

Det skjulte indeklima - Termoaktive konstruktioner

Udenlandske erfaringer og et nyt dansk forskningsprojekt viser, at tunge betonkonstruktioner med indstøbte "klimaenlæg" kan give godt indeklima med lavt energiforbrug og enkle tekniske installationer, selv i kontorbyggerier med middelstor varmebelastning.

Af Jens Ole Hansen, Trine D. Jacobsen og Peter Weitzmann

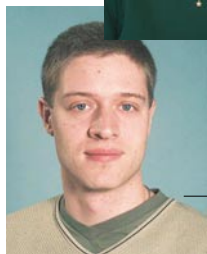
Jens Ole Hansen, COWI A/S, er uddannet Civilingeniør og HD og arbejder som projektleder og proceskonsulent i COWIs serviceprogram for Forskning & Udvikling af Vedvarende Energisystemer.



Trine Dalsgaard Jacobsen, TI-Energi, er uddannet civilingeniør fra DTU i 1998 og har siden da arbejdet på Teknologisk Institut, Energi med forskning og udvikling indenfor energianvendelser og indeklima i bygninger. Hovedfagområder er termisk indeklima, naturlig og hybrid ventilation og udnyttelse af bygningsintegreret solenergi.



Peter Weitzmann, BYG.DTU, er uddannet som civilingeniør i år 2000 med et eksamensprojekt omhandlende gulvvarme. Peter har siden arbejdet som ph.d. studerende på BYG.DTU og skriver på en afhandling med titlen "Simuleringsmodeller af bygninger med bygningsintegrerede varme- og kølesystemer".



Fakta om Termoaktive konstruktioner

- Et fælles varme og kølesystem baseret på væskebåret slanger indstøbt i betondæk.
- Om sommeren virker loftet som et køleloft.
- Om vinteren virker gulvet som gulvvarme.
- Når det er varmt trækker dækket varme ud af kontoret, og når det er koldt tilfører dækket varme.
- Bygningen følger brugerens oplevelse af indeklimaet uden komplicerede styresystemer.
- Der er ingen synlige radiatorer eller kølebløddere.
- Anlægsprisen er lavere end ved traditionelle løsninger.

Sælges gennem Deres lokale VVS-installatør

uridan®
non water system

Sparer vandet 100%

224 stk. på Brøndby stadion

100% lugtfri
Nem at rengøre
Elegant design
Leveres i flere farver
Ring efter brochure og referenceliste

uridan a/s
Snerlevej 3 • 6100 Haderslev
E-mail: reese@uridan.com
Besøg vor hjemmeside:
www.uridan.dk
7452 6510

En termoaktiv konstruktion er en tung bygningskonstruktion med indstøbte slanger, som udgør bygningsens eneste varme- og kølesystem. Udenlandske erfaringer peger på positive brugererfaringer med indeklimaet i byggerier med termoaktive konstruktioner. Samtidig synes systemet at være konkurrencedygtigt på anlægsøkonomien i forhold til traditionelle varme- og kølesystemer. De udenlandske byggerier er baseret på in-situ støbte betondæk, men da den danske byggetradition hovedsageligt er baseret på præfabrikeret elementbyggeri er det nødvendigt at udvikle et produkt til dansk byggeri.

For at vurdere om principerne kan overføres til dan-

ske forhold gennemførte COWI, Teknologisk Institut - Energi og BYG.DTU et forprojekt finansieret af Energistyrelsens EFP-program, J.nr.1213/01-0020. Resultaterne af forprojektet præsenteres i denne artikel.

Dynamiske virkemåde

En termoaktiv konstruktion er et væskebaseret opvarmings- og kølesystem, som til fulde udnytter:

- Bygningens termiske masse
- Bygningens store indvendige overfladeareal.

