellige grupper af apparatur og enkeltkomponenter, med angivelse af kWh/år og pct-andel af det samlede elforbrug.



3 Bygninger

Efter gennemførslen af en lang række projekter som fokuserede på de enkelte bygningsdele eller de enkelte tekniske anlæg i bygningerne, blev fokus rettet mod udviklingen af helhedsløsninger i form af hele bygninger. Samarbejdet blev herved udvidet til også at omfatte typehusfirmaer og andre projekterende.

3.1 BR2005 forsøgshuse

Udviklingen af energibesparende løsninger på de enkelte områder er kædet sammen i udvikling af nye energibesparende typehuse.

Der er arbejdet med at udvikle typiske enfamilieshuse med et energiforbrug, der opfylder de forventede skærpede krav i bygningsreglementet. Der er lagt vægt på at det kan ske byggeteknisk forsvarligt, med opretholdelse af de brugsmæssige egenskaber og indenfor fornuftige økonomiske rammer.

Hovedformålet med projektet var at demonstrere og eftervise en målsætning om en reduktion af opvarmningsbehov på mindst 33 % i forhold til den nu gældende energiramme. Fem forsøgshuse er inddraget i projektet og der er udført detaljerede målinger af indeklima og energiforbrug.

Hovedresultaterne af projektet er følgende:

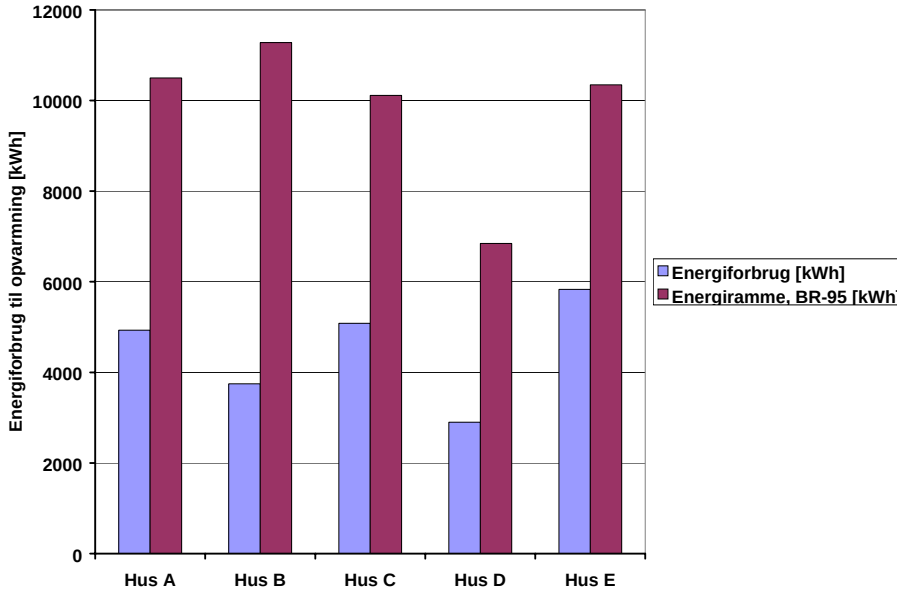
- **Varmebehovet blev reduceret med ca. 50% i forhold til det nuværende krav**
- **Det er eftervist at man med alle byggesystemer kan reduceres energiforbruget som ønsket**
- **Brugsfunktionerne kan opretholdes eller endda forbedres**
- **Byggeudgifterne til de ekstra energibesparende tiltag var kun ca. 5%**

Efterfølgende målinger og analyser af bruttoenergiforbrug har vist at bruttoenergiforbruget (samlet energiforbrug ekskl. elforbrug til apparater) udgør ca. 75 % af den bruttoenergiramme der forventes i forbindelse med nye energibestemmelser i 2005, svarende til en klassificering som lavenergihus i klasse 2.

Analyser af hvordan elforbruget (elvarmetilskuddet) påvirker varmeforbruget viser at kun omkring 50-60 % af det el-relaterede varmetilskud kan nyttiggøres til rumopvarmning set over hele året, som svarer til at kun 10-20 % af oplagte el-besparelser i forsøgshusene bliver ”spist op” af forøgede varmeudgifter.

BR-2005 Forsøgshuse

Figuren viser forsøgshusenes energiforbrug til opvarmning i forhold til energirammen jf. BR95 (eksisterende Bygningsreglement)

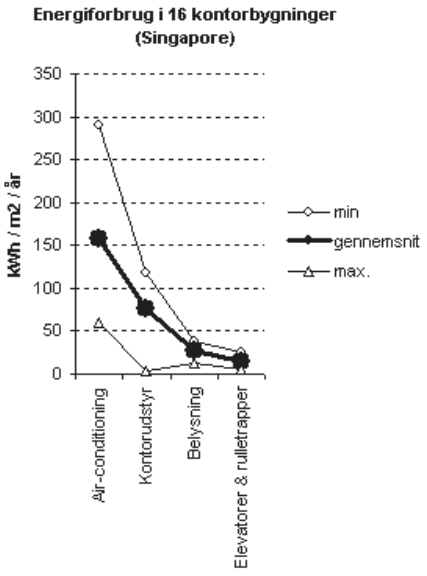


3.2 Byggeri i andre klimaer

Analyser og udvikling af byggetekniske løsninger i andre klimaer spændende lige fra udvikling og design af et lavenergihus i Grønland til helhedsorienteret tropisk bygningsdesign.

Energiforbrug i tropisk byggeri

I troperne er byggeriet køledomineret. Det gælder om at holde varmen ude af byggeriet og om at minimere forbruget til air-conditionering. Figuren til højre viser resultaterne af et detaljeret energistudie på 16 eksisterende kontorbygninger i Singapore (1º N); bygningerne er repræsentative for Singapore, idet de er blevet udplukket fra et tidligere energistudium på ialt 104 bygninger. Hovedparten af bygningernes energiforbrug går til air-conditioning. Kontorudstyr og belysning bidrager også væsentlig til energiforbruget samt til den interne varmelast, som skal køles bort med air-conditionering. Dette er også et kendt problem i dansk kontorbyggeri, som i stigende grad opføres med køleanlæg for at undgå overophedning. Udfordringen i tropisk såvel som dansk kontorbyggeri består derfor i at minimere kølebehovet gennem fornuftigt bygningsdesign og minimering af den interne varmelast.



