

FEBRUAR 2012  
DANSK ENERGI  
PSO-ELFORSK J.NR. 464-05, PROJEKT NR. 338-041 OG J.NR. 464-10, PROJEKT NR.  
343-011

# FULDSKALA DEMONSTRATION AF TERMOAKTIVE KONSTRUKTIONER

HOVEDRAPPORT



 **DTU Byg**  
Institut for Byggeri og Anlæg

  
**Spæncom**

 **MIDDELFART  
SPAREKASSE**

**COWI**



FEBRUAR 2012  
DANSK ENERGI  
PSO-ELFORSK J.NR. 464-05, PROJEKT NR. 338-041 OG J.NR. 464-10, PROJEKT NR.  
343-011

# FULDSKALA DEMONSTRATION AF TERMOAKTIVE KONSTRUKTIONER

HOVEDRAPPORT

PROJEKTNR. P-63292  
DOKUMENTNR. 01  
VERSION 01  
UDGIVELSESDATO 10-02-2012  
UDARBEJDET PKO  
KONTROLLERET RMH  
GODKENDT PKO



# INDHOLD

Forord	7
Summary	8
Resumé	10
1 Indledning	12
1.1 Baggrund og teknologibeskrivelse	12
1.2 Formål	15
2 Demonstrationsprojektet	17
2.1 Demonstrationsbygningen - Middelfart Sparekasses nye hovedsæde	17
2.2 Demonstrationsforløbet	20
3 Resultater	26
3.1 Termoaktive konstruktioners køleydelse	26
3.2 Termoaktive konstruktioners varmeydelse	29
3.3 Indeklima	29
3.4 Energiforbrug	37
4 Konklusion og perspektiver	39
5 Referencer	42
6 Formidling af resultater	43



## Forord

Projektet "Fuldskala demonstration af termoaktive konstruktioner" er støttet af Dansk Energi - Net gennem energiforskningsprogrammet PSO - F&U 2006 suppleret af tillægsbevilling fra PSO - F&U 2011. Projektet er gennemført af følgende projektkonsortium med COWI som projektleder:

COWI A/S:	Reto M. Hummelshøj & Peter Kaarup Olsen
DTU-BYG, ICIEE:	Bjarne W. Olesen
SPÆNCOM:	Finn Passov
MIDDELFART SPAREKASSE:	Erik H. Nissen

Denne hovedrapport er en sammenfatning af projektets resultater, som yderligere er dokumenteret i form af målerapporter vedlagt som en samlet bilagsrapport. Lige efter hovedrapporten findes endvidere et appendiks med en produktbrochure + artikel.

Projektgruppen påtager sig ikke ansvar for videre brug af projektets resultater.

Henvendelse vedrørende projektet kan ske til COWI:

Reto M. Hummelshøj:	rmh@cowi.dk
Peter Kaarup Olsen:	pko@cowi.dk

Februar 2012

## Summary

This project "Full-scale demonstration of thermo-active building system – Phase 3" has showed the way for new buildings (offices etc.) with increased requirements to energy performance due to the new building regulations.

The project idea is to use prefabricated thermo-active structures as concrete slabs with embedded plastic pipes (PEX). The active concrete slabs are used both as cooling and heating system, peak load limiting (levelling out the peak load) and as energy storage.

Thermo-active building systems (TABS) contribute decisively to meet the new energy requirements and offer new exciting possibilities for the building design. The term "thermo-active structures" is used because the building structure is actively influenced inside by cooling/heating, while the heat and cooling accumulating capacity of the concrete is utilized. This technique ensures an energy-efficient building with pleasant indoor climate, since it acts as floor heating in the winter and cooling ceiling in summer. Dynamic activation of thermal mass is an optimal solution used in many countries for many years.

Based on results from a DTU pilot project, the building owner, Middelfart Sparekasse (a Danish bank), decided to use thermo-active structures for a new 5380 m<sup>2</sup> large headquarter. The objective was to reduce electricity consumption for cooling and ventilation by 75-80 %, thereby making it easier to comply with the more stringent energy requirements.

Following commissioning of the construction work, the project carried out technical monitoring and indoor climate satisfaction tests.

Significant energy savings using this technology have been documented. Electricity consumption for cooling and ventilation was reduced by about 12-13 kWh/m<sup>2</sup>/year, corresponding to about 60%. The electricity savings have a potential to become even higher. The actual consumption is due to a number of factors. 1) The building has not only natural ventilation, but also mechanical ventilation, which has been in operation more than expected. 2) The building architecture contains a significant proportion of glass, causing increased cooling demand. 3) Commissioning of cooling and ventilation systems has been ongoing during the measurement period and is still ongoing. So in that light, 60% electricity saving is a good result.



The design was evaluated and is now considered as fully developed. The production, PEX-pipes, installation and assembly methods are optimised as far as possible and the technology is commercialised and ready for use in the field.

The primary objective was to demonstrate the actual principle of thermo-active structures: The thermo-active slabs, that actively influences the building structure with an integrated system which cools the building e.g. by using outdoor air, groundwater or seawater as cooling source. During the night, this cooling water, which is typically at 19°C, removes the "excess temperature", which the structure has amassed over the course of the day. And because the plastic pipes are laid in the ceiling, cooling will not have a significant effect on the floor above. The thermo-active slabs can also be used for heating. The advantage is that the water only needs to be heated to 30°C, compared with approx. 60°C in radiator systems, although these can be used for supplementary heating.

It is documented that TABS can yield a constant cooling performance of at least 30 W/m<sup>2</sup> even with false ceiling covering 70-80% of the area under the thermo-active slabs.

TABS are in many ways an optimal and indispensable solution, which not only minimizes electricity consumption for cooling and ventilation, but also has significant benefits in terms of improved indoor climate and in longer term large total economic gains. With the use of TABS in office buildings, the typical indoor climate discomfort associated with air cooling and ventilation (drag, noise, dust) are avoided, and in buildings with natural ventilation, the large temperature fluctuations throughout the day can be avoided. In both cases, this can result in increased productivity by the employees.

With thermo-active slabs it is possible to achieve lower construction costs than with conventional solutions, because the extra cost to floor structure and control system is compensated by savings on the technical installations (ventilation, cooling system, automation etc.). The building owner has more options at disposal regarding the building design, because energy savings make it easier to meet the energy performance requirements in the new building.

## Resumé

Dette projekt "Fuldskala demonstration af termoaktive konstruktioner - Fase 3" har vist vejen for de nye bygninger (kontorer osv.) med øgede energikrav, jf. det nye bygningsreglement.

Projektets idé baserer sig på brug af præfabrikerede termoaktive konstruktioner som dækelementer af beton med indstøbte plastrør (PEX). De aktive betonelementer anvendes både som køle- og varmesystem, spidseffektbegrænsning (effektudjævning) samt energilager og kaldes også TABS (Thermal Active Building Systems).

Termoaktive konstruktioner bidrager afgørende til at opfylde de nye energikrav og giver nye spændende muligheder for opbygning af byggeprojektets konstruktion. Udtrykket termoaktive konstruktioner benyttes, fordi man aktivt påvirker konstruktionen med indvendig køling/opvarmning, samtidig med at betonens varme- og kuldeakkumulerende evne udnyttes. Denne teknik garanterer en energibesparende bygning med behageligt indeklima, idet den virker som gulvvarme om vinteren og som køleloft om sommeren. Dynamisk aktivering af termisk masse er en optimal løsning brugt i mange lande gennem mange år.

Baseret på resultater fra et pilotprojekt på DTU valgte Middelfart Sparekasse at bruge termoaktive konstruktioner til det nye 5380 m<sup>2</sup> store hovedkvarter. Målet var at reducere elforbruget til køling og ventilation med 75-80% for derved at gøre det lettere at overholde de strengere energikrav. Efter ibrugtagningen af bygningen er der i dette projekt udført teknisk overvågning, måling af energiforbrug og indeklima suppleret med indeklimatilfredshedsundersøgelser.

Betydelige energibesparelser er blevet dokumenteret for denne teknologi. Elforbrug til køling og ventilation er blevet reduceret med omkring 12-13 kWh/m<sup>2</sup>/år, svarende til ca. 60%. At besparelsen ikke har været endnu højere skyldes en række forskellige faktorer. 1) Bygningen har ikke kun naturlig ventilation, men også mekanisk ventilation, der har været i drift mere end forventet. 2) Bygningens arkitektur indeholder en markant andel glas, der giver anledning til øget kølebehov. 3) Indkøring af køle- og ventilationsanlæg har pågået i måleperioden og pågår stadig. Så set i det lys er en 60%'s elbesparelse et godt resultat.

Designet er blevet vurderet og anses som fuldt udviklet. Produktionen, plastrør, installation og samlingsmetoder er optimeret mest muligt, og teknologien er kommercialiseret og klar til brug i nybyggeri.

Det primære formål var at demonstrere princippet i praksis: Termoaktive betondæk, der aktivt påvirker bygningskonstruktioner med et integreret system, som køler bygningen for eksempel ved brug af udeluft, grundvand eller havvand. I løbet af natten fjerner kølevandet, som typisk er 19°C, "overtemperaturen", som konstruktionerne (den termiske masse) har akkumuleret i løbet af dagen. Og fordi plastic-slangerne er placeret i loftskonstruktionen, vil afkøling ikke have en betydelig påvirkning på gulvet ovenover. Termoaktive dæk kan også bruges til opvarmning. Fordelen er, at vandet kun skal opvarmes til 30°C sammenlignet med ca. 60°C i almindelige radiatorsystemer, selvom disse dog kan bruges til supplerende opvarmning.

Det er dokumenteret, at det med termoaktive konstruktioner er muligt at opnå en konstant køleydelse på mindst 30 W/m<sup>2</sup> selv med nedhængt loft, der dækker 70-80% af arealet op mod undersiden af termodækket.

Termoaktive konstruktioner er på mange måder en optimal og nødvendig løsning, der ikke kun minimerer elforbruget til køling og ventilation, men også har store fordele i form af forbedret indeklime samt på sigt store totaløkonomiske gevinster. Med brugen af TABS på kontorarbejdspladser undgås endvidere de typiske indeklimagener forbundet med luftkøling og ventilation (træk, støj, støv), og i byggeri med naturlig ventilation undgås de for store temperatursving over dagen, hvilket i begge tilfælde resulterer i øget produktivitet.

Med termoaktive termodæk er der mulighed for en lavere anlægspris end konventionelle løsninger, fordi merudgiften til etagedæk og styring opvejes af besparelser på de tekniske installationer (ventilation, køleanlæg, automation etc.). Bygherren får større dispositionsfrihed til sit bygningsdesign, fordi energibesparelsen gør det lettere at opfylde energikrav til nybyggeriet.

# 1 Indledning

Denne hovedrapport sammenfatter resultaterne af PSO-projektet *Fuldskala demonstration af termoaktive konstruktioner*. For et hurtigt overblik henvises til resumé først i rapporten. Projektets detaljerede måleresultater er samlet i en bilagsrapport bestående af en række selvstændige målerapporter. Endvidere er der udarbejdet en produktbrochure samt artikel. Denne er vedlagt som appendiks lige efter hovedrapporten.

## 1.1 Baggrund og teknologibeskrivelse

En forudsætning for rationel energiudnyttelse og øget indpasning af naturlige energikilder i vore energisystemer er, at disse - især på forbrugssiden - udformes således, at det bedst mulige samspil opnås.

Indeklimaet har en afgørende indflydelse på folks komfort og produktivitet. Flere undersøgelser har vist, at for høj rumtemperatur og for lidt ventilation øger utilfredsheden og sænker arbejdsevnen. Da omkostningerne til personale i et moderne kontorbyggeri ofte er en faktor 100 større end energiomkostningerne, er det yderst vigtigt, at besparelserne på energien ikke sker på bekostning af indeklimaet. I fremtiden vil der være et øget krav til køling i kontorlokaler. For at undgå en stigning i energiforbrug og omkostninger er det vigtigt, at dette sker med systemer, der er optimeret med hensyn til energieffektivitet, anvendelse af vedvarende energikilder og indeklima, dvs. systemer, der kan arbejde ved medie temperaturer tæt på den ønskede rumtemperatur.

Gennem de senere år er elforbruget til køling af kontor- og institutionsbyggeri steget væsentligt, og det er i dag normalt, at køling og ventilation tegner sig for et årligt elforbrug på typisk ca. 21 kWh/m<sup>2</sup>, svarende til over 70% af det tilladte primærenergiforbrug, jf. de nye BR-krav. Elforbruget til belysning er ofte 10-15 kWh/m<sup>2</sup> eller 35-50% af det tilladte primærenergiforbrug. Derfor er det for erhvervsbyggeri med en tilladt primærenergiramme på 71,3 kWh/m<sup>2</sup>/år blevet både vanskeligt og dyrt (både privat og samfundsøkonomisk) at opfylde de nye krav, hvis ikke mere radikale løsninger tages i brug. Der er varslet stramninger af det gældende bygningsreglement BR10, og det er muligt, at alt nybyggeri skal opfylde

lavenergibygning klasse 2015. Dermed er behovet for at ændre traditionen i den danske byggebranche mod nye energieffektive løsninger udtalt.

Projektet forholder sig konkret til at reducere elforbruget til køling og ventilation i bygningssektoren, som tegner sig for en stor andel af det samlede elforbrug i bygninger. Projektet dokumenterer, at elforbrug til køling og ventilation med brug af termoaktive konstruktioner (i samspil med frikøling) kan reduceres med 75-80% i forhold til nuværende praksis med traditionelt kompressorsystem.

#### Idé og koncept

Projektets idé baserer sig på brug af præfabrikerede termoaktive konstruktioner som dækelementer af beton med indstøbte plastrør (PEX). De aktive betonelementer anvendes både som køle- og varmesystem, spidseffektbegrænsning (effektudjævning) samt energilager og kaldes også TABS (Thermal Active Building Systems).

Det termoaktive består i, at man aktivt påvirker selve konstruktionen med et integreret system, der nedkøler bygningen ved hjælp af for eksempel grundvand eller havnevand, uden brug af andet end en cirkulationspumpe. Kølevandet, der typisk er 19°C, vil i løbet af natten fjerne varme (overtemperatur), som konstruktionen har lagret i løbet af dagen.

PEX-slangerne er placeret i loftet - og fordi vandet trods alt ikke er koldere, vil nedkølingen ikke påvirke gulvet oven over væsentligt. Termohuldækket kan også bruges til basis rumopvarmning. Fordelen er, at vandet kun skal varmes op til 30 grader, mod ca. 60 grader i radiatorsystemer, som dog kan benyttes som supplementsvarme.

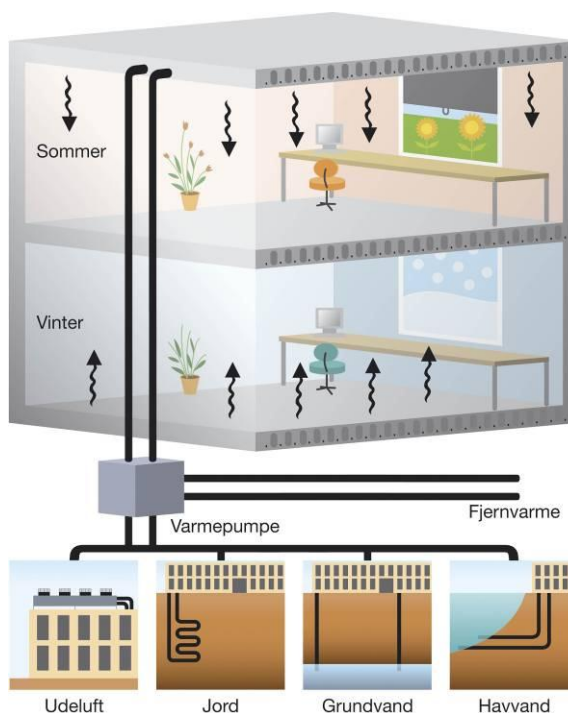
I Danmark er vandbåret køling i form af in-situ støbte gulvkølekonstruktioner blevet anvendt til køling og opvarmning med gode resultater. Med præfabrikerede betonelementer vil udviklingen af danske TABS nå endnu et vigtigt skridt videre, og der åbnes op for en langt højere udbredelsesgrad af konceptet og herved erhvervsudvikling. Dette skyldes, at elementerne kan øge ydeevnen med en faktor 3 i forhold til in-situ støbte gulvløsninger, når varmeudvekslingen foregår både op- og nedad, og samtidig muliggøres drift med en medietemperatur meget tæt på den ønskede rumtemperatur.