En moderne betonbygning termiske masse udnyttes optimalt i termoaktive konstruktioner. I traditionelle kølesystemer er systemet

kun aktivt, når der er varmebelastning, og derfor skal kølekapaciteten være temmelig stor. Termoaktive konstruktioner nedsætter behovet for køling ved at køle bygningens termiske masse ned om natten. Når det store kølebehov opstår midt på dagen, kan hele bygningens „trække“ varme ud af kontoret ved at lagre den i bygningen. Rumtemperaturen bliver derfor ikke høj.

Den væske, der løber i et køleloft, bestemmer køleanlæggets køleeffekt, dvs. hvor meget varme køleanlægget aktuelt kan fjerne. Den effekt hvormed de termoaktive konstruktioner fjerner varme under spidsbelastningen, kan være op til 15-30% større end den effekt,

som væskestrømmen i de termoaktive konstruktioner kan levere. Det skyldes, at væsken allerede har fjernet en stor mængde energi fra bygningen natten i forvejen, da den kølede bygningens masse. Med andre ord behøver slangedimensionerne i de termoaktive konstruktioner ikke være af store dimensioner, og derved spares der på anlægskonomien.

Når der er et opvarmningsbehov kan der benyttes væsketemperaturer på 23-30°C. Omvendt kan der når der er et kølebehov benyttes væsketemperaturer på 18-20°C. I begge tilfælde er der tale om temperaturer, som er tæt på den ønskede rumtemperatur, hvilket betyder, at det vil være nærliggende at benytte vedvarende energikilder eller spildvarme til opvarmning og natkøling eller grundvand til køling. Hermed er det også sagt, at temperaturen specielt ved køling vil variere mere i løbet af en arbejdsdag end i et kontorbyggeri med air-condition.

Indeklimaet

Termoaktive konstruktioner giver et godt termisk indeklima, fordi det virker som gulvvarme om vinteren og som køleloft om sommeren. Men det giver faktisk et endnu bedre indeklima end almindelig gulvvarme og kølelofter:

Der er foretaget dynamiske simuleringer af indeklimaet i et typisk kontorbyggeri med storrumskontor. Til simuleringerne er anvendt programmet TRNSYS. Formålet var at analysere de termoaktive konstruktioners effekt på det termiske indeklima i form af operative temperaturer, overfladetemperaturer og strålingsasymmetri. De gennemførte beregninger bekræfter de internationale erfaringer på området, nemlig at det termiske indeklima kan forbedres ved brug af termoaktive konstruktioner.

I nedenstående figur 1 er vist et eksempel på beregnede temperaturer i et højt belastet storrumskontor (40W/m²) med øst/vestvendte glasfacader med „standard“ solafskærmning i en uge med stort solindfald og høje udetemperaturer. De termoaktive konstruktioner er aktive hele døgnet med en indløbstemperatur på 18°C. Udløbstemperaturen varierer over døgnet, så der i nattetimerne er en temperaturdifferens på ca. 1°C og i dagtimerne en temperaturdifferens på ca. 2-3°C.

Den operative temperatur når i dette tilfælde på ca. 27°C i korte perioder sidst på eftermiddagen på de varmeste dage. Overfladetemperaturen på det termoaktive loft svinger mellem ca. 20°C om natten og op til 23-24°C om dagen. Loftet er dermed ikke så koldt som et traditionelt køleloft. Gulvtemperaturen ligger tæt ved den operative temperatur. Der er ikke problemer med strålingsasymmetri.

På årsplan vil de operative temperaturer i det viste eksempel ligge med ca. 62 timer over 26°C og ca. 6 timer over 27°C. Det vil sige, at der ikke er nogen problemer med overholdelse af retningslinierne fra DS 474, selv for et højt belastet kontorhus. For et middel belastet kontorhus (20 W/m²) behøver konstruktionerne kun at være aktive i nattetimerne.

Der er endvidere gennemført en række beregninger af temperaturforholdene inde i betondækket med Finite Difference programmet Heat2. Beregningerne har givet svar på hvordan et præfabrikeret betonelement skal opbygges for at opnå den ønskede termiske virkning. Dette omfatter antallet og dimensionerne af slangerne samt placeringen i dækket. Figur 2 viser sammenligningen mellem anvendelsen af fire og syv slanger. Det fremgår at gulvsiden stort set har sam-

NYHED DER FLYTTER GRÆNSER



Ny serie industrielle ventilationsanlæg med ekstrem høj genvinding

Genvex præsenterer nu sin helt nye serie af store ventilationsanlæg med modstrømsvarmevekslere og kapaciteter på 1.500, 2.000, 3.000, 4.000 og 5.000 m³/h.