4 Generelle analyser

Til belysning af de samlede potentielle energibesparelser i byggeriet ved brug af de udviklede tiltag er der gennemført projekter, der behandler dette.

Projektets formål har været, dels at redegøre for de tekniske energibesparelsesmuligheder der findes i eksisterende og nye boliger, dels at behandle forskellige økonomiske metoder til vurdering af energibesparelsestiltag og foretage økonomiske beregninger af privat- og samfundsøkonomien i de energibesparende tiltag samt vurdere besparelsespotentialet.
At eftervise økonomien i energibesparelser i eksisterende bygninger og nybyggeriet, er for nybyggeriets vedkommende væsentligt i forbindelse med fastsættelse af skærpede energikravene i nye energibestemmelser i år 2005. For det eksisterende byggeri er opgaven vigtig i forbindelse med fastsættelse af krav til renovering med baggrund i EU-direktiv om bygningers energimæssige ydeevne.

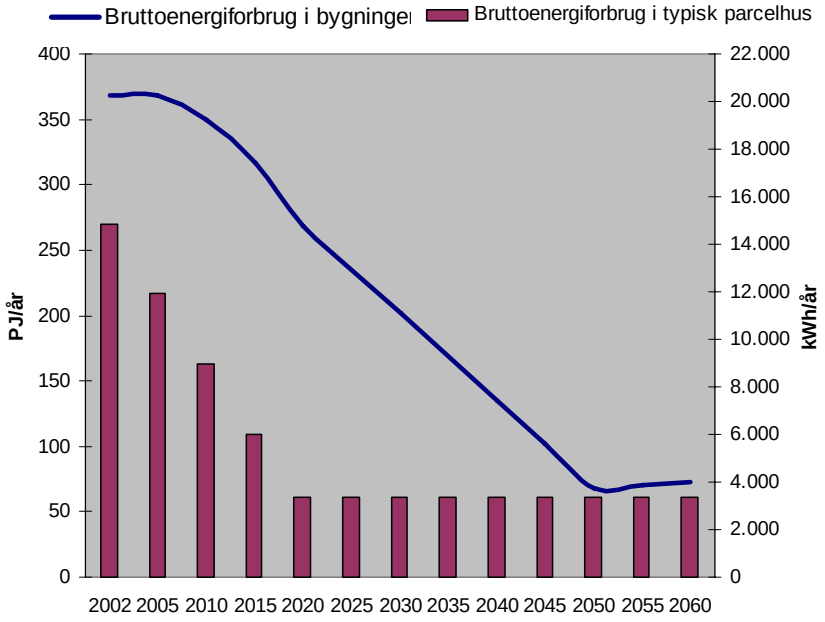
Hovedresultaterne af projektet er følgende

- **Der er god økonomi i de foreslåede energibesparelser**
- **Der kan påvises muligheder for økonomiske besparelser, der kan bringe energiforbruget i nybyggeriet ned til 20% af det nyværende niveau**
- **Ved gennemførelse af energibesparelser i forbindelse med renovering kan eksisterende bygninger over de næste 45 år også komme ned på det samme lave niveau som nye bygninger**
- **Det samlede energiforbrug i hele bygningensmassen kan reduceres til 20%**

Mulig udvikling i bruttoenergiforbruget i den samlede danske bygningsmasse

Bruttoenergiforbrug omfatter varme- og elforbrug til opvarmning, køling, ventilation og belysning (ikke-boliger). El indgår med en faktor 2,5. Bruttoenergiforbruget i bygninger udgør i dag 38 % af det samlede energiforbrug (iht. Energistatistik 2002).

Den skitserede udvikling i bruttoenergiforbruget i bygninger indbefatter at hele den nuværende bygningsmasse enten erstattes med nyt eller energirenoveres svarende til nybyggeri over en periode på 45 år (indtil 2050). Denne udvikling svarer til en reduktion i DK's samlede energiforbrug på ca. 30 %.



5 Forslag til strategi for forskning og udvikling af energieffektive teknologier i bygninger

1. Langsigtet energiplan (2005-2050)

Strategien for forskning og udvikling af energieffektive teknologier i bygninger må ses ud fra bygningers lange levetid og sammenhængen med energisystemet generelt. Derfor skitseres der indledningsvis en ønskelig langsigtet udvikling for hele energiområdet i form af følgende mål:

- Bygningsområdet uden behov for fossile brændsler ved energibesparelser (80%) og vedvarende energi (20%)
- Fjernvarme udviklet til lavt forbrug baseret på ikke-fossil-energi (affald, solvarmecentraler, biomasse, geotermisk m.m.)
- El til bygninger og industri reduceres ved elbesparelser og forsyning baseret på vind og affalds-kraftvarme samt biomasse
- Benzin og diesel til trafik reduceres ved besparelser og forsyning baseret på biomasse.

Hermed kan man have en målsætning for en sammenhængende bæredygtig udvikling på energiområdet som kan føre til fremtidens energiløsning . Implementeringen af fremtidens energiløsning skal iværksættes nu og ske i forbindelse med udskiftning og renoveringer på såvel forbrugssiden som på forsyningssiden.

2. Energipolitik nu (2005-2015)

- Udvikle teknikken til fremtidens energiløsning
- Iværksætte anvendelsen af den

3. Bygningsområdet

Udvikling af tekniske løsninger med tilhørende viden- og uddannelsessystem:

- Udvikling af nye bygninger med et bruttoenergiforbrug (fossil energi leveret direkte eller indirekte til bygningen) på:
    - 75 kWh/m^2 i 2005 (BR2005 og EU EPD i 2006)
    - 50 kWh/m^2 i 2010 (yderligere besparelser på varme- og elforbruget)
    - 25 kWh/m^2 i 2015 (yderligere besparelser på energiforbruget og lidt VE)
    - 00 kWh/m^2 i 2020 (rest-energiforbrug dækket med især kollektiv VE)
- Udvikling af renoveringsløsninger til energibesparelser i eksisterende bygninger så de fleste af dem kommer ned på stort set samme niveau som i nybyggeriet.
- Udvikling af energirigtige byggevarer – materialer, komponenter, anlæg - til nybyggeri og energirenovering

Iværksættelse af anvendelsen

- Krav i Bygningsreglement og EU-direktiv om bygninger skærpes hvert 5. år
- Energimærkning for alle nye bygninger og renoveringer samt for alle eksisterende bygninger (pr 10 år). Ny ordning i forbindelse med EU-direktiv.
- Tilstandsvurdering og langsigtede renoveringsplaner incl. finansiering. Ny ordning.