#### El-besparelser og øget forsyningsikkerhed

Termoaktive konstruktioner gør det muligt dels at anvende køling med høj medietemperatur og dels at køle dynamisk, dvs. køle om natten i stedet for om dagen, hvor behovet eksisterer. Køling ved høj medietemperatur betyder, at traditionelle mekaniske køleanlæg vil kunne køre væsentligt mere effektivt eller helt kan undgås, for i stedet at anvende naturlige kilder som luft (frikøling), grund- og havvandskøling og varmepumper med kuldager i jord osv. Dette er en af termoaktive konstruktioners store fordele.

På det mere overordnede plan vurderes det endvidere, at TABS kan få en vigtig rolle i forhold til lastudjævning og centralt styret drift. Lastudjævningen består i, at den termiske masse i en bygning udnyttes som buffer. Derved flyttes kølebehovet væk fra tidspunkter med høj eltarif i elnettet (fremtidigt forbrugerscenarie). Herved

øges det samlede forsyningssystemets fleksibilitet med mulighed for integration af vedvarende energi som f.eks. øget vindkraft og jordvarme. Og det kan give grundlag for lavere omkostninger til el for forbrugeren.



Figur 1 Populær fremstilling af TABS virkemåde og eksempler på køleforsyningsalternativer

I en bygning med termoaktive konstruktioner kan der opnås el-besparelser til ventilation, idet ventilationsluft ikke skal anvendes til at fjerne eller tilføre varme, men blot opfylde kravene til luftskifte. Man kan derfor klare sig med friskluft tilført som naturlig ventilation eller mekanisk ventilation med et minimalt luftskifte, eventuelt udført som personlig ventilation ved 18-20°C. Begge ventilationsprincipper forudsætter, at køling varetages af de termoaktive konstruktioner.

#### Indeklimafordele

Konceptet har store indeklimamæssige fordele og giver derfor også en bedre produktivitet i virksomheden. Termoaktive konstruktioner giver generelt stabile rumtemperaturer. De velkendte problemstillinger fra traditionel mekanisk ventilation med køling som støj, træk og mikroorganismer undgås helt, når varmen fjernes lydløst gennem indstøbte rør i gulv og loft. TABS fungerer også ideelt sammen med naturlig ventilation og kan hindre de problemer, man har set med store temperatursving og træk.

#### Reducerede bygge- og anlægsomkostninger

Ud over besparelserne i forhold til energiforbrug har brugen af TABS også andre økonomiske fordele. Først og fremmest er det muligt at undgå eller reducere højden af det nedhængte loft på hver etage. Nedhængte loft skjuler bl.a. ventilationsluftkanaler, og kan dette undværes, fås ca. 50 cm ekstra fri loftshøjde per etage, hvilket i en 6-etagers bygning svarer til en hel ekstraetage. Hvis denne undværes, kan der derfor også spares byggematerialer. Endelig bliver anlægsprisen samlet set

lavere på grund af de reducerede udgifter til køle- og varmeanlæg, og anlægsstørrelsen reduceres på grund af betonens lastudjævnende effekt, dvs. udnyttelse af bygningens termiske masse, som kan reducere størrelsen på køleanlægget med ca. 1/3.

Flere steder i EU har man opdaget TABS' store fordele, og byggerier baseret på in-situ støbte betondæk benyttes bl.a. i Tyskland, Schweiz, Østrig og (til dels) Danmark, mens præfabrikerede dæk tidligere kun er benyttet i meget begrænset omfang.

Sammenlignet med in-situ støbte betondæk vil præfabrikerede elementer lettere kunne indpasses i dansk byggetradition og byggeriets metoder og herved kunne reducere omkostninger og tiden til installation på byggepladsen.

Nye kontorbygninger kan derfor blive billigere både at opføre og i den daglige drift.

Projektfaser /  
udviklingsforløb

I EFP-2001 projektet "Termoaktive konstruktioner Fase 1 - forprojekt" [1] blev det dokumenteret, at termoaktive konstruktioner er velegnede til energieffektiv energianvendelse også under danske forhold. Det blev her konkluderet, at der er et stort potentiale i dansk byggeri til køling og zoneudligning - og også i forbindelse med udnyttelse af afbrydelige varmepumper, jordvarme/geotermisk varme og solvarme.

I projektets *fase 2*, PSO-ELFOR projekt 335-20 "Komfortforhold og lastudjævning ved energieffektiv køling med termoaktive konstruktioner" [2], blev der udført analyser og praktiske forsøg med en 3,6\*6 m mock-up på BYG-DTU. Disse forsøg har vist meget lovende resultater, herunder at det er muligt at tilvejebringe tilstrækkelig køleydelse også med brug af nedhængte akustiklofter. Endvidere viste projektet, at kravene til termisk komfort kan overholdes, selv om kølingen afbrydes i perioder med spidslast eller kun tilføres om natten, forudsat at det kan tillades, at rumtemperaturen stiger 3 grader over dagen.

Tilbage står *fase 3* i udviklingsforløbet nemlig at demonstrere systemet i praksis i fuld skala og herved få overskredet den vigtige barriere, der i dag hindrer en udbredelse af konceptet; "folk vil se det virke"!

## 1.2 Formål

Målet med nærværende projekt var at foretage sidste og afgørende trin i færdigudvikling og demonstration af en dansk udviklet løsning for Thermo Active Building Systems (TABS) baseret på præfabrikerede betonelementer for herved at forberede den videre anvendelse og udbredelse af konceptet i Danmark/EU med væsentlige energibesparelser i byggeriet til følge.

Demonstrationsprojektet er udført i et erhvervsbyggeri, der huser Middelfart Sparerkasses nye hovedsæde. Der er anvendt en integreret designproces for at sikre, at det kombinerede TABS køle- og varmesystem på en gang er driftsikkert, indekli-

mavenligt, økonomisk og energimæssigt attraktivt og samtidig spiller optimalt sammen med bygningens ventilation og øvrige installationer.

Projektets formål var endvidere at demonstrere bygningsdrift og brugertilfredshed af det færdige køle- og varmesystem i demonstrationsbyggeriet.



## 2 Demonstrationsprojektet

### 2.1 Demonstrationsbygningen - Middelfart Sparekasses nye hovedsæde

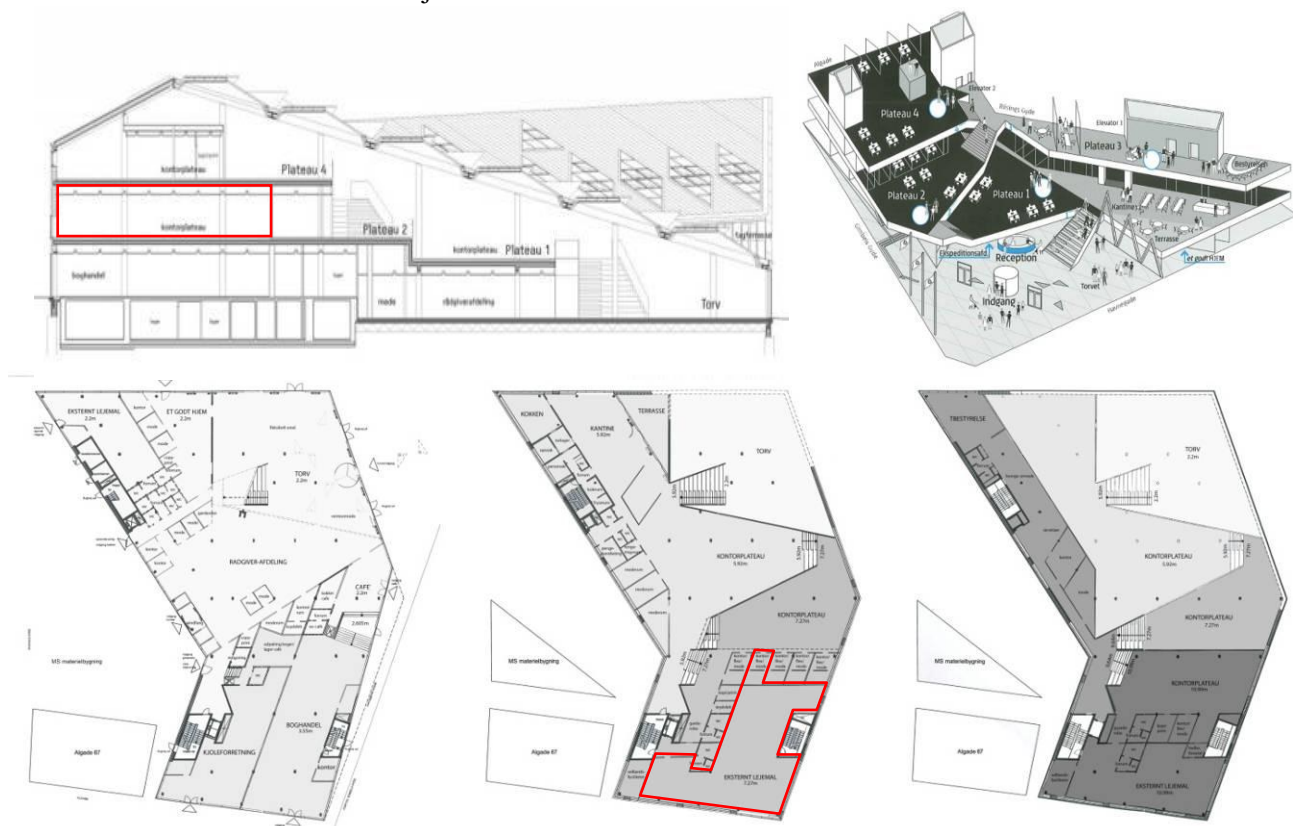
Det er Middelfart Sparekasses nye hovedsæde, som har forestået fuldskala demonstrationen med præfabrikerede termoaktive betondæk, og som dermed har været en del af PSO-projektet. Bygningen ligger centralt i Middelfart og støder til den ene side op til hovedgaden i den gamle bykerne. Til den anden side er der udsigt mod Lillebælt og kun ganske kort hen til havnefronten. Byggeriet stod færdig i foråret 2010 og blev taget i brug i løbet af maj 2010. Byggeriet blev undervejs forsinket, hvilket har medført 1 års forlængelse af PSO-projektet.

Bygningen er 5380 m<sup>2</sup> og har en spektakulær arkitektur bl.a. med en stor tagflade, hvori der er integreret 83 prisme-formede ovenlys, som giver bygningen et markant udtryk. Klimaskærmen består hovedsageligt af strukturelle glaspartier. I bygningens grundplan ligger en boghandel, en café, en tøjforretning, en ejendomsmægler og bankens indgang og forhal samt kundeekspedition inklusive kassefunktion og bankboks. Bankens øvrige arbejdsområder er placeret på tre åbne plateauer, og på bygningens 1. og 2. sal findes lukkede kontorer, møderum og andre rum til diverse funktioner f.eks. køkken og kantine. 3XN var arkitekt, mens COWI A/S var ingeniør på byggeriet.



Figur 2 Demonstrationsbygningen Middelbart Sparekasse. Facade mod øst med indgang til banken (billede til venstre). Bankens forhal med kassefunktion / kundeekspedition nederst og åbne plateauer med kontorlandskab øverst (billede til højre)

Bygningen er normalt i brug fra kl. 8.00 til 18.00 mandag til fredag og butikkerne også åbne om lørdagen. Bygningen forestår også arrangementer og rundvisninger efter normal arbejdstid.



Figur 3 Plan- og tværsnittegning samt aksonometrisk afbildning af Middelbart Sparekasse bygningen. Der er termoaktive konstruktioner i alle de gråskyggede dæk. De røde linjer markerer lokalet 2.2.00, som der har været særligt fokus på i forbindelse med indeklima- og energimålinger, da det er repræsentativt for et typisk kontorlokale

Visionen for Middelbart Sparekasse har været at bygge fremtidens sparekasse med hovedvægt på medarbejdertrivsel, miljø og æstetik. Afprøvning af termoaktive

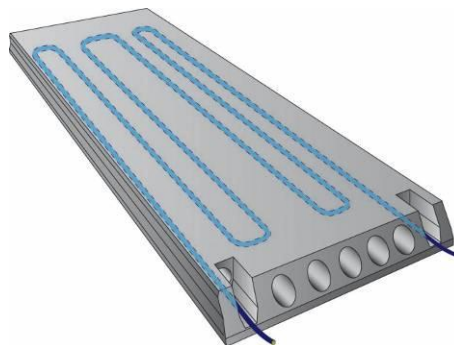
konstruktioner i samspil med naturlig ventilation har derfor passet fint ind i konceptet for den nye bygning. Bygherren har betalt investeringen i de termoaktive konstruktioner og forsyningsanlæg som en del af de samlede håndværkerudgifter, mens PSO-projektet har dækket anlægsomkostninger til ekstra målepunkter, styringssystem, prototype afprøvninger og nyudvikling.

Det termiske indeklima og luftkvaliteten i bygningen er kontrolleret af en kombination af forskellige systemer. I vinterperioden er bygningen opvarmet dels af konvektorer placeret i gulvniveau langs kanter og facade og dels af gulvvarme i det termoaktive system. I sommerperioden køles bygningen af det termoaktive system samt af ventilationssystemet, der består delvis af naturlig ventilation og delvis af mekanisk ventilation. Den naturlige ventilation varetages gennem åbninger i facaden og i tagfladen, der kontrolleres på baggrund af temperatur og CO<sub>2</sub>-niveau indendørs samt temperatur og vindhastighed udendørs. Den naturlige ventilation dækker primært bygningens store åbne kontorområder og benyttes til natkøling om sommeren. Den mekaniske ventilation varetages af fem anlæg, der primært ventilerer møderum og lukkede kontorer, kantine, butikker, café og kælder.



*Figur 4* Automatisk styrede åbninger for den naturlige ventilation. Åbning i tag (billede til venstre). Åbninger i facade (billede til højre)

I bygningen er der i alt 1100 m<sup>2</sup> præfabrikerede termoaktive betondækelementer fra Spæncom, TermoMax. De præfabrikerede dæk er designet med pex-slangere i undersiden.



*Figur 5* Illustration af et præfabrikeret termoaktivt dækelement, TermoMax fra Spæncom

Den resterende del af bygningens termoaktive varme-kølesystem består af pex-slanger støbt ind i afretningslaget på bygningens in-situ dæk. I alt haves over 3.000 m<sup>2</sup> in-situ termoaktive dæk. Alle termoaktive dæk benyttes til køling og nogle også til opvarmning.

Bygningens dimensionerende varmetab er beregnet til 230kW, mens køleeffektbehovet er estimeret til 215 kW.

## 2.2 Demonstrationsforløbet

Dette afsnit indeholder en beskrivelse af forløbet og aktiviteterne i PSO-projektet, dvs. hele processen i fuldskalademonstrationen af de termoaktive konstruktioner.

Hovedformålet i demonstrationsforløbet har været at eftervise de opnåede resultater fra tidligere projekter samt bryde de praktiske (og mentale) barrierer, der i dag hindrer en udbredelse af TABS i den danske byggesektor. Hovedvægten har været på demonstration og dokumentation af praktiske løsninger, implementering og drift.

Designet er blevet evalueret og færdigudviklet således, at produktion, slangeføringer, montage- og samlingsmetoder er optimeret mest muligt, og teknologien bliver kommerciel og klar til anvendelse inden for elementbyggeri. Endvidere er der blevet samlet erfaringer med reguleringsstrategier, ydeevne, og hvordan brugerne oplever systemet. Se følgende afsnit.

### 2.2.1 Byggeprogram - forberedelse af demoprojekt

Første del i projektet omhandlede input til byggeprogrammet. For at danne rammen om demonstrationen med TABS blev der opsat kravspecifikationer for byggeriet.

Der blev udført overslagsberegning af bygningens kølebehov, og estimeret ydelse fra de termoaktive konstruktioner blev sammenholdt med måledata fra mock-up'en (forsøgsopstilling) på DTU.