Den nye generation af ventilationsanlæg udmærker sig ved en ekstrem høj genvindingsgrad og sætter dermed helt nye normer for effekten af den investerede energi. Den gennemsnitlige genvindingsgrad er øget fra 60 til 85%.

Få også alle informationer om det komplette Genvex produktprogram der omfatter:

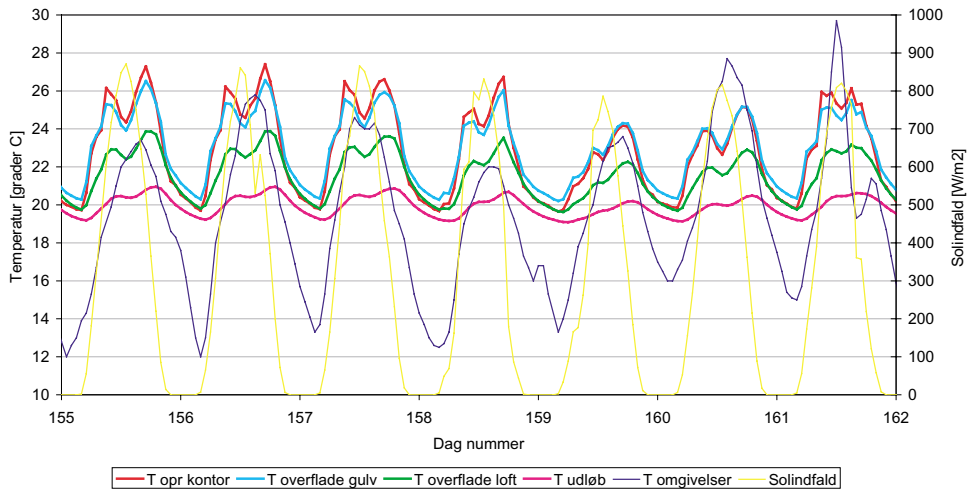
- Modstrømsvarmevekslere
- Krydsvarmevekslere
- Indblæsningsaggregater
- Udsugningsaggregater
- Varmepumper
- Brugsvandsvarmepumper
- Automatik
- Centralstøvsugere

 **Genvex**[®]

Genvex A/S

Sverigesvej 6 · DK-6100 Haderslev
Tel. +45 73 53 27 00
Fax +45 73 53 27 07
e-mail: salg@genvex.dk · www.genvex.dk

Termoaktive konstruktioner aktive hele døgnet
uge 23



Figur 1. Temperaturforløb i storrumskontor med termoaktive konstruktioner, der er aktive hele døgnet.

me temperatur, mens loftet har en mindre forskel på op til et par grader. Slangean-tallet bestemmes under en konkret projektering.

Heat2 beregningerne blev også benyttet til at bestemme den maksimale effekt som kunne fjernes fra et rum ved givne kombinationer af rum- og væsketemperatur, både ved steady state beregninger og ved dynamiske påvirkninger. Her blev der blandt andet fundet en lineær sammenhæng mellem den effekt der kan fjer-

nes fra rummet og temperaturforskellen mellem rum- og væsketemperatur. Samtidig kunne det fastslås at systemet under dynamiske påvirkninger i løbet af arbejdsdagen kan fjerne en større effekt fra rummet end der fjernes ved cirkulation af væske i slangerne i betondækket.