Ved en udvikling af de tekniske løsninger i løbet af de kommende 10 år vil man kunne anvende disse i såvel nye bygninger og ved renovering af eksisterende bygninger og dermed få stort set hele bygningsmassen ændret til energirigtigt byggeri i løbet af perioden 2005 til 2050. Det er meget vigtigt at der sker en energirenovering af de eksisterende bygninger i forbindelse med almene renoveringer og der skal derfor især lægges vægt på udviklingen af teknikker til vidtgående energirenovering og implementeringen af disse.

Forsknings- og uddannelsesaktiviteter i 2005-15

- Udvikling af teknikken til 2010 og 2015:
    - Højisoleret klimaskærm
    - Vinduer med mulighed for positivt energitilskud
    - Solafskærmnings- og dagslyssystemer
    - Ventilationssystemer med lavt varme- og elforbrug
    - Udluftnings- og natventilationssystemer
    - Termoaktive kølesystemer baseret på naturlig koldt vand
    - Energirigtige installationer (varme, ventilation, varmt vand) med lave varmetab og elforbrug.
- Udvikling af 'processer' (metoder) til 2005 og 2010
    - Metoder til produktudvikling af energirigtige produkter med vægt på integreret design og totaløkonomisk optimering
    - Metoder til projektering af energirigtige bygningers klimaskærm og installationer med vægt på integreret design og totaløkonomisk optimering
    - Vidensystem vedrørende ovennævnte til uddannelse, efteruddannelse og egen læring samt dokumentationsformål på alle niveauer
    - Metoder til beregning af energimæssige egenskaber og af de øvrige ydeevner svarende til alle funktionskravene af bygningsdele , systemer og især komplette bygninger baseret på integrerede modeller. Beregninger skal kunne udføres på både indledende skitseprojektniveau og på detailprojektniveau.

Umiddelbart er der akut behov for at udarbejde vejledninger til de projekterende i integreret design og totaløkonomisk optimering af de nye løsninger, der skal til for at opfylde krav til bruttoenergiramme i BR2005.

Det er også vigtigt at iværksætte forskning og udvikling i et samarbejde med institutioner og byggebranchen, der kan understøtte den foreslåede energipolitik på bygningsområdet.

Der er især grund til at fremhæve behovet for at iværksætte et nyt projekt til udvikling af klimaskærm og installationer til energirigtigt byggeri til 2015. Dette kan med fordel forankres ved BYG.DTU pga. af vores kombinerede forsknings- og uddannelsesaktiviteter med fokus på integreret design og totaløkonomisk optimering af bæredygtigt byggeri.

Bilag 1 Emneopdelt litteraturoversigt med hovedrapporter

På BYG-DTU's hjemmeside: http://www.byg.dtu.dk/ forefindes diverse rapporter udarbejdet i projekter vedrørende energibesparelser i bygninger. Gå ind på nævnte hjemmeside og kig under publications og scientific reports og det konkrete rapportnummer. Enkelte rapporter og artikler kan dog kun rekvireres ved direkte henvendelse til BYG·DTU, tlf.nr.: 45 25 17 00.

Klimaskærm
Rapport: *Udvikling af klimaskærmskonstruktioner***,** IBE R-042**.**
Rapport: *Betonelementer svarende til BR2005 energikrav*, R-077, BYG·DTU, 2004.
Rapport: *Betonelementer med bedre isolering og mindre kuldebroer*, IBE R-038 IBE.
Ph.d. afhandling: *Kuldebroer i klimaskærmskonstruktioner – målt og beregnet*, Rose, J., R-033, IBE, 1999.

Vinduer
Kompendium serie 1 – 14: *Ruders og vinduers energimæssige egenskaber*. U-001 til U-014, BYG·DTU, 1999 – 2003. Se hjemmesiden: http://www.byg.dtu.dk/vinduer/index.htm.

Rapport: *Energimæssig helhedsvurdering af vinduer*, R-035, BYG·DTU,2002

Ph.d. afhandling: *Characterisation of advanced windows – determination of thermal properties by measurements*, Duer, K., R-045, IBE, 2000.

Ventilation
Rapport: *Udvikling og optimering af et energieffektivt straightner ventilationsaggregat med indbygget chopper varmeveksler*. Teknologisk Institut, Energi. 2003. ISBN 87-7756-702-1.

Artikel: *Mekanisk ventilation kan give god energiøkonomi*. VVS nr. 14, 2003. TechMedia.

Varmeanlæg
Rapport: *Udformning og styring af energirigtige gulvvarmeanlæg*, BYG·DTU, R-063

Bygninger
Rapport: *Forsøgshuse med nye typer klimaskærmskonstruktioner - Sammenfattende beskrivelse af 6 enfamiliehuse med fokus på byggeteknik, energiøkonomisk optimering samt beregning og målinger af opvarmningsbehov*, BYG·DTU, R-069, 2004

Ph.d. afhandling: *Optimization of buildings with respect to energy and indoor environment*, Nielsen, T. R., R-036, BYG·DTU, 2002.

Generelle analyser
Rapport: *Energibesparelser i eksisterende og nye boliger*, BYG·DTU R-080, 2004

Ph.d. afhandling: *Methods for designing building envelope components prepared for repair and maintenance*, Rudbeck, C., R-035, IBE, 1999.

Bilag 2 Detaljerede projektbeskrivelser og resultater

Klimaskærm – små huse og større bygninger

Projekter:

- ”Klimaskærm til fremtidens nybyggeri – 2. fase”. (ENS j.nr. 1213/98-0012).

Rapporter**:**
Udvikling af klimaskærmskonstruktioner, IBE R-042.

Papers in Reviewed Proceedings:
Munch-Andersen, J., Svendsen, S., Tommerup, H.M.: Exterior Walls to Meet Future Danish Requirements. In: Detailing design. Towards a joined-up industry. Proceedings of the Third international conference on Detail Design in Architecture, September 12 and 13, 2000, University of Brighton, Sussex, UK. Emmitt, S. (Ed.). Leeds. Metropolitan University. Centre for the Built Environment, CeBE. 2001. pp. 95-108.

Danske tidsskrifter:
Rudbeck, C., Tommerup, H.M., Svendsen, S., Rose, J.: Del 1: Fremtidens energirigtige klimaskærm. Danvak Magasinet. March 2001, No. 3, 22-23+26.