Nedhængte lofter og akustikløsninger har betydning for TABS-designet, ydelsen og rumopdelingen, så for at kunne anvende TABS i bygningen har det været afgørende at udvikle en akustikløsning, der tillader køling fra loftet i de enkelte lokaler. I forbindelse med byggeprogrammet blev der derfor udviklet en løsning for nedhængt loft, der sikrer både god akustik og tilstrækkelig ydelse fra de termoaktive dæk. Det blev defineret, at det nedhængte loft og installationer kun må hænges op i skinner fastgjort i knasfuger for ikke at risikere gennemboring / beskadigelse af PEX-slangerne.



*Figur 6 Nedhængt loft med akustikløsning i et typisk kontorområde i Middelfart Sparekasse. Åbningsgraden i loftet er afstemt med, at der kan opnås god køleydelse fra de termoaktive konstruktioner. Der ligger akustikflåder oven på tremmeloftet, der er udført i alu-profiler. Oven på dækkonstruktionen findes et edb-gulv og gulvtæppe (billede til venstre).*

Alternative energikilder såsom havvand, jordlager og udeluft fungerer fint i samspil med termoaktive konstruktioner og vil kunne bidrage til en bæredygtig energiforsyning af bygningen. Så muligheden for disse løsninger blev undersøgt.

Endelig blev der set på TABS-designet. Konfigurationer af PEX-slanger/fordelerrør og produktionsmuligheder blev vurderet. Dækelementerne fås nu både med tilslutning af fordelerrør i over- og undersiden.

### 2.2.2 Systemintegration, pilotafprøvning og styring

Denne aktivitet lå imellem byggeprogrammet og detailprojekteringen og havde til formål at omsætte de opnåede resultater fra det forrige projekt (fase 2) til at:

- › Definere TABS-designet ved at fastlægge optimal rørkonfiguration og zoneopdeling. I den forbindelse blev der foretaget prøvestøbninger hos Spæncom og afprøvning af samlingsmetoder. Dækelementerne fås nu både med enkelt- og dobbeltrørssløjfer, der ligger pr. 15 cm.
- › Fastlægge en optimal systemintegration af det komplette system med 16/20 °C's køling og lavtemperatur gulvvarme. I den forbindelse blev der foretaget simulering af varmeydelse (30 W/m<sup>2</sup>) og komfort i den aktuelle demonstrationsbygning.
- › Foretage afprøvning i "mock-up" af arkitektens valg af gulv og loft inklusive akustikløsning samt afprøvning af supplerende gulvkonvektor (convec) løsning med hensyn til køle- og varmeydelse og akustik.
- › Udvikle styring/regulering af køle, varme- og ventilationssystem.



Figur 7 *Støbeform for præfabrikerede termodæk klargjort med plastslanger fastgjort til armeringsnet (Spæncom)*

### 2.2.3 Ekspert input og projektgranskning

Denne aktivitet har sikret en korrekt og optimeret projektering af TABS. Der er blevet afholdt en række workshops, hvor de valgte løsninger er blevet gransket af projekterende ingeniør og arkitekt, bygherre og de øvrige partnere i PSO-projektet. Endvidere er der udført dynamiske simuleringer af bygningen og dens termiske indeklimate.

Det endelige TABS-design blev hermed fastlagt.



Figur 8 *Tværsnit af et termoaktiv dækelement "TermoMax"*

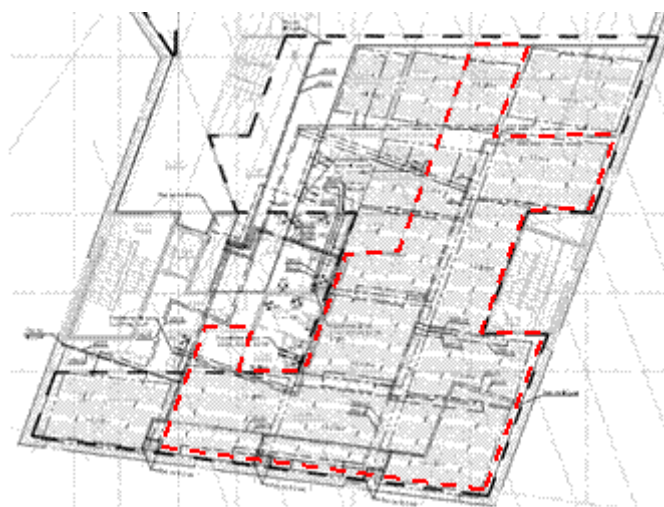


Figur 9 *Rørsamling mellem to præfabrikerede termodæk før lukning (Middelfart Sparekasse)*

## 2.2.4 Indkøring og måleprogram

Der er blevet gennemført et måleprogram for energi- og indeklima for at kunne måle og dokumentere, hvordan TABS virker i praksis i samspil med øvrige bygningsinstallationer og for at få indkørt varme-/kølesystemet til de rigtige driftskonditioner. Det har krævet en del koordinering at få fastlagt og iværksat tilstrækkelige målepunkter og måleintervaller.

Særligt er et kontorlokale - (rum nr. 2.2.0) på 268 m<sup>2</sup> uden åben forbindelse til kontorlandskabet på de åbne plateauer - blevet udvalgt til detaljeret måling af termoeffektivitet og indeklima. Dette lokale indeholder derfor ekstra målerbestykning.



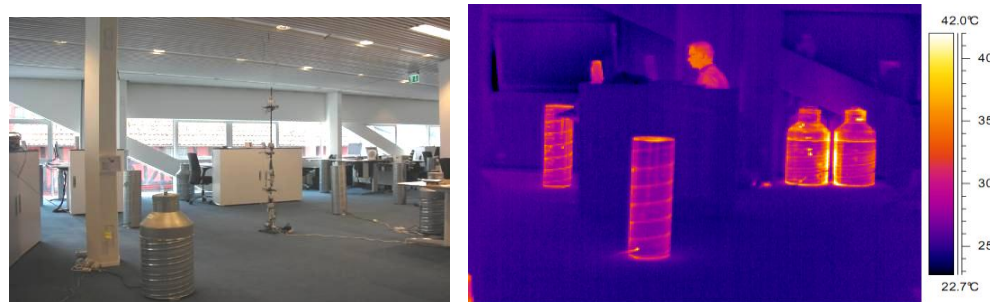
Figur 10 Markering af udvalgt kontor (2.2.00), hvor der er særlig målebestykning til brug for evaluering af de termoaktive dæk

PSO-projektet har endvidere bidraget med assistance i forbindelse med indkøring af bygningens tekniske anlæg bl.a. på baggrund af de data, som måleprogrammet har genereret. Der har været løbende dialog med instruktion af driftspersonalet.

Ydermere er der gennemført en tilfredshedsundersøgelse blandt bygningsbrugerne i henholdsvis den gamle sparekasse og den nye bygning. Middelfart Sparekasses eksisterende bygning lå på samme byggegrund. (Kælderen er delvist bevaret).

## 2.2.5 Kapacitetstest og ekstra indeklimaundersøgelse

Erhvervslokalet (2.2.00), der var udvalgt til særligt detaljerede målinger for de termoaktive dæk, blev ikke som planlagt udlejet. I stedet benytter Middelfart Sparekasse selv lokalet til for tiden 11 medarbejdere, hvilket er langt færre personer end det er lagt ud til. Det betyder, at TABS-systemet ikke kunne testes for en sommersituation med en maksimal intern belastning i lokalet. For at undersøge ydelsen af de termoaktive konstruktioner blev der derfor udført en kapacitetstest med kunstige varmegivere i lokalet. Denne test og tidsforlængelsen af PSO-projektet blev finansieret af en tillægsbevilling fra PSO.



Figur 11 Almindeligt billede og termografibillede af udvalgt kontor (2.2.00) installeret med udstyr for kapacitetstest af de termoaktive dæk

Varmegiverne til simulering af personlast bestod af 30 dummies udformet som cylindre hver med en varmekilde på 170 W. Denne effekt skal simulere 75 W for en person, 25 W for belysning og 70 W for en computer. Derudover blev der anvendt 3 varmeblæsere af hver 1000 W til simulering af ekstra personlast for at finde grænsen for køleydelsen.

Scenarier for kapacitetstesten:

- › Scenarie 1: 30 dummies og 3 varmeblæsere i lokalet
- › Scenarie 2: 30 dummies i lokalet
- › Scenarie 3: 30 dummies og 11 personer og 11 computere i lokalet.

Scenarierne blev brugt til at undersøge, om det var muligt at fjerne en varmebelastning på 30-40 W/m<sup>2</sup> i lokalet, som det var dimensioneret for.



Figur 12 Scenarie 1 med dummies og varmeblæsere (billede til venstre). Scenarie 3 med dummies og personer (billede til højre)

Foruden kapacitetstesten gav tillægsbevillingen også mulighed for ekstra indekli-



ma- og brugerundersøgelse i henholdsvis vinter 2010/2011 og i forår/sommer 2011. Dette gav et mere fyldestgørende billede af indeklimaet. I den oprindelige projektbevilling var der kun taget højde for en enkelt undersøgelse. Den nye undersøgelse blev valideret ved brug af spørgeskemaer samt øjeblikmålinger af det termiske indeklima.

### 2.2.6 Formidling

Formidling af viden omkring termoaktive konstruktioner er især relevant i forhold til bygherrer, bygningsforvaltere, investorer og de projekterende. Det er især de energi-/miljømæssige og økonomiske potentialer samt funktionalitet og ydeevne, der er interessant at fremhæve.

I projektperioden er der udført en række formidlingsaktiviteter vedrørende termoaktive konstruktioner og projektresultaterne. En liste over formidlingen findes i afsnit 6.

Spæncom har udarbejdet en brochure/manual rettet mod nyt elementbyggeri. Produktet, det termoaktive huldæk, kaldes af Spæncom for TermoMax. Brochuren/manualen er vedlagt som appendiks lige efter rapporten.

## 3 Resultater

### 3.1 Termoaktive konstruktioners køleydelse

Målinger på forsøgsopstillingen, mock-up'en, på DTU viste, at der kun mistes ca. 1/3 af køleeffekten ved 67-83% dækning med nedhængt loft, hvilket kan kompenseres ved at sænke kølevandstemperaturen med ca. 2,5°C. Ved 25°C operativ temperatur i rummet bør middelvæsketemperaturen være 18°C for at kunne køle 25 W/m<sup>2</sup>. Dette er acceptabelt, hvis man har gjort sig umage med at nedbringe de interne belastninger; men det ideelle termisk set er at have en højere eksponeringsgrad af betondækket, så strålingen kan udnyttes optimalt.

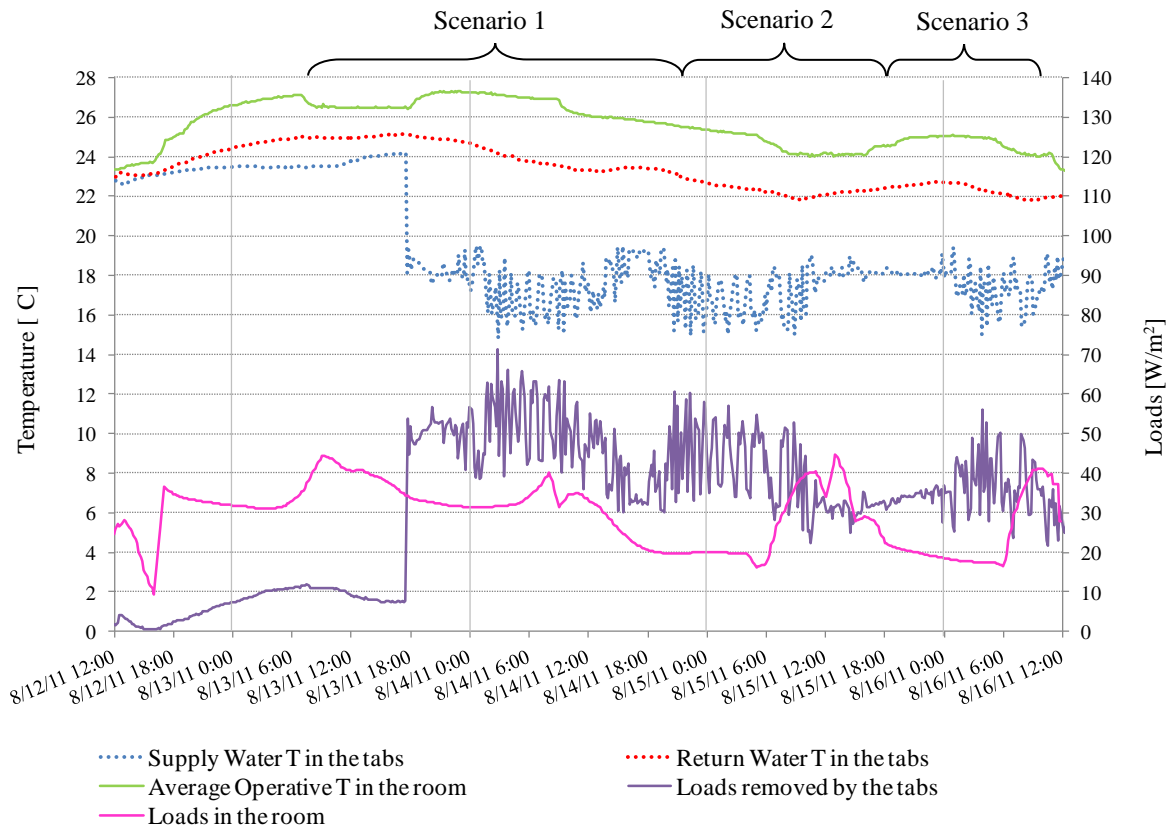
Kapacitetstesten i Middelfart Sparekasses kontorlokale 2.2.0 har givet en række resultater, der illustrerer, hvilken køleydelse det er muligt at opnå med de termoaktive konstruktioner. Lokalet, som resultaterne er gældende for, er vist på henholdsvis Figur 10 og Figur 12.

Resultatet var, at dækkene med den valgte lofts konstruktion med nedhængt loft kunne køle ca. 7-8 W pr. grad temperaturforskelle mellem middelvæsketemperaturen og den operative temperatur i rummet, dvs. hvis rummet er 24°C og væsken 18°C, så kan der køles 42-48 W/m<sup>2</sup>, hvilket er bedre end tidligere antaget. Ydelsen er praktisk talt den samme, som hvis der ikke var noget nedhængt loft.

Figur 13 viser resultater fra de detaljerede målinger under kapacitetstesten. Det skal bemærkes, at der ikke blev cirkuleret kølevand i de termoaktive dæk før lørdag den 13/8 kl. 18.00, det vil sige i de første 2 dage, som er vist. Ventilationen har bidraget til køling, men har ikke kørt konstant - har kun kørt i dagtimerne (med undtagelse af den 14/8), hvilket forklarer de periodiske små fald i rumtemperaturen.