Styring

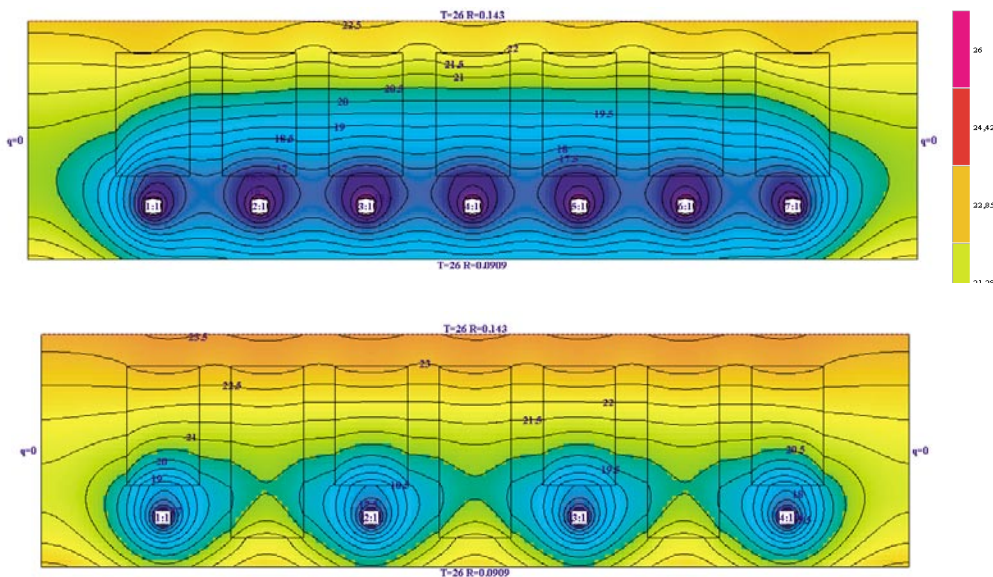
En termoaktiv konstruktion er på en gang både nem og svær at styre. På grund af udnyttelsen af den termiske

masse i betondækket kan temperaturen ikke sættes til at skulle være f.eks. 23°C og så forvente at temperaturen vil være præcis på dette niveau. Det skyldes selvfølgelig, at betonmassen vil gøre styringen meget træg og dermed gør det umuligt at ramme en given temperatur præcist. På den anden side vil svingningerne ikke være store. Styringsstrategien meget enkel at gennemføre, idet der blot konstant skal benyttes en fast fremløbstemperatur som er afhængig af årstiden. Det

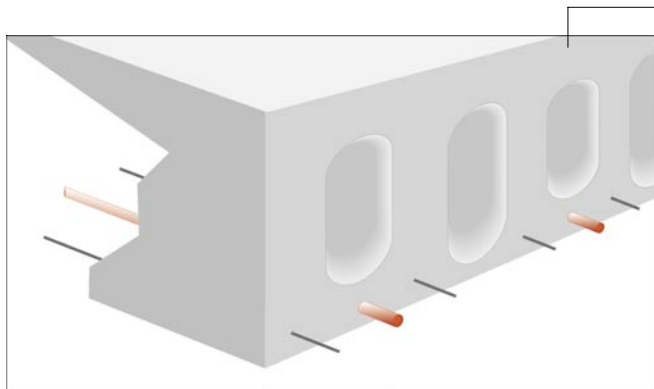
aktuelle valg af temperatur afhænger selvfølgelig også af en lang række andre faktorer som bygningens interne varmetilskud, solindfald, isoleringsniveau med mere

Barrierer og begrænsninger

Der er naturligvis nogle barrierer i forbindelse med brugen af termoaktive konstruktioner. Den væsentligste er, at der pt. ikke findes et industrialiseret produkt i Danmark. Alle udenlandske erfaringer er baseret på in-situ støbte byggerier. For- ▶



Figur 2. Til HEAT2-eksemplet: Medievæske temperaturen er 15°C, og rumtemperaturen er 26°C. Der er syv slanger i øverste dæk, og fire slanger i nederste dæk. På gulvsiden er der næsten ingen forskel i overfladetemperaturen, mens der er mindre lokale forskelle i loftsiden. (Beregnet i programmet Heat2).