Rudbeck, C., Tommerup, H.M., Svendsen, S., Rose, J.: Del 2: Fremtidens energirigtige klimaskærm. Danvak Magasinet. April 2001, No. 4, 24-27.

Projektets formål:
Udvikling af klimaskærmskonstruktioner (lette og tunge), der kan danne grundlag for nybyggeri med 33 % mindre varmebehov end i nuværende bygningsreglement (BR95).

Resultater:
Rapporten anviser hensigtsmæssige konstruktionsløsninger til brug i nybyggeri med væsentligt mindre varmebehov end i det nuværende bygningsreglement. Rapporten er en varmeteknisk, statisk, byggeteknisk og økonomisk beskrivelse og vurdering af en række forslag til ydervægsløsninger til fremtidens byggeri med vægt på løsninger der kan udføres af eksisterende materialer og komponenter. Foruden selve ydervæggen behandles de tilhørende fundamenter indgående, da det er særdeles vigtigt at væg og fundament passer sammen. Det sandsynliggøres, at det er teknisk muligt at opføre ydervægge med mindre varmetab end de der netop opfylder kravene i de nuværende bygningsreglementer uden væsentligt øget materialeforbrug, bortset fra isoleringsmængden. En del af de viste konstruktioner minder i deres opbygning om typer, der anvendes i dag, mens andre forudsætter, at den ene vægdel ophænges i den anden eller eventuelt i spærene.

Klimaskærm - Større bygninger

Projekter:
Betonelementer svarende til BR2005 energikrav. Har indbefattet gennemførelse af følgende to projekter:

- ”Betonelementer med bedre isolering og mindre kuldebroer”. (ENS j.nr. 1213/99-0001).
- ” Udvikling, optimering og projektering af nye typer klimaskærmskonstruktioner af betonelementer, der demonstrerer opfyldelse af energikrav i Bygningsreglement 2005”. (ENS j. nr. 1213/01-0005).

Rapporter:
Betonelementer svarende til BR2005 energikrav, BYG.DTU R-077.
Betonelementer med bedre isolering og mindre kuldebroer, IBE R-038.

Papers in Reviewed Proceedings:
Tommerup, H.M., Svendsen, S.: New Types of Building Envelope Structures of Concrete Panels. Paper for the 6 th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, June 17-19, 2002, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. Page 815-822.

Danske tidsskrifter:
Tommerup, H.M.: Fremtidens betonsandwichelementer sparer på energien. Dansk Beton. November 2000, No. 4, 16-17.

Projektets formål:
Projektet ”Betonelementer med bedre isolering og mindre kuldebroer” udviklede grundprincipperne for nye typer højisolerede betonelementer uden kuldebroer, svarende til forøget isoleringstykkelse, fjernelse af ikke-konstruktive ribber ved vinduesåbninger og vandrette samlinger samt forøget kuldebroisolering ved de konstruktive ribber.Formålet med det videregående udviklingsarbejde var at optimere og projektere konkrete nye typeløsninger til opfyldelse af de kommende energikrav.

Resultater:
Der er udviklet løsninger til betonelementbyggeri uden ikke-konstruktive ribber omkring vinduer og ved vandret samling mellem elementer, svarende til betonelementer med et ubrudt isoleringslag og begrænsede kuldebroer. Der er udviklet og vist nye generelle løsninger til fastgørelse af vinduer samt arbejdet med udvikling af tætte afdækningsløsninger i vinduesfalsen baseret på vinduestilsætninger og separat dampspærre tætning. Samtidig er der regnet detaljeret på varmetabet i vinduessamlingen og ved fundament, og anvist løsninger der reducerer varmetabet væsentligt.

De nye udviklede typeløsninger, er oplagte midler til opfyldelse af de kommende skærpede energikrav i det nye Bygningsreglement, der forventes i 2005. Projektet har vist at man vil kunne opnå væsentlige varmtekniske forbedringer med blot en mindre forøgelse af isoleringstykkelsen. De nye og på mange måder bedre løsninger vil betyde forøgede udgifter til især indbygning af vinduer i form af tilsætninger, kraftigere beslag mm, men effekten af en standardisering af vindues isætningen vil kunne begrænse disse meromkostninger betydeligt. Økonomien i de nye typer betonelementer er totaløkonomisk set fornuftig.

Vinduer

Projekter

Projekt Vindue

- Udarbejdelse af informations-materiale i forbindelse med energimærkning og tilskudsgivning vedrørende ruder og vinduer
- Udarbejdelse af beregnings- og prøvningsmæssigt grundlag i forbindelse med energimærkning, udvikling og tilskudsgivning vedrørende ruder og vinduer
- ”Optimale vinduessystemer. IEA Task 27” og ”Ekstra ansøgning vedrørende IEA Task 27. Projektledelse.”
- ”Klassifikation af ruder i energimæssig henseende – følsomhedsanalyse af metoden og tilføjelse af informationer om metoden i kompendierne om ruder og vinduers energimæssige egenskaber– Fase 1 og 2”
- ”Generel understøttelse af virksomheders produktudvikling. Fase 1 og 2”.
- ”Assistanceordning vedrørende producenters energimærkning af ruder og vinduer”
- ”Vinduessystemer med dynamiske egenskaber”.
- ”Udredning vedrørende energimærkning af forsatsvinduer, glasfacader og ovenlys”.
- ”Etablering af udstyr til karakterisering af solafskærmninger”
- ”Generel understøttelse af virksomheders produktudvikling. Fase 1”.
- "European Window Energy Rating System" EWERS.
- “Windows as renewable energy sources for Europe – Window Energy Data Network – WINDAT”
- Stimulering af udviklingen af bedre nye vinduer
- Harmonisering af grundlaget for beregning af energitilskuddet fra vinduer
- Beregning af energibesparelse ved energirenovering af vinduer

Andre projekter

Bestemmelse af de varmetekniske egenskaber af forsatsvinduer og gl. koblede vinduer – eksperimentelt og beregnet. Start 2002 until 2004. Project manager: BYG.DTU. Participants: Jacob Birck Laustsen and Svend Svendsen BYG.DTU, Thomas Kampmann Raadvadcentret.

Projektrapporter/artikler
Kompendier i serie med den fælles titel ”Ruder og Vinduers energimæssige egenskaber”

Nielsen, T.R.; Svendsen S.; Duer K.; Schultz J.M.; Mogensen M.M. and Laustsen J.B. Ruders og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 1: Grundlæggende energimæssige egenskaber. Department of Civil Engineering, DTU. U-001. 1999. Revised edition 2001.