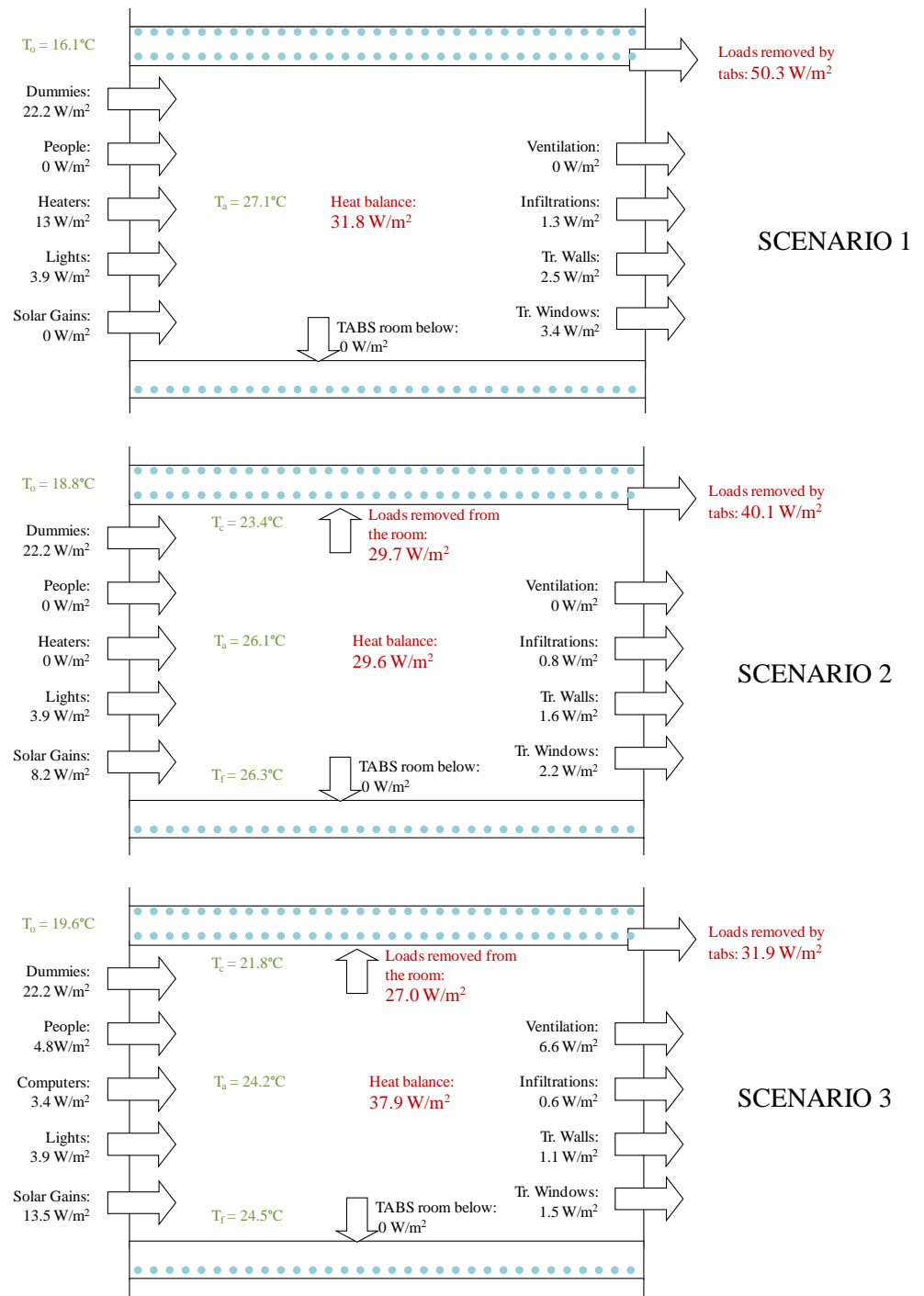
Fremløbstemperaturen i dækkene har svinget imellem 15 og 19°C, men returtemperaturen var mere konstant og fulgte svingningen i rumtemperaturen. Returtemperaturen lå imellem 22-25°C, hvilket var et par grader under rumtemperaturen.

I scenarie 1 var der varmebelastning med dummies og varmeblæsere. Under scenarie 2 er varmebelastningen reduceret, hvilket resulterede i mindre køling med TABS. I scenarie 3 var der dummies og personer i lokalet.



Figur 13 Detaljerede målinger for perioden opdelt i tre scenarier

Nedenstående figur viser energibalancen i lokalet under de tre scenarier.



Figur 14 Energibalace for de tre scenarier

Under scenarie 1 blev der bortkølet den ekstra varme, som var akkumuleret i dagene, hvor dækkene ikke var i drift. Men det ses, at det er muligt at bortkøle ca.  $50 \text{ W/m}^2$  med TABS.

Under scenarie 2 fortsatte bortkølingen af den akkumulerede overskudsvarme samtidig med bortkølingen af den løbende tilførte varme. I denne periode var det muligt kontinuert at bortkøle ca.  $30 \text{ W/m}^2$  med TABS.

I perioden med scenarie 3 kunne TABS-systemet kun opnå en køleydelse på knapt 30 W/m<sup>2</sup>, da temperaturen var faldet, så forskellen imellem middelvæsketempera- turen og den operative rumtemperatur kun var ca. 4°C. (middelvæsketemperaturen var ca. 19,5°C).

De overordnede målinger bekræftede, at det med TABS-systemet er muligt at bort- køle 30 W/m<sup>2</sup> eller mere med en gennemsnitlig fremløbstemperatur i slangerne i TABS på 19°C ved en rumtemperatur på 24,5°C, det vil sige, at køleydelsen er mindst 5,5 W/°C med den aktuelle lofts konstruktion uden medregning af køling igennem gulv.

### 3.2 Termoaktive konstruktioners varmeydelse

Varmeydelsen fra termodækkene med den aktuelle konstruktion med nedhængt loft og en rumtemperatur på 22°C og væsketemperatur på 30°C er beregnet til at være 7 W/m<sup>2</sup> opad og 33 W/m<sup>2</sup> nedad, hvilket i de fleste tilfælde vil være rigeligt.

Termoaktive konstruktioner er derfor glimrende til at basistemperere en bygning med lavtemperaturvarme. For at sikre den individuelle regulering bør der suppleres med konvektorer ved vinduesfacader.

### 3.3 Indeklima

Efter byggeriets ibrugtagning er der udført indeklimate målinger og brugertilfredsheds- tests. Indeklimamålingerne er udført dels som løbende målinger igennem året (permanente målere) og dels som spotmålinger (mobilt måleudstyr opstillet i en kort periode). Det termiske indeklima og luftkvaliteten er analyseret i forhold til komfortkategorier i standarden EN 15251 [3]. Kategorierne i standarden fremgår af nedenstående tabel.

*Tabel 1 Indeklimastandard EN 15251 med kategorier for operativ temperatur, ventila- tion (CO<sub>2</sub>) relativ luftfugtighed og PMV-PPD for kontorbygninger med stille- siddende aktivitet. PMV: "Predicted Mean Vote". PPD: "Predicted Percentage of Dissatisfied".*

Kategori	Operativ temperatur interval		Ventilation	Relativ luftfug- tighed	Termisk komfort krav	
	Vinter 1.0clo/1.2 met	Sommer 0.5clo/1.2 met	CO <sub>2</sub> Over uden- dørs niveau		PMV	PPD
	[°C]	[°C]	[ppm]		[/]	[%]
I	21.0-23.0	23.5-25.5	350	30-50	-0.2 < PMV < +0.2	< 6
II	20.0-24.0	23.0-26.0	500	25-60	-0.5 < PMV < +0.5	< 10
III	19.0-25.0	22.0-27.0	800	20-70	-0.7 < PMV < +0.7	< 15
IV	< 19.0-25.0 <	< 22.0-27.0 <	800 <	< 20-70 <	PMV > ±0.7	> 15

I et energirigtigt byggeri bør det tilstræbes at overholde kategori III størstedelen af tiden.

PMV-PPD indekssværdierne bruges til at udtrykke menneskers oplevelse af det termiske indeklima. Værdierne angiver den forventede procentvise andel af personer, der for kroppen som helhed vil føle sig for kolde eller varme. PMV-indekset afhænger af aktivitetsniveauet, beklædningens varmeisolans, lufttemperaturen, middelstrålingstemperaturen, middellufthastigheden og luftfugtigheden.

I forhold til angivelse af almindelig lufttemperatur tager den operative temperatur hensyn til stråling, lufthastighed og fugt.

Det kan bemærkes, at bygningen er designet til at være i kategori III.

Nedenstående figur viser, hvor i bygningen der blev foretaget både årsmålinger og spotmålinger. Stederne er nøje udvalgt for at give et repræsentativt billede af indeklimaforholdene i hele bygningen, og hvor dette måtte være relevant i forhold til brugertilfredshedsundersøgelsen. De udvalgte rum repræsenterer



*Figur 15 Markering af kontorområder i bygningen, hvor der er blevet udført årsmålinger og spotmålinger. Til venstre ses bygningen stueplan med kontorområdet 1.1.00 til bankens ekspedition og kassefunktion. I midten ses bygningens 1. sal med åbent kontorområde PI1 (Plateau 1 = rum 2.1.23) og PI2 (Plateau 2 = rum 2.1.25) samt det udvalgte kontor til detaljeret måling 2.2.00. Til højre ses 2. sal med åbent kontorområde PI4 (Plateau 4 = rum 3.1.16)*

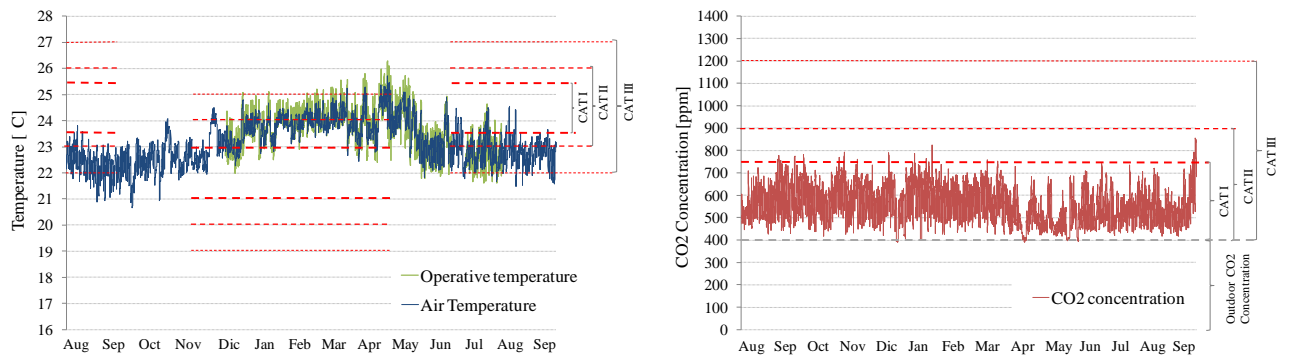
Figur 16 viser et eksempel på en målestation, der blev benyttet til spotmålinger.



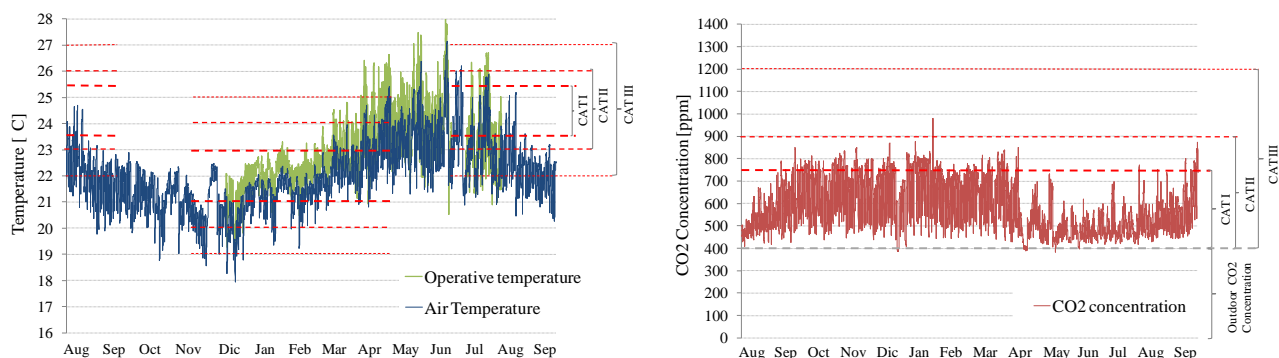
Figur 16 Målestation til spotmålinger på 1. sal, kontorplateau 2.1.23.

### 3.3.1 Årsmåling af indeklimaet

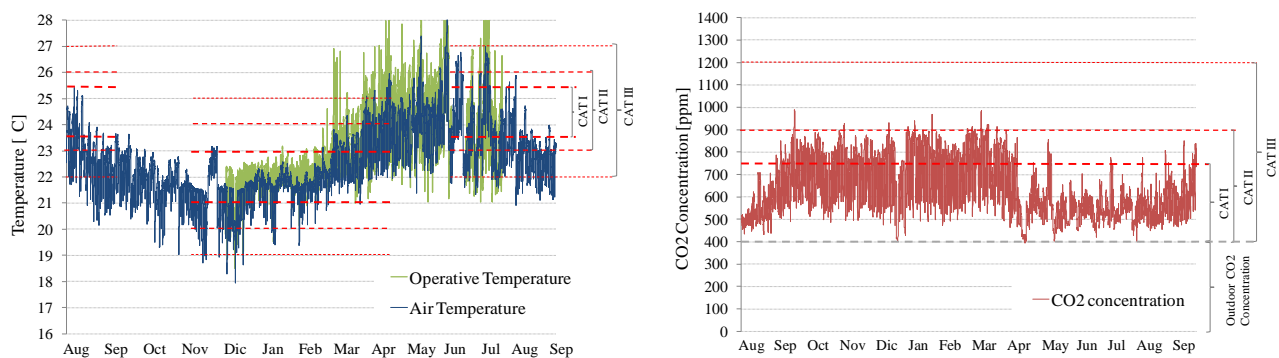
Nedenstående figurer viser et eksempel på resultaterne fra årsmålingerne for det første driftsår. Konkret viser figurerne den målte lufttemperatur, operative temperatur og CO<sub>2</sub>-koncentration igennem året. Målingerne er sammenholdt med grænserne i indeklimastandarden.



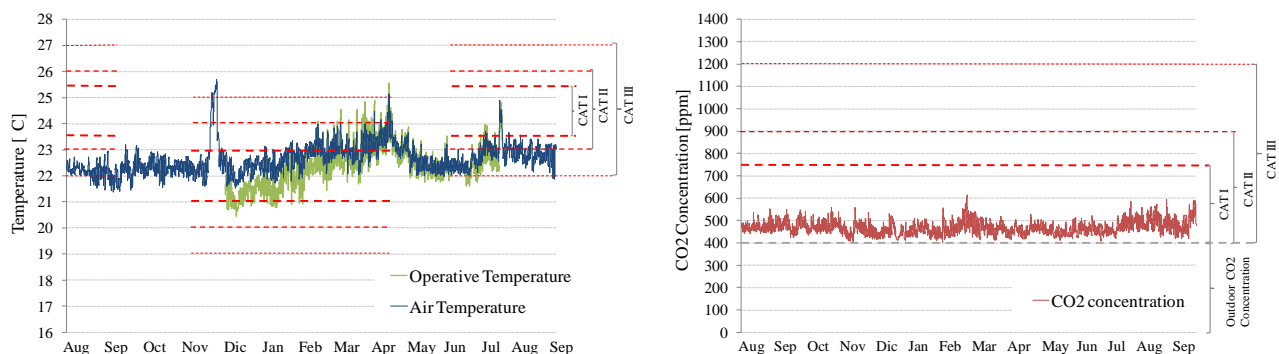
Figur 17 Operativ temperatur, lufttemperatur, og CO<sub>2</sub>-koncentration for kontorområde 1.1.00 (bankekspektion og kassefunktion) i stueetagen. Der er vist målinger fra og med august 2010 til september 2011



Figur 18 Operativ temperatur, lufttemperatur, og CO<sub>2</sub>-koncentration for kontorplateau 2.1.23 på 1. sal. Der er vist målinger fra og med august 2010 til september 2011



Figur 19 Operativ temperatur, lufttemperatur, og CO<sub>2</sub>-koncentration for kontorplateau 3.1.16 på 2. sal. Målingerne er udført fra og med august 2010 til september 2011



Figur 20 Operativ temperatur, lufttemperatur, og CO<sub>2</sub>-koncentration for udvalgt kontor 2.2.00 på 1. sal. Der er vist målinger fra og med august 2010 til september 2011

Bemærk, at rum 2.2.00 ikke var i brug før i februar og ikke på noget tidspunkt har været fuldt udnyttet, da kun et mindre antal personer har anvendt lokalet. Det vil



sige, at fra august til februar var der ikke nogen videre varmebelastning fra personer og udstyr.

Af målingerne fremgår det, at målerummet 2.2.00 med termodækkene bedst holder sig inden for indeklimakategoriene. I rum 1.1.00 (stueplan), 2.2.23 (1. sal) og 3.1.16 (2. sal) var der is specielt i sensommeren/efteråret perioder med lidt for lav temperatur i forhold til kategoriene i indeklimastandarden. Dette er også en tendens henover sommeren 2011, men der dog også er nogle større udsving også med høje temperaturer. I vinterperioden ser temperaturen ud til at ligge fint inden for indeklimakategori III, som bygningen er designet til. CO<sub>2</sub>-koncentrationen er generelt fint overholdt, særligt fra april, hvor den naturlige ventilation kom i brug.