Princippet ved termoaktive konstruktioner: Slange til væskebåren køling eller opvarmning indstøbes i etageadskillelserne.

projektet har dog vist at det sandsynligvis er muligt at fremstille et præfabrikeret element i Danmark. Der mangler dog en udviklingsindsats før et produkt kan sælges kommercielt.

Af tekniske begrænsninger skal nævnes den maksimale køle- og varmeeffekt, som kan komme fra en termoaktiv konstruktion. På varmesiden bør den installerede effekt være mindre end 30 W/m^2 , og på kølesiden bør den installerede effekt være mindre end 50 W/m^2 . På grund af den (trods alt) begrænsede køleeffekt der er til rådighed, vil systemet ikke være egnet til kontorer med en meget stort intern varmelast.

Et andet teknisk problem kan være akustik. I dag opføres der utallige storrumskontorer, hvor loftet anvendes til akustikregulerende foranstaltninger. Denne mulighed er kun ringe til stede ved brugen af termoaktive konstruktioner, hvor loftet skal være blotlagt. I cellekontorer er der ingen problemer, idet der er rigeligt med væg til at foretage en akustikregulering. En mulig løsning på dette problem kan være at anvende lydlameller eller nedsænkede flåder, der dog vil reducere køleeffekten noget.

Konklusion

Der er mange fordele, og få ulemper, ved at bruge termoaktive konstruktioner. Fordelene er:

- Godt termisk indeklime både sommer og vinter.
- Opvarmning kan ske ved medietemperaturer mellem $23\text{-}30^\circ\text{C}$, altså et lavtemperatursystem, der muliggør anvendelsen af spildvarme, vedvarende energi eller traditionel fjernvarme med stor afkølingsbonus.
- Køling kan ske ved $18\text{-}20^\circ\text{C}$ medietemperatur, som ofte kan tilvejebringes naturligt ved natkøling af kølemediet, altså helt uden brug af mekanisk køling.
- Usynlige installationer.
- Mulighed for lavere byggehøjde (eller større rumhøjde) grundet mindre ventilationsanlæg

Ulemperne er:

- Indpasning i dansk byggetradition med betonelementbyggeri kræver udvikling af industrielt produkt.
- Manglende erfaringer fra danske demonstrationsbyggerier
- Mere kompliceret akustikregulering i storrumskontorer



I Danmark er begrebet termoaktive konstruktioner stort set ukendt og ubrugt i modsætning til længere syd på i Europa. Tyskland har eksempelvis hundreder af større byggerier med dette varme- og køleprincip. Her et par eksempler på bygninger med Wirsbo-Velta's system til „betonkerneaktivering“, der indbygges ved insitu-støbning af betondæk: Tv. Mercedes World, Daimler Benz' udstillingsbygning ved Salzufer i Berlin og th. Hamburg-byggeriet „Berliner Tor“.

Den sidste fordel, som ikke har været nævnt hidtil, er den økonomiske. Driftsøkonomien for et termoaktivt system er lidt lavere end for konventionelle løsninger. Men den største gevinst findes i anlægsøkonomien, som er til fordel for de termoaktive konstruktioner på flere måder; Der spares i køle- og varmecentral pga. gunstig temperaturdrift og varme- og kølesystemet er samlet til ét system. Den endelige besparelse forventes at være på omkring 50% af omkostningerne til konventionel varme- og kølesystem. Men hvad den nøjagtige besparelse egentlig bliver ved vi først når et industrielt produkt er fær-

digudviklet og prisfastsat. Nu venter vi blot på at finde et demonstrationsbyggeri, som kan sætte gang i den sidste del af udviklingen.

Referencer:

- Forprojektets slutrapport kan rekvireres hos jha@cowi.dk.
- Meierhans, Robert A.: Room Air Conditioning by Means of Overnight Cooling of the Concrete Ceiling, Ashrae, AT-96-8-2, 1996.
- Olesen, Bjarne W.: Cooling and Heating of Buildings by Activating the Thermal Mass with Embedded Hydronic Pipe Systems, ASHRAE-CIBSE, Dublin 2000.
- www.velta.de