Mogensen, M. M., Nielsen, T. R., Svendsen, S., Duer K. & Laustsen J. B. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 2: Forenklede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata. Department of Buildings and Energy, DTU. U-002. 1999. Revised edition 2001.

Duer K., Mogensen, M. M., Nielsen, T.R., Svendsen, S., Olsen, L. & Laustsen, J. B. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 3: Detaljerede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata. Department of Civil Engineering, DTU. U-003. 1999. Revised edition 2001.

Mogensen, M. M., Nielsen, T.R., Duer, K., Svendsen, S., Laustsen, J. B. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 4: Udvikling af energirigtige ruder og vinduer. Department of Civil Engineering, DTU. U-004. 1999. Revised edition 2001.

Mogensen, M. M., Nielsen, T.R., Duer, K., Svendsen, S., Laustsen, J. B. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 5: Energirigtigt valg af ruder og vinduer. Department of Civil Engineering, DTU. U-005. 1999. Revised edition 2001.

Laustsen, J. B., Svendsen, S. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 6: Data for energimærkede ruder og vinduer. Department of Civil Engineering, DTU. U-006. 2000. Revised edition 2001.

Laustsen, J. B., Svendsen, S. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 7: Ruder og vinduers energitilskud. Department of Civil Engineering, DTU. U-007. 2000. Revised edition 2001.

Duer, K., Laustsen, J. B., Svendsen, S. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 8: Vinduessystemer med dynamiske egenskaber. Department of Civil Engineering, DTU. U-008. 2003.

Laustsen, J. B., Svendsen, S. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 9: Oversigt over muligheder for udvikling af bedre ruder og vinduer. Department of Civil Engineering, DTU. U-008. 2000. Revised edition 2001.

Møgelberg, S. Ø., Noyé, P., Laustsen, J.B., Svendsen, S. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 10: Ruder med større energitilskud. Department of Civil Engineering, DTU. U-009. 2000. Revised edition 2001.

Svendsen, S., Haugaard, P., Noyé, P., Laustsen, J.B. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 11: Kantkonstruktioner med reduceret kuldebro. Department of Civil Engineering, DTU. U-010. 2000. Revised edition 2001.

Dalgaard, I., Laustsen, J.B., Svendsen, S. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 12: Vinduer med isolerede ramme-karmprofiler. Department of Civil Engineering, DTU. U-011. 2000. Revised edition 2001.

Laustsen, J.B., Noyé, P., Svendsen, S. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 13: Vinduer med smalle ramme-karmprofiler. Department of Civil Engineering, DTU. U-012. 2000. Revised edition 2001.

Jensen, B. S., Noyé, P. Svendsen, S. Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 14: Vinduer med mindre linietab i samlingen mellem vindue og mur. Department of Civil Engineering, DTU. U-013. 2000. Revised edition 2001.

Andre rapporter

Duer, K., Characterisation of advanced windows. Determination of thermal properties by measurements, R-045, IBE, 2000.

Laustsen, J. B., Svendsen, S. Bestemmelse af de varmetekniske egenskaber af forsatsvinduer og gl. koblede vinduer – eksperimentelt og beregnet. BYG·DTU. SR03-17, 2003.

Holck, O., Nielsen, T. R., Rosenfeld, J:, Svendsen, S., Duer, K. Optimale vinduessystemer-1. fase. Dansk deltagelse i IEA Task 27

Duer, K. Et energirenoveret dannebrogsvindues energimæssige egenskaber

Duer, K. Nye Dannebrogsvinduers energimæssige egenskaber

Artikler

Papers in Reviewed Journals

Duer, K., Svendsen, S., Mogensen, M. M., Laustsen, J. B.: Energy Labelling of Glazings and Windows in Denmark: Calculated and Measured Values. Solar Energy Vol. 73, No. 1, pp. 23-31, 2002.

Noyé, P., Laustsen, J. B., Svendsen, S.: Calculating the heat transfer coefficient of frame profiles with internal cavities. Nordic Journal of Building Physics. 2004

Nielsen, T. R., Duer, K. and Svendsen, S. (2000) *Energy performance of glazings and windows*. Solar Energy, Vol. 69 (Suppl.), Nos. 1-6, pp. 137-143.

Papers in Reviewed Proceedings

Laustsen, J. B., Svendsen, S.: Calculation Tool for Determining the Net Energy Gain Through Windows. Paper for the 6 th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, June 17-19, 2002, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. Page 17-22.

Laustsen, J. B., Svendsen, S.: Windows with improved energy performances Paper for ”ISES Solar World congress 2003”.

Laustsen, J. B., Svendsen, S.: Window Energy Rating System and Calculation of Energy Performance of Windows. Paper for the conference “Sustainable buildings and solar energy 2001” Brno.

Nielsen, T. R. and Svendsen, S. (2000) *Determination of net energy gain from glazings and windows*. EuroSun 2000, Copenhagen, Denmark.

Danske tidsskrifter

Svendsen, S. og Laustsen, J.B: “Energirigtigt valg af vinduer til boliger”. Danvak Magasinet 06/07 2001, Page 17 - 18.

Ventilation

Projekter

- Udvikling og optimering af et energieffektivt straightner ventilationsaggregat med indbygget chopper varmeveksler.
- Udvikling af energiøkonomisk ventilationsløsning med varmegenvinding til boliger

Projektrapporter/artikler

J.S. Jensen, T.R. Nielsen, S. Svendsen, C. Drivsholm og H. Olsen. Udvikling og optimering af et energieffektivt straightner ventilationsaggregat med indbygget chopper varmeveksler. Teknologisk Institut, Energi. 2003. ISBN 87-7756-702-1.
J.S. Jensen, T.R. Nielsen, S. Svendsen, C. Drivsholm og H. Olsen. Mekanisk ventilation kan give god energiøkonomi. VVS nr. 14 2003. TechMedia.

Projektets formål

Udvikling og optimering af et energieffektivt straightner ventilationsaggregat med indbygget chopper varmeveksler
Finansieret af Energistyrelsen under EFP-2001. Afsluttet 2003.