Der er som sagt tale om målinger fra bygningens første driftsår, hvor indkøring har pågået. Dermed vil bygningens varme-/kølesystemer kunne blive endnu bedre indstillet og på sigt opfylde indeklimakategori III bedre, bl.a. ved at hæve kølevandstemperaturen lidt i sommerhalvåret.

### 3.3.2 Spotmålinger og brugertilfredshedsundersøgelse

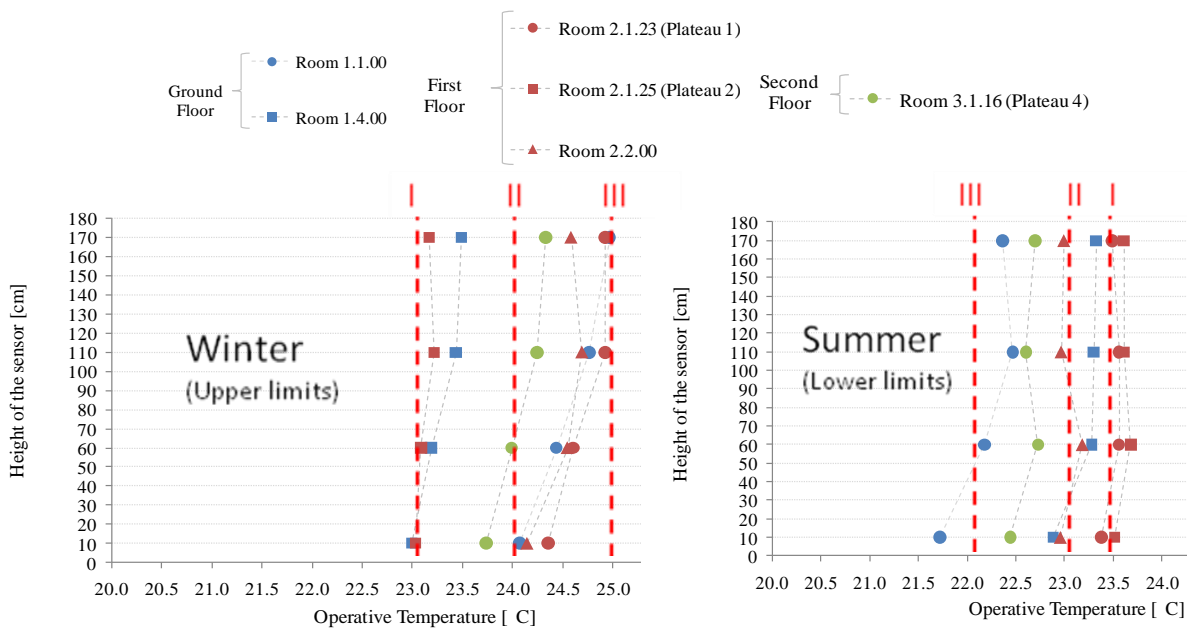
Der er udført spotmålinger og indeklimaundersøgelse blandt bygningsbrugerne i henholdsvis marts og august 2011 i den nye bygning. Spotmålingerne er anvendt bl.a. til evaluering af resultaterne fra indeklimaundersøgelserne.

Der er udført følgende typer spotmålinger i bygningen:

- > Operativ temperatur
- > Lufttemperatur
- > Lufthastighed
- > Relativ luftfugtighed
- > Lysniveau.

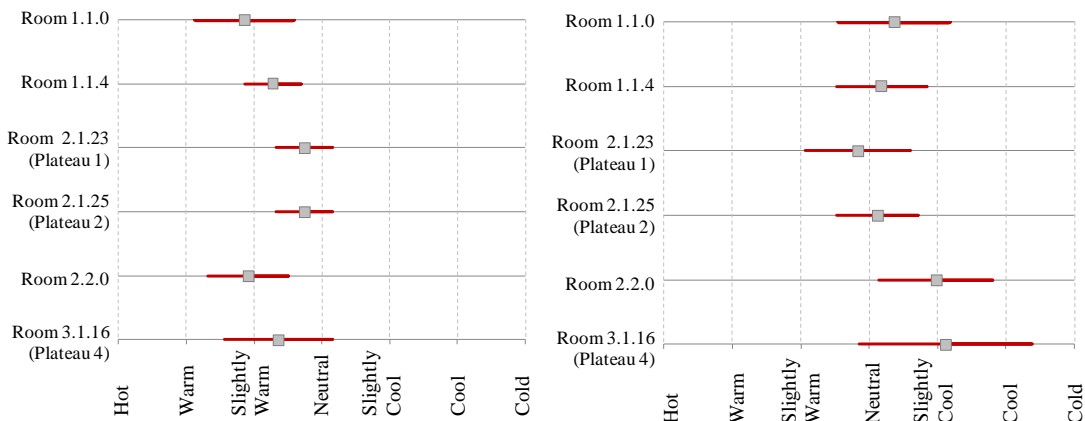
Figur 21 viser et eksempel på resultaterne fra spotmålingerne. Konkret viser denne figur den målte operative temperatur for henholdsvis vinter- og sommersituationen. Målingerne er sammenholdt med grænserne i indeklimastandarden. Det ses, at forskellen i temperatur målt i henholdsvis. fod- og hovedhøjde (0,1-1,7 m) altid var mindre end 1°C, hvilket er godt. Det bemærkes yderligere, at de rum, som havde den højeste temperatur om vinteren, havde den laveste temperatur om sommeren og omvendt. Gennemsnitligt var den spotmålte indetemperatur lidt højere om vinteren end om sommeren, hvilket tyder på, at der er behov yderligere justeringer af varme-/kølesystemet og eventuelt ventilationen.

Indeklimakategori III i alle rum er overholdt både vinter og sommer kun med en enkelt meget lille afvigelse, som vurderes at være inden for tolerancen på målenøjagtigheden.



Figur 21 Operativ temperatur i den nye bygning vist for en vinter- og en sommersituati-  
on baseret på spotmålinger i henholdsvis marts og august 2011

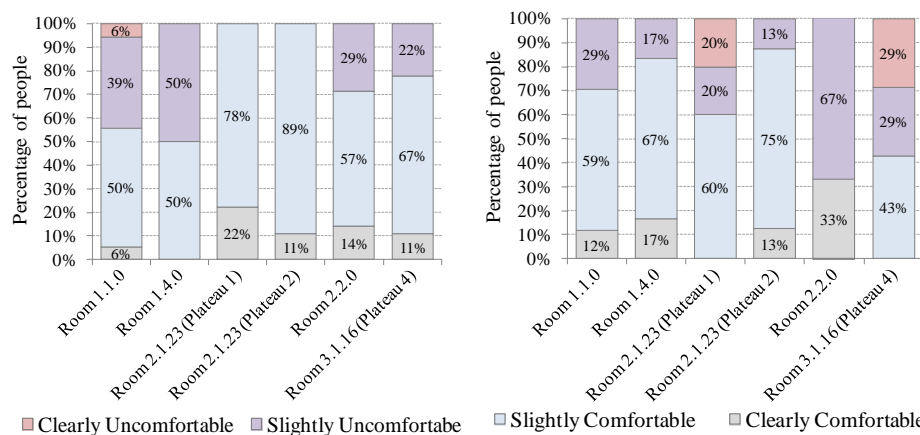
I brugertilfredshedsundersøgelsen blev folk bl.a. adspurgt om, hvordan det termiske indeklima opleves i de udvalgte lokaler henholdsvis vinter og sommer. Resultatet heraf fremgår af Figur 22.



Figur 22 Termisk oplevelse af indeklimaet i lokalerne udvalgt til analysen. Dette er un-  
dersøgt for både vinter (til venstre) og sommer (til højre)

Endvidere blev brugerne i de udvalgte rum adspurgt om, hvordan de oplevede det termiske indeklima på en skala fra klart ukomfortabel til klart komfortabel. Resultatet herfor fremgår af Figur 23, hvor det ses at medarbejderne på Plateau 1 og på Plateau 2 umiddelbart er mere tilfredse sammenlignet med de andre rum, specielt om vinteren. Dette passer også med Figur 22, hvor netop disse to rum er tættest på neutral oplevelse af indeklimaet. Sammenhængen imellem de to figurer kan også ses for rum 1.1.00 og 1.4.00, der om vinteren opleves for varm, og hvor en stor

andel oplever en smule diskomfort. Også for rum 2.2.00 og 3.1.16 er der registreret diskomfort. Her er det særligt om sommeren, hvor indeklimaet opleves en smule køligt, hvilket der let kan kompenseres for styringsmæssigt.



Figur 23 Gennemsnitlig oplevelse af indeklimakomforten i de udvalgte lokaler henholdsvis vinter (til venstre) og sommer (til højre)

Resultaterne fra alle spotmålingerne findes i bilagsrapporten sammen de konkrete målerapporter.

### 3.3.3 Sammenligning af brugertilfredshed med den gamle bygning

På baggrund af spotmålinger og en brugertilfredshedsundersøgelse (i forhold til indeklima) udført i en sommerperiode (juni-juli 2007) i den gamle Middelfart Sparerkasse bygning er der foretaget en sammenligning med målinger og undersøgelse i den nye bygning udført i august 2011.

Sammenligning af måleresultater fra tre ugers målinger i de to bygninger har givet følgende konklusioner:

- > Temperaturerne i den gamle bygning var generelt acceptable, men sommetider højere end intervallet i indeklimastandarden, specielt om eftermiddagen. I den nye bygning er der det modsatte problem, idet temperaturerne generelt er lavere end standarden foreskriver. Begge bygninger er i gennemsnit placeret i kategori II.
- > Med hensyn til CO<sub>2</sub>-koncentration er luftkvaliteten bedre i den nye bygning, bl.a. fordi der i den gamle bygning blev målt værdier over standarden på 2. sal.
- > Der er målt en fornuftig luftfugtighed i forhold til indeklimastandarden for begge bygninger. Dog lå den nye bygning lidt højt i forhold til grænseværdien for kategori I.

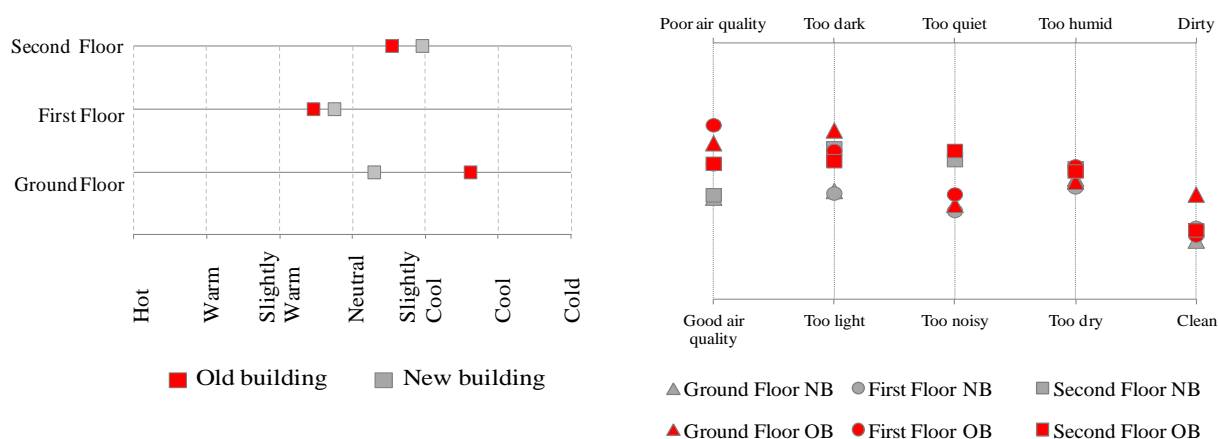
Sammenligning af resultater fra nogle dages spotmålinger i sommeren henholdsvis i 2007 og 2011 i de to bygninger har givet følgende konklusioner:

- › Temperaturen i den gamle bygning var lavere under spotmålingerne end den gennemsnitlige sæsontemperatur. Temperaturen i den nye bygning var omvendt højere under de pågældende spotmålinger sammenlignet med den gennemsnitlige sæsontemperatur.
- › Det beregnede PMV-indeks lå tættest på neutral oplevelse (af indeklimaet) i begge bygninger.

Sammenligning af brugertilfredshedsundersøgelsen i de to bygninger har givet følgende konklusioner:

- › Folk er generelt mere tilfredse med luftkvaliteten i den nye bygning i forhold til den gamle bygning.
- › Den oplevede termiske følelse er bedre i den nye bygning.
- › Støjniveauet er lavere i den nye bygning.
- › Generelt er brugerne mere tilfredse i den nye bygning, end de objektive målinger burde resultere i. Det skyldes totaloplevelsen, hvor arkitektur og dagslys også har en vis indflydelse.

Nedenstående figur (til venstre) viser en sammenligning af, hvordan brugerne har oplevet det termiske indeklima i henholdsvis den gamle og nye bygning. Endvidere ses en sammenligning af forskellige indeklimatefaktorer, som de blev oplevet af brugerne i henholdsvis den gamle og den nye bygning.



Figur 24 Sammenligning af oplevet termisk indeklima i henholdsvis den gamle og nye bygning (til venstre). Sammenligning af indeklimatefaktorer oplevet af brugerne i henholdsvis den gamle og den nye bygning (til højre).

Hele sammenligningen imellem den gamle og den nye bygning findes i bilagsrapporten sammen med de konkrete målerapporter.

### 3.4 Energiforbrug

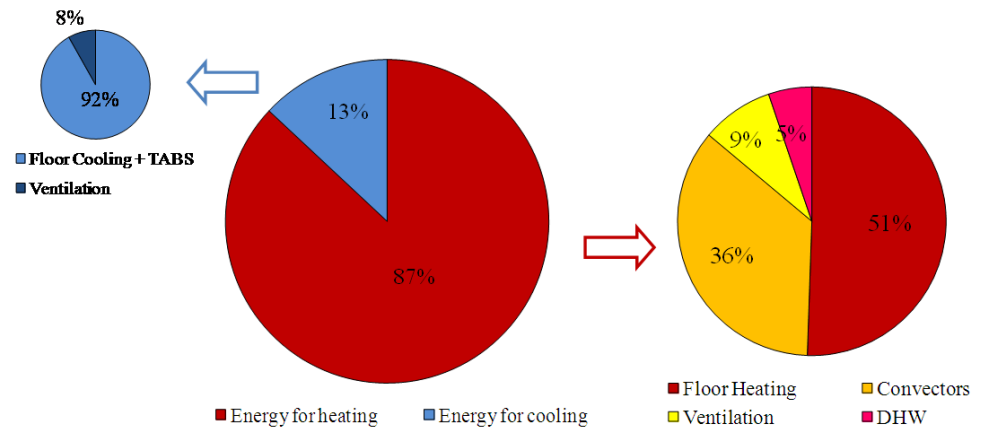
Bygningens energiforbrug er blevet opgjort for en 1-årig periode løbende fra primo oktober 2010 til ultimo september 2011. Bygningen er forsynet med fjernvarme, der leverer varme til rumopvarmning og opvarmning af brugsvand. Herudover forsynes bygningen med elektricitet, der anvendes til en lang række formål såsom køling, ventilation, pumper, belysning, it-udstyr etc.

Det graddagekorrigerede varmeforbrug til rumopvarmning plus varmeforbruget til varmt brugsvand er for perioden opgjort til 66 kWh/m<sup>2</sup>, hvilket er noget højere end det estimerede forbrug i bygningens energirammeberegning (BE06), der lå på 42 kWh/m<sup>2</sup>. At det reelle forbrug er højere er normalt, idet energirammen tager udgangspunkt i en indetemperatur på kun 20°C, mens der som regel i praksis haves en højere temperatur med et højere varmeforbrug til følge, hvilket forklarer halvdelen af overskridelsen. Den øvrige overskridelse skyldes formodentligt et større luftskifte gennem yderdøre til bank og butik samt en udvidet benyttelsestid for bygningen.

Endvidere er der tale om en indkøringsfase, hvilket kan have givet anledning til u hensigtsmæssig drift med et højere varmeforbrug til følge.

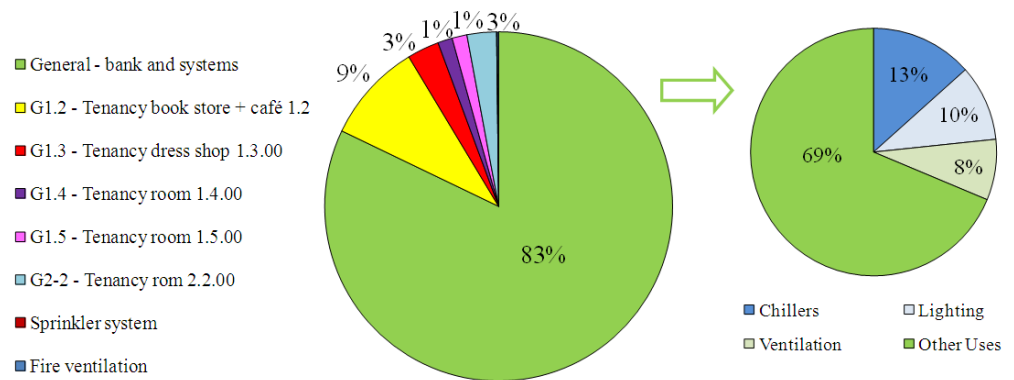
Til gengæld er der registeret et køleforbrug på kun 9-10 kWh/m<sup>2</sup>/år, hvilket er under halvdelen af det estimerede forbrug i energirammeberegningen, der angav et kølebehov på 21 kWh/m<sup>2</sup>/år.

Af nedenstående figur fremgår det, at bygningens varmeforbrug udgør langt størstedelen af det samlede energiforbrug til varme og køling. 92% af kølingen er sket via de termoaktive konstruktioner, mens de resterende 8% er anvendt i køleflader i bygningens ventilationsanlæg. Varmeforbruget er fordelt således, at 51% er gået til de termoaktive konstruktioner, mens 36% er gået til konvektorer og 9% og 5% til henholdsvis ventilation og varmt brugsvand.



Figur 25 Procentmæssig opgørelse af bygningens varme- og køleforbrug

Figur 26 illustrerer en opgørelse af bygningens elforbrug, der totalt ligger på ca. 80 kWh/m<sup>2</sup>/år. En række bimålere har registreret forbrug i enkelte rum, herunder butikker og caféen. Af det generelle elforbrug i den øvrige del af bygningen er 69% gået til diverse forbrug såsom it-udstyr, køkken etc. Det er målt, at 13% af det generelle elforbrug er gået til køleanlægget, mens det er estimeret, at 10% og 8% er gået til henholdsvis belysning og ventilation.



Figur 26 Procentmæssig opgørelse af bygningens elforbrug

Flere detaljer vedrørende bygningens energiforbrug findes i bilagsrapporten.

Det målte elforbrug til køling indeholder dog elforbrug til pumper, og disse har på grund af fejl i anlæggets styring kørt fuld drift, hvilket har genereret et unødigt elforbrug. Ved at fratække dette elforbrug er elforbruget til selve kølemaskinen estimeret til ca. 3 kWh/m<sup>2</sup>/år, hvilket yderligere kan forbedres ved øgning af fremløbstemperaturen til 16-18°C.

Elforbrug til ventilation er estimeret til 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/år.

## 4 Konklusion og perspektiver

Projektet har demonstreret anvendelse af termoaktive dæk (TABS) i praksis med gode resultater og har illustreret velegnethed også i arkitektonisk sofistikerede bygninger. I alt er der i demonstrationsbygningen, Middelfart Sparekasses nye hovedsæde, installeret 1100 m<sup>2</sup> præfabrikerede termoaktive betondækelementer med-indstøbt 1-sidet slangesystem placeret i undersiden, dvs. i fladen mod det underliggende rum.

Det er dokumenteret, at selv med nedhængt loft, der dækker 70-80% af arealet op mod undersiden af termodækket, er det muligt at opnå en konstant køleydelse på 30 W/m<sup>2</sup> eller derover.

Med termoaktive konstruktioner er det i høj grad muligt at anvende frikøling, hvor udeluften udnyttes til at nedkøle bygningen om natten, dvs. opbygge kølekapacitet i de tunge bygningskonstruktioner. Den teoretiske elbesparelse for en bygning med termoaktive konstruktioner og frikøling med udeluft kan estimeres til ca. 90%, når der regnes med en COP = 3 for traditionel køl og COP = 30 for frikøl med udeluft via tørkøler.

Jævnfør nedenstående tabel er der gennemsnitligt kun ca. 34 timer pr. år, hvor der ikke kan frikøles til en fremløbstemperatur på 19 °C, hvilket er, når nattemperaturen er over 18°C. Med disse timer taget i betragtning sammen med en generel nedjustering for at tage hensyn til, hvad der i praksis er muligt, vurderes det, at der i et optimalt system kan opnås en elbesparelse til køling på 75-80%.

Tabel 2 Oversigt over, hvor mange timer om året nattetemperaturen er over en given udetemperatur, jf. referenceåret. Markeringen viser de timer, hvor udetemperaturen er for høj til at frikøle til 19°C om natten (34 timer pr. år).

Hverdage 23-08							
	Timer over						Timer i alt
	20°	19°	18°	17°	16°	15°	
Jan	0	0	0	0	0	0	207
Feb	0	0	0	0	0	0	180
Mar	0	0	0	0	0	0	189
Apr	0	0	0	0	0	0	198
Maj	0	0	0	0	0	5	207
Jun	0	1	5	6	19	30	180
Jul	1	3	7	20	36	50	207
Aug	0	5	12	23	28	54	198
Sep	0	0	0	2	3	10	189
Okt	0	0	0	0	0	0	207
Nov	0	0	0	0	0	0	189
Dec	0	0	0	0	0	0	198

Energiforbruget til køling i kontor- og institutionsbyggeri ligger typisk på 40 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, hvilket svarer til et elforbrug på 10-15 kWh/m<sup>2</sup>. Samlet set er det i dag normalt med et årligt elforbrug på omkring 21 kWh/m<sup>2</sup> til både køling og ventilation.

I den pågældende demonstrationsbygning er elforbruget til køling og ventilation målt til henholdsvis ca. 3 kWh/m<sup>2</sup> og 5,3 kWh/m<sup>2</sup>, det vil sige totalt 8,3 kWh/m<sup>2</sup> for ét år. Sammenlignet med erfaringstallet på 21 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, så er elforbruget reduceret med 12-13 kWh/m<sup>2</sup>, svarende til omkring 60%. At elforbruget ikke er reduceret yderligere skyldes følgende:

- › Demonstrationsbygningen har både mekanisk og naturlig ventilation. Den mekaniske ventilation ventilerer primært kantine, butikker, café og en række lukkede kontorer og møderum. Havde bygningen udelukkende haft naturlig ventilation, ville elforbruget have været endnu lavere.
- › Bygningen er fortsat i en indkøringsfase, og når systemerne er trimmet optimalt, er der mulighed for et endnu lavere elforbrug til køling og ventilation.
- › Bygningens arkitektur indeholder del glas, specielt i den store tagflade, og på trods heraf er det faktiske elforbrug til køl lavere end angivet i energirammen.
- › Udvidet benyttelsestid af bygningen med drift på mekanisk ventilation er også med til at øge forbruget.

En elbesparelse på 12-13 kWh/m<sup>2</sup> er dog stadig et meget godt resultat og betyder, at der i bygningen spares omkring 68.000 kWh/år, svarende til ca. 34 tons CO<sub>2</sub> pr. år.

I forhold til bygningens energirammeberegning (BE10) er det målte forbrug for opvarmning lidt højere, hvilket kan forklares med en højere indetemperatur end de 20°C, som energirammen tager udgangspunkt i. Endvidere kan det højere forbrug



forklares med et større luftskifte gennem yderdøre til bank, café og butik samt en udvidet benyttelsestid for bygningen, dvs. flere timer med ventilation.

I appendikset efter rapporten findes TermoMax-brochuren fra Spæncom med et beregningseksempel for besparelspotentialet for en kontorbygning på 3.500 m<sup>2</sup> med et kølebehov på 100 kW. Nettoanlægsbesparelsen er beregnet til 1.925.000 kr., der er summen af reducerede omkostninger som følge af mindre køle-, ventilations- og varmeanlæg modregnet af merudgifter til termodæk, ekstrarørinstallationer og styring. Udover anlægsbesparelsen er der også en driftsbesparelse beregnet til over ca. 100.000 kr. pr. år. Denne driftsbesparelse er baseret på reducerede udgifter til servicering af de tekniske anlæg og ikke mindst en årlig elbesparelse på 16 kWh/m<sup>2</sup> fordelt ligeligt på reduceret elforbrug til køling og mekanisk ventilation.

Samlet set er det tydeligt, at termoaktive dæk er et attraktivt økonomisk energispar tiltag til at imødekomme bygningsreglementets skærpede energirammekrav til maksimalt tilladt primærenergiforbrug for kontor- og institutionsbyggeri mv.

## 5 Referencer

- [1] EFP-2001 projektet j.nr. 1213-0020 Termoaktive konstruktioner Fase 1-forprojekt; Maj 2002.
- [2] PSO-ELFOR j.nr. 464-01 projektnr. 335-20 Komfortforhold og lastudjævning ved energieffektiv køling med termoaktive konstruktioner - Fase 2: Analyse og praktiske forsøg; Oktober 2005.
- [3] EN15251: Indoor Environmental Criteria for Design and Calculation of Energy Performance of Buildings.

## 6 Formidling af resultater

Dette afsnit indeholder en liste over udvalgte præsentationer, artikler og omtale, der har omhandlet projektet og dets resultater i løbet af projektperioden:

- 1) COWI web april 2006.
- 2) Præsentation på ELFORSK Forum 18. maj 2006.
- 3) Omtale i Berlingske Tidende 27. juli 2006 "Indbygget afkøling i nye byggerier".
- 4) Nyhed i Dansk Fjernvarme 27. juli 2006 "Indbygget afkøling i nye bygninger".
- 5) Artikel i COWI feature august 2006 "Glashus med indbygget køleanlæg".
- 6) Omtale i TV Lorry 1. aug. 2006.
- 7) Input til artikel til Dansk Energi Net "F&U-projekter sætter fokus på energibesparelser i bygninger.
- 8) Omtale i SCANREF september 2006.
- 9) Artikel i ARKITEKTEN 04/06 "Termoaktive betonhuldæk erstatter mekanisk køling, kilde Spæncom, Aalborg.
- 10) Artikel i ARKITEKTEN 11/06 Tema: intelligente installationer. "Køling og opvarmning med termoaktive konstruktioner" v. Peter Weitzmann DTU.
- 11) Temamøde: Termoaktive konstruktioner for Arkitekter, COWI, 27. nov. 2006 19 deltagere, 2,5 timer.
- 12) Temamøde i Dansk Betonforening om Betons energimæssige fordele og udfordringer 6. dec. 2006, IDA, 26 deltagere, 3 timer - "Termoaktive konstruktioner" v. Reto M. Hummelshøj.
- 13) Bachelorprojekt ved BYG-DTU. Titel: "Measurement of heat transfer from thermo active building systems with an acoustic ceiling". Forfattere: Aldís

- Rún Lárusdóttir. Vejleder: Peter Weitzmann (BYG-DTU). Censor: Reto M. Hummelshøj (COWI). Januar 2007.
- 14) Pier review. REHVA Guidebook. Technical Task Force 3: Low temperature heating and high temperature cooling. Embedded water based surface heating and cooling systems. Draft for review. Kommenteret af Reto M. Hummelshøj. 24. januar 2007.
  - 15) Speciale ved BYG-DTU. Titel: "Integrated Ventilation and Heating system for Low-Energy Buildings". Forfattere: Anne Iversen og Dorthe Kragsig Mortensen. Vejledere: Svend Svendsen, Jianhua Fan, Peter Weitzmann, Toke R. Nielsen (BYG-DTU). Censor: Reto M. Hummelshøj (COWI). 22. juni 2007.
  - 16) Projektrapport ved Ingeniørhøjskolen i Århus. Titel: "Bryggen Vejle Citycenter". Forfattere: Piotr Pawel Podhajny og Helle Ørum Nielsen. Vejledere: Bl.a. Reto M. Hummelshøj (COWI), Kim Bundgård (COWI) og Finn Passov (Spæncom). 1. juni 2007.
  - 17) Speciale ved DTU "International Centre for Indoor Environment and Energy (ICIEE)". Titel: "Influence of acoustical panels on cooling capacity of Thermo-Active-Building-Systems (TABS)". Forfatter: Emanuele Pittarello. Vejledere: Bjarne W. Olesen (MEK-DTU), Peter Weitzmann (BYG-DTU) og Roberto Zecchin (Università degli Studi di Padova). Censor: Reto M. Hummelshøj (COWI). 6. juli 2007.
  - 18) Der er afholdt en række møder med arkitekter og bygherrer vedr. brug af termoaktive konstruktioner i forbindelse med nye planlagte projekter. Interessen for termoaktive konstruktioner er tydelig i branchen.
  - 19) Der har været afholdt møder entreprenørvirksomheden NCC. På disse møde er viden vedr. termoaktive konstruktioner blevet formidlet. NCC overvejer at lade teknologien indgå i deres "Company House" koncept, som er et byggekoncept for standard kontorbyggeri, der skal være "Green Building" i lavenergiklasse 2.
  - 20) I forbindelse med projektering af byggeriet af Viborg Rådhus arbejdes der med at implementere termoaktive konstruktioner (inspireret af Middelfart Sparekasse byggeriet).
  - 21) Det Kongelige Teaters Skuespilhus i København har modtaget Bæredygtig Beton prisen, der blev uddelt første gang d. 5. marts. Prisen blev givet til Skuespilhuset fordi der er anvendt termoaktive konstruktioner og belønner ingeniører, arkitekter, bygherrer og entreprenører for at tage et ekstra skridt op ad stigen mod det exceptionelle. I den forbindelse var man også opmærksom på den videre anvendelse af præ-fab termodæk på Middelfart Sparekasse.
  - 22) COWI har fortalt om brugen af termoaktive konstruktioner ved en række lejligheder og har vundet projekteringen af nye markante byggerier hvor disse systemer bl.a. indgår, herunder DONG Energy House (nyt hovedsæde i Skærbæk).