Det er projektets formål, at udvikle et energieffektivt ”straightner” ventilationsaggregat med integreret ”chopper” varmeveksler til parcelhuse, etageboliger, kontorer, skoler og børneinstitutioner, som er forberedt på skærpelse i de kommende bygningsreglementer, stigende el- og varmepriser og bryder med traditionel opfattelse af aggregatet.

I projektet er udviklet varmeveksler og ventilatorer i ventilationsaggregatet så effektiviteten af varmegenvindingen øges og elforbruget til ventilatorer mindskes. Desuden er systemløsninger for kanalføring integreret i bygningen undersøgt. Kanalføringen integreres skjult i klimaskærmen hvilket reducerer varmetab og pris. I varmegenvindere med høj effektivitet er der risiko for tilisning når friskluftens temperatur kommer under frysepunktet. Risikoen for tilisning af varmeveksleren i det danske klima er vurderet og metoder udvikles så tilisning undgås.

Udvikling af energiøkonomisk ventilationsløsning med varmegenvinding til boliger
Finansieret af ELFOR 2003. Igangværende.

Formålet med projektet er at udvikle energiøkonomiske ventilationsløsninger med varmegenvinding til boliger. Projektet bygger videre på erfaringer indhøstet fra et forprojekt om udvikling af energieffektivt ventilationsaggregat og udnytter erfaringer fra et projekt, hvor et antal forsøgshuse med mekaniske ventilationsanlæg med varmegenvinding er opført i henhold til udkast til bygningsreglement 2005. En stor varmebesparelse kan realiseres ved at udnytte mekanisk ventilation med varmegenvinding i boliger. Denne varmebesparelse og følgende reduktion af CO2-udledningen kan nemt blive opslugt af elforbruget til ventilatorer, hvis ikke ventilationsaggregatet er energieffektivt og det mekaniske ventilationssystem udføres hensigtsmæssigt. Forprojektet har vist at der i boliger er potentiale for at udføre ventilationsanlæg med varmegenvinding med effektivitet på omkring 85% og et specifikt elforbrug på omkring 1000 J/m3 udeluft. Indføres sådanne anlæg i boliger, kan der opnås en væsentlig besparelse på bruttoenergiforbruget til opvarmning og ventilation. For at realisere energibesparelsen er det nødvendigt at bygningsreglementets krav til effektivitet af varmegenvinding og elforbrug er tilstrækkelige, og kan opfyldes i praksis. Det er derfor nødvendigt at løse en række praktiske problemer der tit forbindes med mekaniske ventilationsanlæg.

Varmeanlæg (Gulvvarme)

Projekt

- Energirigtig gulvvarme til BR2005 bygninger, EFP 2001

Artikler/ Projektrapporter

Weitzmann, P., Kragh, J, Roots, P., Svendsen, S.: Modelling .oor heating systems using a validated two-dimensional ground-coupled numerical model. Building and Environment, 2004

Udformning og styring af energirigtige gulvvarmeanlæg, Kragh, J., Weitzmann, P. Svendsen, S., BYG·DTU, R-063.

Projektets formål

Der er i projektet foretaget en række undersøgelser af udformningen og styringen af gulvvarmesystemer med henblik på at minimere varmeforbruget i BR05 bygninger med gulvvarme. På baggrund af resultaterne gives følgende generelle anbefalinger.

Anbefalet udformning og styring af gulvvarmeanlæg:
Ved at reducere klimaskærmens varmetab og ventilationstabet for en given bolig reduceres den nødvendige effekt, der skal afgives fra gulvoverfladen. Derved kan gulvvarmetemperaturen nedsættes, hvorved der lagres mindre termisk energi i gulvkonstruktionen. Varmeafgivelsen fra gulvoverfladen kan derved hurtigere stoppes i tilfælde af fx. større solindfald eller intern varmelast.
Følgende punkter anbefales generelt for dimensionering og drift af et energirigtigt gulvvarmesystem i BR05 bygninger:

- Terrændækket udføres med en U-værdi på maks. 0,12 W/m²K (fx. 300 mm isolering plus 200 mm kapillarbrydende lag af grus)
- Fundamentet udføres med et linietab der maks. er 0,12 W/mK, som angivet i oplægget til BR05.
- De skærpede U-værdi-krav til de øvrige klimaskærmskonstruktioner angivet i oplægget til BR05 overholdes.
- Der benyttes ventilation med effektiv varmegenvinding.
- Let gulvvarme anbefales (hvor det er muligt) frem for tung gulvvarme grundet en hurtigere reaktionstid og derved bedre styringen af rumtemperaturen.
- Fremløbstemperaturen til gulvvarmen indstilles ved en så lav temperatur at rumtemperaturen netop kan opretholdes i kolde perioder. Fx. 30ºC til 35ºC.
- Styringen af gulvvarmesystemet kan med fordel udføres med en udetemperaturstyring fremfor en konstant fremløbstemperatur hele året.
- I rum der ikke benyttes regelmæssigt, kan rumtemperaturen med fordel nedsættes. For hver grad rumtemperaturen nedsættes spares 10 - 15 % i varmeforbrug i rum opvarmet med gulvvarme.
-

Køleanlæg (Termoaktive konstruktioner)

Projekter
- Termoaktive konstruktioner: Fase 1 - forprojekt, EFP 2001
- Komfortforhold og lastudjævning ved energieffektiv køling med termoaktive konstruktioner - analyse og praktiske forsøg, Elfor PSO 2003
- PhD arbejde om termoaktive konstruktioner

Rapport
Termoaktive konstruktioner: Fase 1 – forprojekt, Energistyrelsen, maj 2002
De øvrige projekter er endnu ikke afrapporteret

Projekters formål
Det er formålet med det gennemførte og de igangværende projekter at beskrive virkemåden af og mulighederne for introduktion af termoaktive konstruktioner i dansk (kontor)byggeri.

Termoaktive konstruktioner er en måde at sikre køling og opvarmning i kontorbyggeri, ved at benytte slanger, som er integreret i etageadskillelserne. Termoaktive konstruktioner kan benyttes i stedet for traditionel aircondition, til at sikre det termiske indeklima specielt om sommeren. Systemets absolutte styrke er, at det kan benytte lavtemperaturdrift til opvarmning og højtemperaturdrift til afkøling. Hermed kan der eksempelvis benyttes grundvandskøling og frikøling med natteluft. Samtidig kan massen i bygningen sikre en lastudjævning over døgnet, som gør at køleanlægget ikke skal dimensioneres til spidslast, men kan nøjes med en mindre kapacitet.

I det indledende projekt blev der, gennem en række termiske modelleringer i TRNSYS og Heat2, fokuseret på de termiske forhold i selve dækket og i det rum, som det køler/opvarmer. Det blev fundet, at systemet har et stort potentiale i kontorbyggeri.

De igangværende projekter fokuserer især på opbygningen af en forsøgsopstilling, som skal verificere kølekapaciteten af et termoaktivt dæk baseret på modificerede præfabrikerede huldækselementer.

El-udstyr

Projekt
- Målinger af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til Bygningsreglementet 2005 (ELFOR PSO 2003 projektnr. 335-28).

Rapporter
Rapporter på projektets del 1 er pt. under udarbejdelse. Færdiggøres i løbet af september 2004)

Projektets del 2 søges bevilget i forbindelse med PSO-midlerne 2005. Dette projekt vil omhandle udskiftning af energifråsende installationer og apparater med lavenergiprodukter og på denne baggrund indhente driftserfaringer og målinger, der skal bruges til dokumentation for el-besparelser og betydningen for varmeforbruget og til validering af beregningsmodeller.

Projektets formål
I projektet foretages målinger af bruttoenergiforbrug i en række beboede forsøgshuse svarende til BR20005 energikrav; dvs. forbruget til rumopvarmning, varmt brugsvand, virkningsgraden af varmeanlægget samt målinger af elforbrug til ventilationsanlæg, pumper i varme- og varmtvandsanlæg, hårde hvidevarer mv. Formålet er at analysere de fremkomne måleresultater og erfaringer med henblik på at rette fejl og sammenligne med de kommende krav til bruttoenergiforbruget i nybyggeri, og derigennem vise at metoderne til at eftervise kravene ikke er vanskelige at benytte og giver store muligheder og frihedsgrader i forbindelse med at lave nye og bedre løsninger. Desuden er formålet at indsamle driftserfaringer for de elforbrugende installationer for derigennem at belyse deres betydning for varmebehovet, dvs. at der foretages vurderinger af hvor stor en del af elforbruget til hårde hvidevarer, belysning mv. der kommer til nytte i opvarmningen af huset, og mere overordnet hvordan elforbruget påvirker varmeforbruget. Formålet er også at udarbejde beskrivelser af hvordan man kan designe og opføre byggeri, der kan opfylde kravene til varme- og elforbruget på en hensigtsmæssig måde og benytte de konkrete huse som eksempler herpå.

Bygninger

ISOLERET KLIMASKÆRM - Småhuse

Projekt

- ”Optimering af klimaskærm samt varme- og ventilationsanlæg i et typehus mht. energiforbrug, indeklima og økonomi” (ENS j. nr. 1213/99-0002)

Rapporter:
”Typehus svarende til BR-2005 – energikrav. Del 1. Optimering af konstruktioner/systemer”, BYG.DTU R-001

”Typehus svarende til BR-2005 – energikrav. Del 2. Måling af opvarmningsbehov for typehus”, BYG.DTU R-023

Projektets formål
Projektets formål var at gennemføre en optimering af klimaskærmskonstruktioner samt varme- og ventilationsanlægget i et parcelhus med udgangspunkt i forskellige scenarier svarende til et skærpet energirammekrav. Udgangspunktet var det nuværende krav som angivet i BR95, og formålet var således at udvikle løsninger således at parcelhuset kunne holde sig inden for energirammer på henholdsvis 67 % og 50 % af ovennævnte. Det var et krav i processen, at husets form og indvendige areal skulle bibeholdes.

Resultater
Gennem i første omgang detaljerede beregninger og simuleringer af bygningens indeklima og opvarmningsbehov, og siden detaljerede målinger at husets varmetekniske forhold, er det dokumenteret at parcelhuset har et opvarmningsbehov som er ca. 35 % lavere end nu gældende energiramme. Projektet har behandlet problemerne forbundet med en totaløkonomisk optimering af en bygning og giver dermed en vurdering af en lang række energibesparende tiltag ud fra disses pris/ydelsesforhold. Ydermere giver projektet oplysninger om merprisen ved at reducere energiforbruget til forskellige niveauer af nugældende energiramme og dermed er projektet med til at fremskaffe et grundlag for en rationel beslutning om et fremtidigt energimæssigt krav til bygninger. Sidst men

ikke mindst dokumenterer projektet at der uden væsentlige ændringer i bygningens udseende, økonomi og indeklima kan opnås en besparelse i opvarmningsbehovet på mere end 33 % i forhold til nugældende energiramme.

Projekt

- ”Forsøgshuse med nye typer klimaskærmskonstruktioner” (ENS j. nr. 1213/00-0011)

Rapporter:

”Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner. Del 1: Konstruktioner/systemer. Byggesystem: Lette ydervægselementer i stålskelet”, BYG.DTU R-040

”Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner. Del 2: Måling af opvarmningsbehov. Byggesystem: Lette ydervægselementer i stålskelet”, BYG.DTU R-065

”Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner. Del 1: Konstruktioner/systemer. Byggesystem: Skalmurede træskeletelementer”, BYG.DTU R-054

”Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner. Del 2: Måling af opvarmningsbehov. Byggesystem: Lette ydervægselementer i stålskelet”, BYG.DTU R-065

”Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner. Del 1: Konstruktioner/systemer. Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer”, BYG.DTU R-056

”Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner. Del 2: Måling af opvarmningsbehov. Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer”, BYG.DTU R-060

”Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner. Del 1: Konstruktioner/systemer. Byggesystem: Fuldmuret”, BYG.DTU R-066

”Forsøgshuse med nye typer klimaskærmskonstruktioner. Sammenfattende beskrivelse af 6 enfamiliehuse med fokus på byggeteknik, energiøkonomisk optimering samt beregninger og målinger af opvarmningsbehov”, BYG.DTU R-069

Papers in Reviewed Proceedings

Tommerup, H.M., Svendsen, S., Rose, J.: Experimental Buildings with New Types of Building Envelope Structures. Paper for the 6 th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, June 17-19, 2002, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. Page 851-858.

Danske tidsskrifter

Forsøgshuse svarende til forventede energikrav i BR2005. Artikel i VVS-bladet nov. 2004.

Projektets formål

Projektets overordnede formål var at dokumentere den varmetekniske ydeevne for fremtidens klimaskærmskonstruktioner således at det blev eftervist at de forventede skærpelser til bygningsreglementet kunne udføres byggeteknisk forsvarligt og indenfor fornuftige økonomiske rammer.