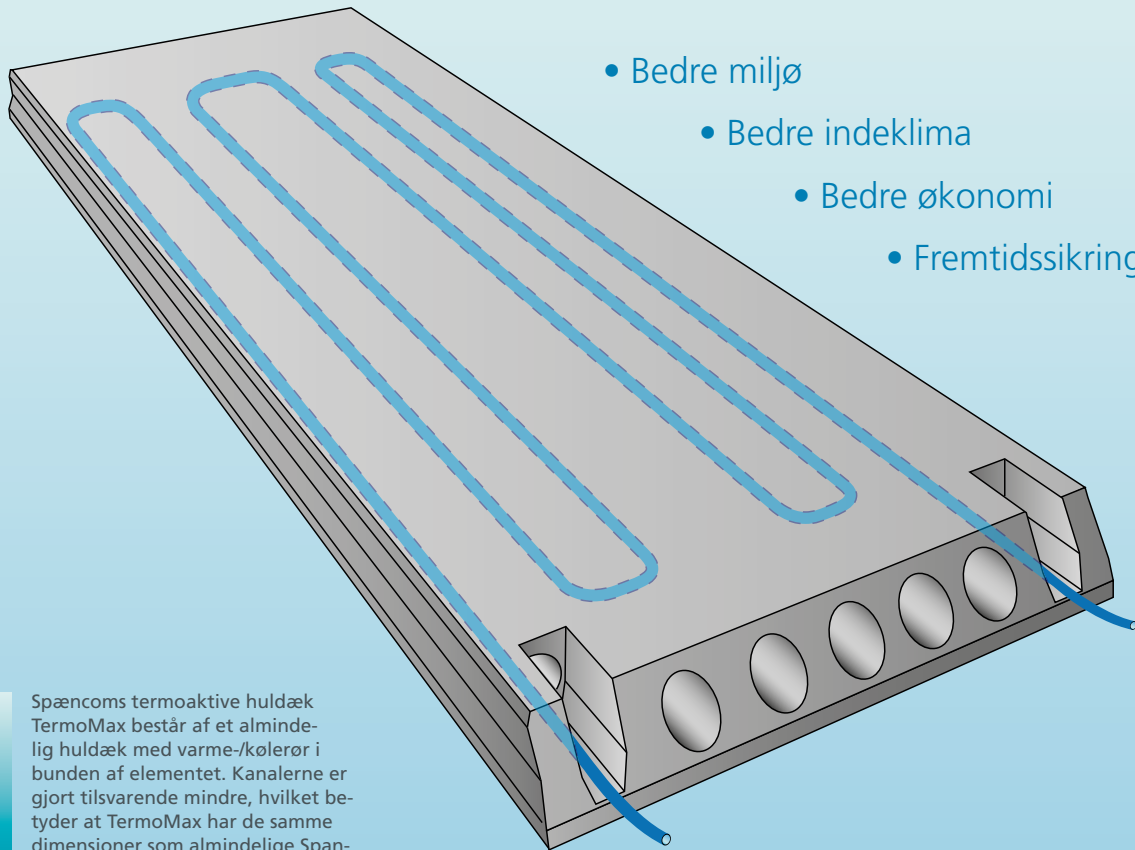
- 23) Spæncom har udgivet brochuren TermoMax - revolutionerende ny energiløsning, som giver informationer fra udviklingsarbejdet inkl. de tidligere afsluttede faser.
- 24) Spæncom v. Lars Reimer præsenterer projektet på Dansk Betondag d. 3. sept. 2009 i Helsingør. Antallet af deltagere er mellem 150 og 200. Ca. 25 minutter.
- 25) ELFORSK arrangement ifm COP15. Projektet blev præsenteret v. Reto M. Hummelshøj COWI d. 9 dec. 2009. Ca. 20 deltagere. Ca. 20 minutter.
- 26) COIN (Concrete Innovation) workshop i Oslo 26-27. januar 2010. Arrangeret af SINTEF med tema om termoaktive konstruktioner v. Reto M. Hummelshøj, COWI.
- 27) Artikel og videoklip på [www.tv2fyn.dk](http://www.tv2fyn.dk) d. 17/4-2010. "Sparekasse indvier nyt hovedsæde". <http://www.tv2fyn.dk/article/226726:Sparekasse-indvier-nyt-hovedsaede>.
- 28) Artikel i Politiken d. 25. april 2010, sektionen "Design arkitektur mode": "Sparekasse med landets største rivejern". Artiklen om Middelfart Sparekasse har fokus med arkitekturen.
- 29) Artikel i Byggeriets Dagblad "Licitationen" (DanskeArkByg) d. 26. april 2010, sektionen "Erhvervsbyggeri": "Højt til loftet". Artiklen beskriver det færdige byggeri (Middelfart Sparekasse) som helhed såvel arkitektonisk som bygge-teknisk.
- 30) Artikel i Byggeriets Dagblad "Licitationen" (DanskeArkByg) d. 31. maj 2010, sektion "Vinduer og døre": "Risikovillige vestjyder". Artiklen har fokus på vinduesløsninger og beskriver tag- og facadeløsninger for Middelfart Sparekasse inkl. systemet med naturlig ventilation.
- 31) Præsentation på EnergiForsk2010 informationsmøde d. 21. juni 2010. Præsentationen "Lastudjævning og energibesparelser ved energilagring i bygningen" blev givet under sessionen med titlen "Energibesparelser". Der var ca. 25. deltagere i denne session. Ca. 15 minutter.
- 32) Præsentation i Forum for energieffektivitet Viden-Teknologi-Netværk, 15-16. november 2011, Hindsgavl, Middelfart v. Peter Weitzmann PhD, COWI "Energilagring i bygninger, TABS / faseskift".
- 33) SpæncomNyt nr. 45, december 2011. "Termoaktive huldæk har fået dokumenteret effekten". (Artikel på forsiden).
- 34) TV-indslag på Nordjyske web-tv d. 1. januar 2012. "Kontorhus bliver vandkølet". (<http://nordjyske.dk/webtv/seneste-nyt.aspx?clipId=21289>)
- 35) Artikel i Nordjyske ([www.nordjyske.dk](http://www.nordjyske.dk)) d. 31. december 2011. "Køleslangerne sidder i lofterne."



# TermoMax

revolutionerende ny energiløsning

# TermoMax - revolutionerende ny energiløsning



- Bedre miljø
- Bedre indeklima
- Bedre økonomi
- Fremtidssikring

Spæncoms termoaktive huldæk TermoMax består af et almindelig huldæk med varme-/kølerør i bunden af elementet. Kanalerne er gjort tilsvarende mindre, hvilket betyder at TermoMax har de samme dimensioner som almindelige Spanmax huldæk.

## TermoMax - revolutionerende ny energiløsning

De nye skærpede energikrav i Bygningsreglementet 08 og byggerier med store glasfacader giver øget fokus på det energieffektive byggeri, hvor udgifterne til opvarmning og nedkøling bliver væsentligt formindsket, ligesom miljøbelastningen reduceres.

Termoaktive konstruktioner bidrager afgørende til at opfylde de nye energikrav og giver nye spændende muligheder for opbygning af byggeprojektets konstruktion.

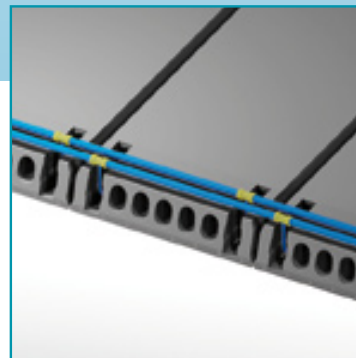
Udtrykket termoaktive konstruktioner benyttes, fordi man aktivt påvirker konstruktionen med indvendig køling/

opvarmning, samtidig med at betonens varme- og kuldeakkumulerende evne udnyttes.

Denne teknik garanterer en energibesparende bygning med behageligt indeklima, idet det virker som gulvarme om vinteren og som køleloft om sommeren. Dynamisk aktivering af termisk masse er en optimal løsning brugt i mange lande gennem mange år.

Erfaringer fra vores nabolande har vist, at der er mange fordele ved at benytte funktionelle betonelementer med indstøbte plastslanger til køling og opvarmning af bygningskonstruktioner.

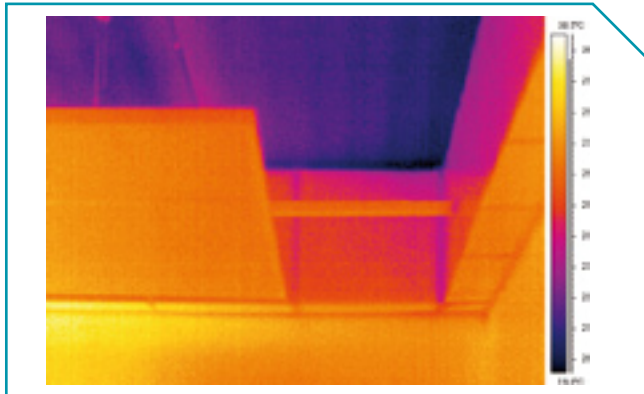
Overført til danske klimaforhold be-



Eksempel på rørsamlinger mellem TermoMax huldæk.

tyder det en besparelse på op til 75-85% af energiforbruget til køling.

En moderne betonbygning termisk masse udnyttes optimalt i termoaktive konstruktioner, idet behovet for mekanisk køling nedsættes ved at køle



Det termografiske billede viser effekten af det termoaktive huldæk i gang med at bortskaffe overskudsvarme ved hjælp af enkel lavenergiteknologi. En højtemperaturkøling i indstøbte vandslanger med op til 20 grader fremløb køler dette kontorrum, som endnu har en rumtemperatur på ca. 27 grader. Dette kan ses på temperaturskalaen til højre. Den store køleflade kombineret med den høje køletemperatur skaber behagelige komforttemperaturer uden kuldenedfald og træk.

bygningens termiske masse ned om natten. Når det store kølebehov opstår midt på dagen, kan hele bygningen "trække" varme ud af kontoret ved at lagre den i bygningen. Udover køling kan de termoaktive dæk sikre den nødvendige grundopvarmning i velisolerede bygninger. Derved spares hele eller dele af varme anlægget.

Ved brug af termoaktive konstruktioner spares ligeledes anlægsudgifter og plads til installationer. Ventilationskanaler kan udføres med mindre dimension, da køling ikke skal bæres med ventilationsluft, dvs. at ventilationsanlæg kun skal tilvejebringe frisk luft (et luftskifte på 1-2 gange i timen i stedet for et luftskifte på normalt 4-8 gange i timen). Varme anlæg kan dermed udføres med mindre dimensioner på rør og varmeklader. Dermed kan der spares dyr etagehøjde eller give plads til en ekstra etage på et 7 etagers højhus.

Kompressorkøleanlæg er ikke længere nødvendige, idet der ofte kan bruges natkøling eller geotermisk køling.

Der er således mange fordele mht. komfort, fleksibilitet, energianvendelse og økonomi.

## Mindre energianvendelse - bedre økonomi

Højtemperaturkøling (16 – 20 °C)

Lavtemperaturopvarmning (30 °C eller lavere)

Aktiv og dynamisk natkøling

Kølekompressorer kan eventuel udelades

Spar op til 75-85 % af el-forbrug til køling

Spar op til 75-85 % af el-forbrug til mekanisk ventilation

Mindre kanaler til mekanisk ventilation (dimensioneres til 1-2 gange i timen mod normalt 4-8 gange i timen)

Velegnet sammen med styret naturlig ventilation

Reducerer konventionel opvarmning

Ingen trækgener

Ingen kondensering selv ved høje varmebelastninger

Meget stor køleeffekt op til 65 watt/m<sup>2</sup>  
(ved temperaturforskel på 10 °C)

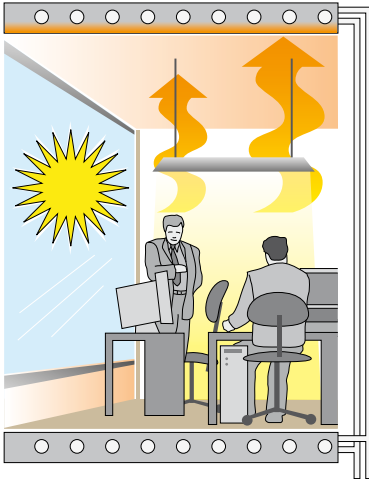
Dækker dimensionerende varmebehov på op til 35 watt/m<sup>2</sup>

Spar dyr etagehøjde eller giv plads til en ekstra etage på et 7 etagers højhus, idet etagehøjden kan sænkes, da ventilationskanaler er mindre.



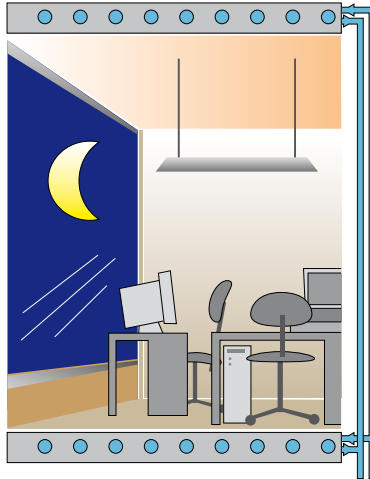
# TermoMax - revolutionerende ny energiløsning

## Termisk aktivering i bygninger



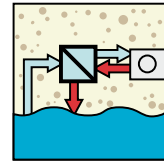
### Dag:

I løbet af dagen vil solindfald, computere og dine kollegaer opvarme luften og efterhånden også bygnings vægge og lofter. Opvarmningen fortsætter over mange timer og derved ophobes der for meget varme i konstruktionen.

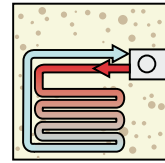


### Nat:

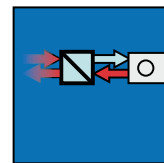
Ved at tilføre vand med en temperatur på 19-20 grader gennem de termoaktive huldæk vil den opsamlede overskudsvarme blive fjernet, og temperaturen i konstruktionen vil være tæt på stuetemperaturen. Konstruktionen er dermed klar til den næste dags tilskud af overskudsvarme.



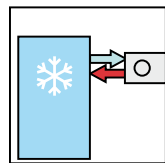
Grundvand



Geotermisk varme/køling



Natte luft



Køle enhed

### Kølemetoder:

De fleste danske bygninger kan køles med naturens egne kølemetoder - natteluft, geotermisk køling eller grundvand. Til bygninger med særlige varmeproblemer kan der anvendes kunstig køling i form af kølekompressorer. Kompressoren behøver ikke at have en stor kapacitet, da der er høje fremløbstemperaturer i huldækket.

## Fremtidens bygningsdele skal være dynamiske og responsive

Der vil indenfor de næste 10 år blive stillet meget skrappe krav til energiforbruget i vores bygninger og en forudsætning for at vi kan løse disse udfordringer er en ændret holdning til bygningens facader og konstruktioner.

De skal i fremtiden kunne indgå aktivt i klimatiseringen af bygningen og bidrage til reduktion

af behovet for opvarmning, køling, ventilation og belysning ved at kunne ændre karakteristika dynamisk i forhold til ændringer i udeklimaet, bygningens anvendelse og brugernes behov.

De kommer dermed til at spille samme rolle i bygningen som hud og blodårer spiller for menneskets varmeudveksling og velbefindende.

En dynamisk og responsiv bygningsdel vil i langt højere grad være i stand til at udnytte vedvarende energikilder, kunne kontrollere energitransport, lagre energi og udjævne belastninger.

TermoMax er et glimrende eksempel på fremtidens bygningsdele, hvor besparelse på både omkostninger og energiforbrug opnås gennem fuld integration af bygningsdelens oprindelige funktion med bygningens energi- og indeklimaløsning.

**Af Per Heiselberg**  
Ph.d., civilingeniør  
Professor AAU

### Forskningsområder:

**Byggeri:** Energi-effektivt og klimatilpasset byggeri • Lavenergibyggeri • Passive energiteknologier (dagslys, passive solvarme, naturlig ventilation, naturlig køling)

**Energi:** Bygningsfysik • Indeklima • Naturlig og mekanisk ventilation

## Besparelspotential

Anvendelsen af TermoMax vil medføre såvel umiddelbare besparelser på byggeomkostningerne og løbende reduktion af driftsomkostningerne. Besparelspotential vil afhænge af udformningen af hvert enkelt byggeri. Som indikation er nedenfor anført nogle grove estimater over såvel anlægsøkonomi som driftsøkonomi. Beregningerne tager udgangspunkt i et byggeri med et dimensionerende kølebehov på 100 kW, svarende til et moderne kontorbyggeri på 3500 m<sup>2</sup>.

De anvendte priser, der alle er ekskl. moms, er hovedsageligt taget fra "PSO ELFOR" projektet "Komfortforhold og lastudjævning ved energieffektiv køling med termoaktive konstruktioner", dog fremskrevet med 3% årligt.

### Anlægsbesparelser: Sparede omkostninger:

- køleanlæg (udover frikøleflader) ca. kr. 770.000
- køle- og varmecentral (installationer og bygningsarbejde) ca. kr. 1.200.000
- ventilationsanlæg (fra 4-8h<sup>-1</sup> til 1-2h<sup>-1</sup>) ca. kr. 1.750.000
- reduceret varmeanlæg (2/3 af normal installation) ca. kr. 770.000

### Meromkostninger:

- termoaktive betonelementer ca. kr. 1.000.000
- rørinstallation, fordelerstationer mv. ca. kr. 770.000
- CTS og prediktiv styring ca. kr. 400.000

- tilpasset akustikløsning ca. kr. 400.000

### Netto besparelse

- (anlægsomkostninger): ca. kr. 1.925.000

Nettobesparelsen udgør således ca. 550 kr./m<sup>2</sup>, der dog kan variere afhængigt af det konkrete byggeprojekt.

### Driftsbesparelser:

Med brugen af de termoaktive konstruktioner og deraf følgende mulighed for reduceret ventilation kan der opnås en årlig elbesparelse på typisk 16 kWh/m<sup>2</sup>, fordelt ligeledes på reduceret elforbrug til køling og reduceret elforbrug til mekanisk ventilation, da den mekaniske ventilation ikke skal bære tilførsel af køling eller varmeenergi, men kun skal levere det nødvendige luftskifte på typisk 2 gange i timen i benyttelsestiden.

For byggeriet i eksemplet udgør den årlige besparelse (ekskl. moms):  
El: 16 kWh/m<sup>2</sup> × 3500m<sup>2</sup> ÷ 1000 × 1500 kr./MWh = 84.000 kr./år  
Sparet årlig servicering: 40.000 kr./år  
Den mulige varmebesparelse ved systemet er ikke medregnet. Den samlede driftsbesparelse udgør altså 124.000 kr./år eller ca. 35 kr./m<sup>2</sup> pr. år.

### Totaløkonomi:

I overvejelserne om totaløkonomi skal ud over anlægsinvesteringerne og de løbende driftsforhold tillige indregnes behovet for reinvesteringer i udtjente komponenter. Det er oplagt, at disse

### FAKTABOKS

#### TermoMax:

Spæncom har med udgangspunkt i et PX27 huldæk udviklet et 1,2 meter bredt TermoMax huldæk, der i forhold til traditionelle PX27, har en ekstra tyk bundplade med indstøbte 20 mm PEX-rør, der løber under de langsgående huller i dækket. Gennem disse slanger cirkuleres vand. Slangerne lægges med en afstand på ca. 15 cm med 6 træk for hvert element. Slangerne arbejder sammen med betonen og den termiske masse udnyttes til at oplagre energi. TermoMax kan anvendes til spændvidder op til 12 meter afhængigt af svingningsfølsomheden.

reinvesteringer er højere ved et traditionelt anlæg, hvilket yderligere vil forbedre nutidsværdien, set over en 30 årig driftsperiode.

Selv uden at tage disse reinvesteringer i regning, er nutidsværdien set over en 30-årig periode med en diskonteringsrente på 5% godt 3 mio. kroner.

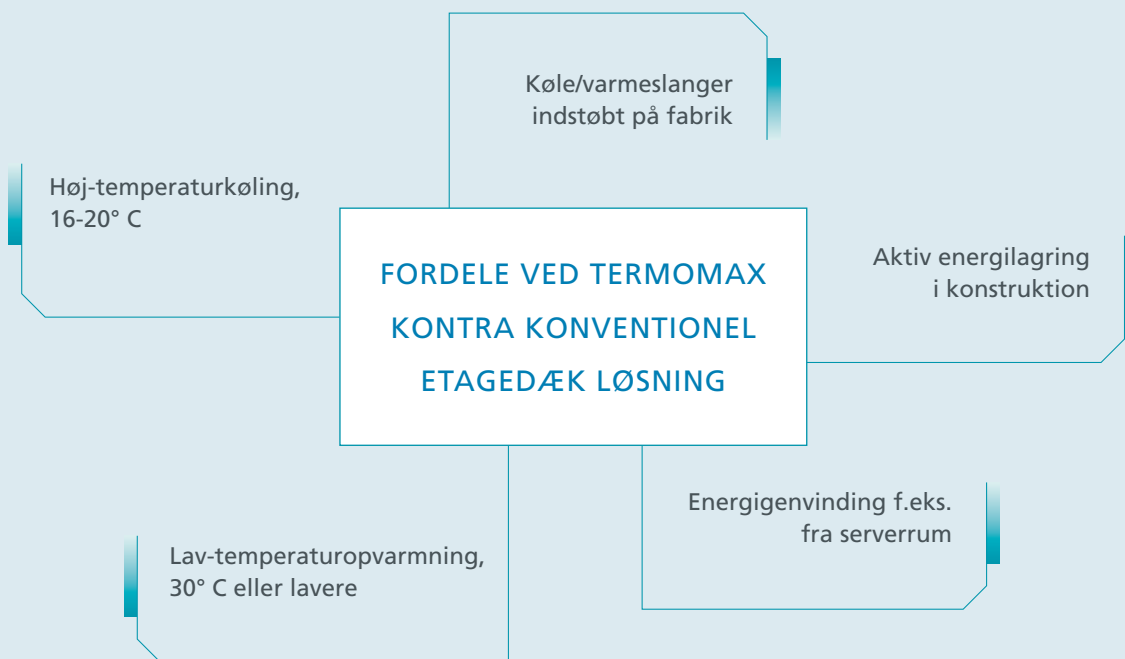
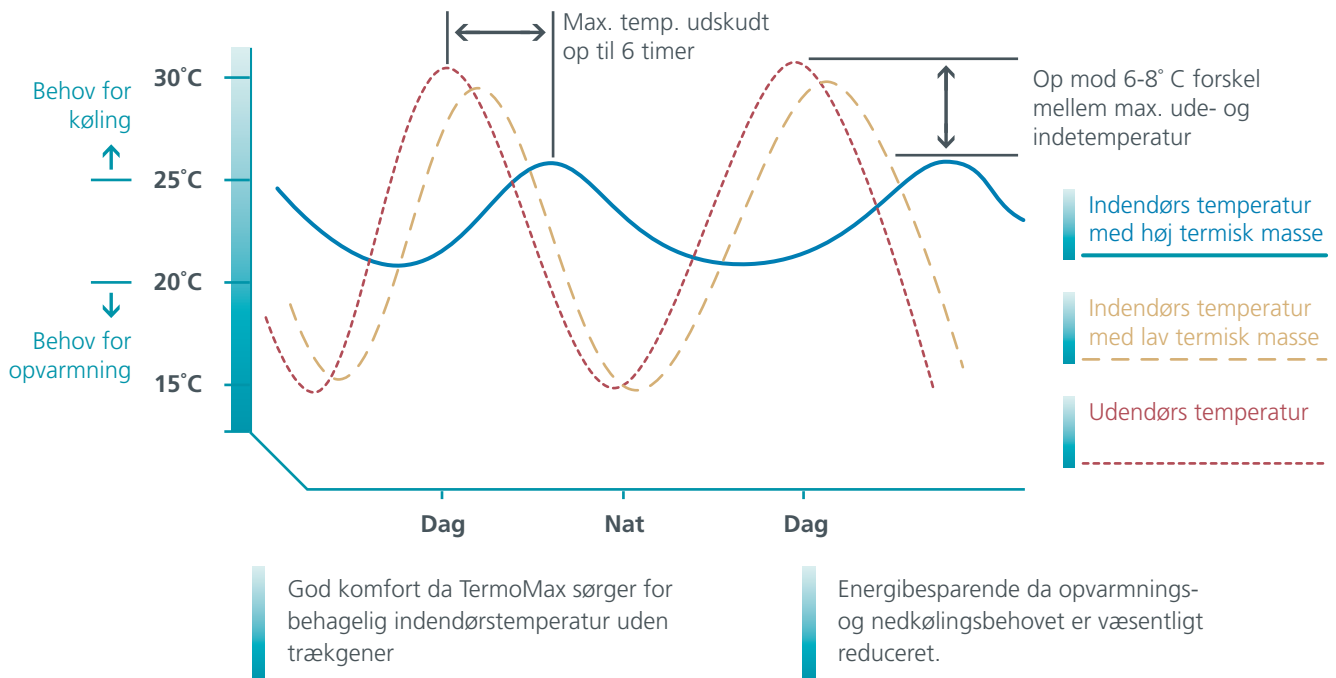
Det er tydeligt, at termoaktive dæk er et attraktivt økonomisk energispar tiltag blandt flere til at imødekomme bygningsreglementets skærpede energirammekrav til maksimalt tilladt primærenergiforbrug på 95 eller 70 kWh/m<sup>2</sup> for henholdsvis kontorer og boliger.

### FAKTABOKS

#### Minimer CO<sub>2</sub>:

Med TermoMax vil en kontorbygning på 3500 m<sup>2</sup> hvert år opnå en reduktion af CO<sub>2</sub>-forureningen på 30 tons. (30 tons CO<sub>2</sub> svarer til den årlige forurening fra 10 biler)

# TermoMax - revolutionerende ny energiløsning



Beton er et holdbart materiale med lav miljøbelastning og stor formåen til varmelagring og lydisolering. Præfabrikerede betonelementer indeholder desuden minimalt fugt, hvilket gør

risikoen for fugtskader minimal. Det giver sunde bygninger at leve og arbejde i. En bygning med elementer fra Spæncom er en velfungerende helhed, hvor

økonomi, komfort, miljøomtanke, enkelthed og driftssikkerhed går hånd i hånd.

**Fra passive til aktive byggerier med TermoMax - Den energirigtige løsning!**



Model af Middelfart Sparekasse  
(Model og foto: 3XNielsen)

De første TermoMax huldæk er monteret og sammenkobling af vandslanger er igang.  
(Rådgivende Ingeniør: COWI A/S)



## Optimalt energikoncept med TermoMax

Byggeriet af nyt hovedsæde til Middelfart Sparekasse er i fuld gang. Bygningen vil komme til at fremstå som en krondiamant inden for miljøbesparende teknologi. Det er 3xNielsen, der har tegnet den 5.500 m<sup>2</sup> store bygning og COWI, der er ingeniør på projektet.

- Vi ønsker en miljørigtig løsning på vores el- og vandforbrug i bygningen,

udtaler adm. direktør for Middelfart Sparekasse Hans Erik Brønserud. Vi har i samarbejde med vores rådgivere valgt en metode, der udnytter betovens evne til at udjævne rumtemperaturen over et døgn ved at optage og afgive varme. For at holde energiforbruget nede har vi valgt en metode, der er baseret på TermoMax fra Spæncom - præfabrikerede betondæk

med indstøbte PEX-rør. Disse termoaktive huldæk udnytter betonen til at udjævne temperaturen over døgnet, og således minimere energiforbruget til køling og opvarmning. Om sommeren vil TermoMax være med til at afkøle bygningen og om vinteren varme den op, hvis nødvendigt. Vi ser frem til at præsentere det færdige byggeri i 2010.



**Spæncom A/S**  
Akacievej 1  
DK-2640 Hedehusene

**Spæncom A/S**  
Borgergade 102  
DK-4241 Vemmelev

**Spæncom A/S**  
Lundevej 17  
DK-4030 Tune

**Spæncom A/S**  
Soneberg 7  
DK-6000 Kolding

**Spæncom A/S**  
Box 7009, Letvadvej 37  
DK-9200 Aalborg SV

Tlf. (+45) 8888 8200  
Fax (+45) 2817 8202  
E-mail: info@spaencom.dk

[www.spaencom.dk](http://www.spaencom.dk)

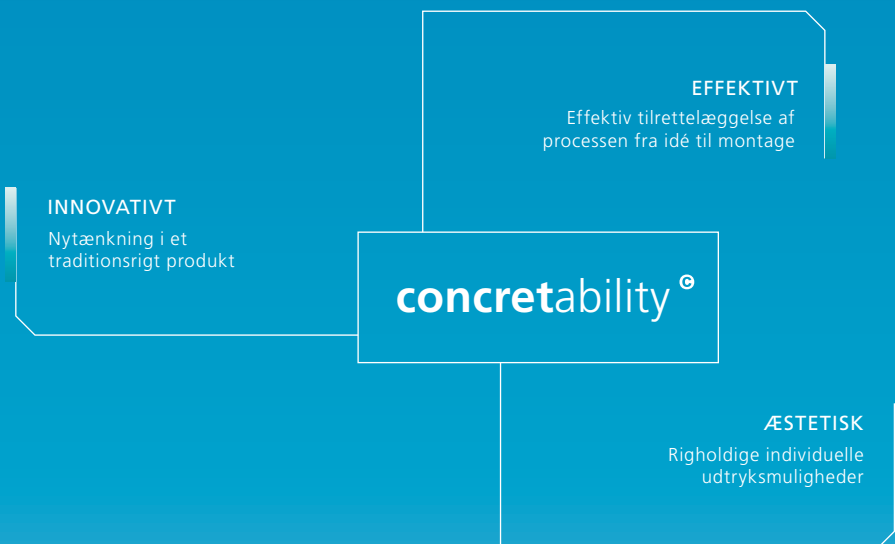
## Turning ideas into concrete knowledge

Hos Spæncom vil vi gerne være med fra projektets start. Derved kan vi bidrage med viden og erfaring, så de "rigtige" elementkonstruktioner fastlægges hurtigt, og produktionsomkostningerne minimeres ved at indpasse Spæncoms standard løsninger i projekterne. Herudover udfører Spæncom i mange tilfælde projektoptimeringer i samarbejde med vores kunder. Disse projektoptimeringer kan ske både i tilbudsfasen og efter ordreindgåelse.

Der findes mange virksomheder i Danmark. Men kun én, der baserer sin virksomhed på Concretability.

Concretability er et udtryk for, hvad Spæncom kan tilbyde. På den ene side det konkrete, håndgribelige produkt – og på den anden side tankegangen bag det vi fremstiller og den indsigt, som vi besidder.

Concretability beskriver de hovedområder, hvor Spæncom gør en forskel.



Når det gælder innovation har Spæncom lang erfaring med at tænke aktuelle behov ind i et traditionsrigt produkt.

Når det gælder rationel udvikling, projektering, produktion og montage af betonelementer har Spæncom lang erfaring med at tænke effektivt fra idé til montage.

Når det gælder æstetik lægger vi vægt på, at Spæncoms kunder til stadighed har en bred vifte af individuelle valgmuligheder.

## Få mere at vide

Hvis du har brug for yderligere produktinformationer eller tekniske anvisninger i forbindelse med projektering og montage - eller hvis du vil downloade tegninger og samlingsdetaljer i dwg- eller pdf-format - så klik ind på Spæncoms hjemmeside på [www.spaencom.dk](http://www.spaencom.dk).

## Termoaktive huldæk har fået dokumenteret effekten



Med offentliggørelsen af 2020 energikravene til nye bygninger er der kommet et pejlemærke for fremtidens krav til energiforbruget i vores bygninger.

Bygningens konstruktioner skal i fremtiden kunne indgå aktivt i klimatiseringen af bygningen og bidrage til reduktion af behovet for opvarmning, køling, ventilation og belysning ved at kunne ændre karakteristika dynamisk i forhold til ændringer i udeklimaet, bygningens anvendelse og brugernes behov.

Med Spæncoms TermoMax opnås der besparelser på både omkostninger og energiforbrug gennem fuld integration af bygningsdelens oprindelige funktion med bygningens energi- og indeklimaløsning.

Det første byggeprojekt med TermoMax var Middelbart Sparekasse, der stod klar i maj måned 2010. Det seneste år har DTU foretaget målinger af hele bygningens indeklima og energiforbrug, og i løbet af sommeren 2011 har de foretaget en konkret og dybdegående performance ana-

lyse af TermoMax. Dette har resulteret i en omfattende rapport om den indendørs komfort og energiforbruget i Middelbart Sparekasse.

Det er centerleder og professor Bjarne W. Olesen, der har været projektleder på rapporten.

– Rapporten viser bl.a. at præfabrikerede termoaktive løsninger giver gode resultater selv i arkitektoniske sofistikerede bygninger, udtaler Bjarne W. Olesen.

– I rummet, hvor der blev kølet udelukkende med TermoMax, blev der opnået meget gode resultater. Udsvingene for rumtemperaturerne var her små og lå indenfor komfort intervallet, hvilket medførte et behageligt indeklima og dermed gode arbejdsforhold. Andre fordele ved TermoMax var den lydløse og usynlige installation samt en forbedring af energieffektiviteten på køleanlægget, siger Bjarne W. Olesen.

– Måleresultaterne viste også, at TermoMax gav de forventede gode resultater selvom 80 % af TermoMax huldækkene var dækket af nedhængte tremmelofter, slutter Bjarne W. Olesen.



Selv med nedhængte lofter giver TermoMax gode køleresultater.

Siden leverancen af TermoMax til Middelbart Sparekasse har Spæncom også leveret til andre projekter. Seneste leverance bestod af 6.000 m<sup>2</sup> TermoMax til COWI's nye kontordomicil i Aalborg.

De opnåede erfaringer og standardiseringer af slanger og net har betydet, at såvel projekteringen som produktionen nu er blevet væsentlig mere effektiv. Til COWI byggeriet er det MT Højgaards montagesjak, der har stået for monteringen af TermoMax, og de har også udtalt sig positivt om produktet. De har kunnet montere 7-8 elementer i timen, så også montagen er gået nemt og hurtigt.