Det var hensigten at projektet skulle medvirke til at styrke udviklingen af bedre klimaskærmskonstruktioner ved blandt andet at vise gode eksempler på integration af vinduer i de nye typer klimaskærmskonstruktioner samt illustrere hvordan husets energisystemer (gulvvarme- og ventilationsanlæg) kunne udnyttes bedst muligt og derved medvirke til at nedbringe husets varmebehov. Desuden var formålet at underbygge disse konstruktioners varmetekniske ydeevne ved at foretage detaljerede målinger af energiforbrug mv.

Resultater
Der er projekteret 5 forsøgshuse som alle lever op til de forventede skærpede krav til energirammen i BR-2005, 4 af disse er opført forskellige steder i Danmark. Forsøgshusene dækker de mest almindeligt anvendte byggesystemer som benyttes i forbindelse med nybyggeri af én-familiehuse i Danmark, og der er tale om arkitektonisk helt traditionelle løsninger.

Det er dokumenteret gennem detaljerede beregninger og målinger at forsøgshusene lever op til de forventede skærpede krav. Det er ligeledes dokumenteret at indeklimaet ikke kompromitteres som følge af den forøgede isoleringsgrad, lufttæthed og anvendelse af mekanisk ventilation med varmegenvinding.

De økonomiske forhold vedrørende forsøgsbygningerne er belyst, og der er gjort rede for de meromkostninger som de energibesparende tiltag medfører. Meromkostningerne er sat i relation til energibesparelserne, og generelt viser disse sammenligninger at der er en god økonomi i investeringerne.

Med projektet kan det altså sammenfattende konkluderes, at det er muligt at reducere opvarmningsbehovet i typiske én-familiehuse med 33 % eller mere, uden at dette har væsentlige arkitektoniske, byggetekniske eller økonomiske konsekvenser.

Projekt (Ph.d. projekt)
- Optimering af bygninger med hensyn til energiforbrug og indeklima

Projektets formål:
I dette projekt er udviklet en metode til optimering af bygninger der kan bruges i den tidlige fase af projekteringen. Målet er at optimere bygningerne med hensyn til ydeevne og totaløkonomi. Dette betyder, at de krav der stilles til bygningen af myndighederne og bygherren skal tilfredsstilles med den laveste totaløkonomi. Optimeringen udføres med hensyn til energi forbrug, termisk indeklima og dagslysforhold.

Artikler
Nielsen, T. R. and Svendsen, S. (2002) *Life cycle cost optimization of buildings with regard to energy use, thermal indoor environment and daylight*. International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings. Electronic journal. Vol. 2. Web-adresse: http://www.byv.kth.se/avd/byte/leas/

Papers in Reviewed Proceedings
Nielsen, T. R. and Svendsen, S. (2002) *Performance optimization of buildings.* Proceedings of the 6th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. (Gustavsen, A. and J. V. Thue. editors), Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. pp. 563-570.

Rapporter
Ph.d. afhandling: Optimization of buildings with respect to energy and indoor environment, R-036, BYG·DTU, 2002.
Resultater:
Metoden er implementeret i et design værktøj. Værktøjet benytter en optimeringsmetode til at udføre automatiske parametervariationer af bygningens design for at finde den geometri og de valg af bygningskomponenter, der minimerer bygningens totaløkonomi med hensyn til energiforbrug, termisk indeklima og dagslysforhold. Ved hjælp af en grafisk brugergrænseflade defineres de valg der kan foretages blandt alternative bygningskomponenter, geometriske parametre og krav til ydeevne, der indgår i optimeringen af bygningens udformning.

Generelle analyser

Projekt
Energibesparelser i eksisterende og nye boliger (Udredningsprojekt finansieret af Rockwool International).

Rapporter
Rapport: *Energibesparelser i eksisterende og nye boliger*, BYG·DTU R-080, 2004

Projektets formål
Projektets formål har været, dels at redegøre for de tekniske energibesparelsesmuligheder der findes i eksisterende og nye boliger, dels at behandle forskellige økonomiske metoder til vurdering af energibesparelsestiltag og foretage økonomiske beregninger af privat- og samfundsøkonomien i de energibesparende tiltag samt vurdere besparelsespotentialet.
At eftervise økonomien i energibesparelser i eksisterende bygninger og nybyggeriet, er for nybyggeriets vedkommende væsentligt i forbindelse med fastsættelse af skærpede energikravene i nye energibestemmelser i år 2005. For det eksisterende byggeri er opgaven vigtig i forbindelse med fastsættelse af krav til renovering med baggrund i EU-direktiv om bygningers energimæssige ydeevne.

Resultater
Det kan betale sig at indføre energibesparelser i både nybyggeriet og det eksisterende byggeri. Der er desuden fornuftig økonomi i at man i forbindelse med større renoveringer, så vidt muligt opdaterer de renoverede bygningsdele til et niveau, der svarer til kravet til nybyggeriet. Meget peger derfor i retning af at det ville være hensigtsmæssigt med væsentlige stramninger af energikravene til bygninger. Potentialet for energibesparelser er stort og kan reducere energiforbruget og dermed CO_2-udledningen markant. Et lavere energiforbrug vil samtidig mindske sårbarheden over for stigende energipriser og øge forsyningssikkerheden. Samtidig opnås der en række miljøfordele, og energibesparelsesindsatsen kan endvidere være med til at fremme lovende teknologiske løsninger og bidrage til en bæredygtig udvikling.

Det nye bygningsdirektiv foreskriver fastsættelse af minimumskrav til den energimæssige ydeevne af store bygninger, der skal gennemgå omfattende renoveringsarbejder, og for at sikre at de rentable energibesparelser bliver gennemført, anbefales det at der stilles krav om at store bygningers energimæssige ydeevne bliver opgraderet til gældende niveau for nye bygninger ved renovering. Det samme bør sikres for øvrige bygninger, herunder småhuse. På denne baggrund og under antagelse

af at energiforbruget til rumopvarmning reduceres med 30 % i 2005, 2010, 2015 og 2020, viser beregninger på den danske boligmasse at det samlede varmebehov kan reduceres med 80 % over de næste 45 år (frem til 2050) samtidig med at boligarealet forøges med 27 %. Projektet beskriver altså en realistisk udvikling, der vil gøre varmeforbruget i 2050 5 gange mindre end i dag.