



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Køl af og varm op med faseskiftende materialer

Sammenfatning af SBI 2011:11 Anvendelse af faseskiftende materialer i fremtidens bygninger. Forbedring af energieffektivitet og indeklima

Rose, Jørgen; Jensen, Rasmus Lund; Heiselberg, Per; Hansen, Magne; Walter, Ane Mette; le Dous, Camilla; Christensen, Niels Uhre; Daniels, Ole; Nørgaard, Jesper; Dyregaard, Pia

Publication date:
2011

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Rose, J., Jensen, R. L., Heiselberg, P., Hansen, M., Walter, A. M., le Dous, C., Christensen, N. U., Daniels, O., Nørgaard, J., & Dyregaard, P. (red.) (2011). *Køl af og varm op med faseskiftende materialer: Sammenfatning af SBI 2011:11 Anvendelse af faseskiftende materialer i fremtidens bygninger. Forbedring af energieffektivitet og indeklima*. SBI forlag. SBI Bind 2011 Nr. 12

General rights

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

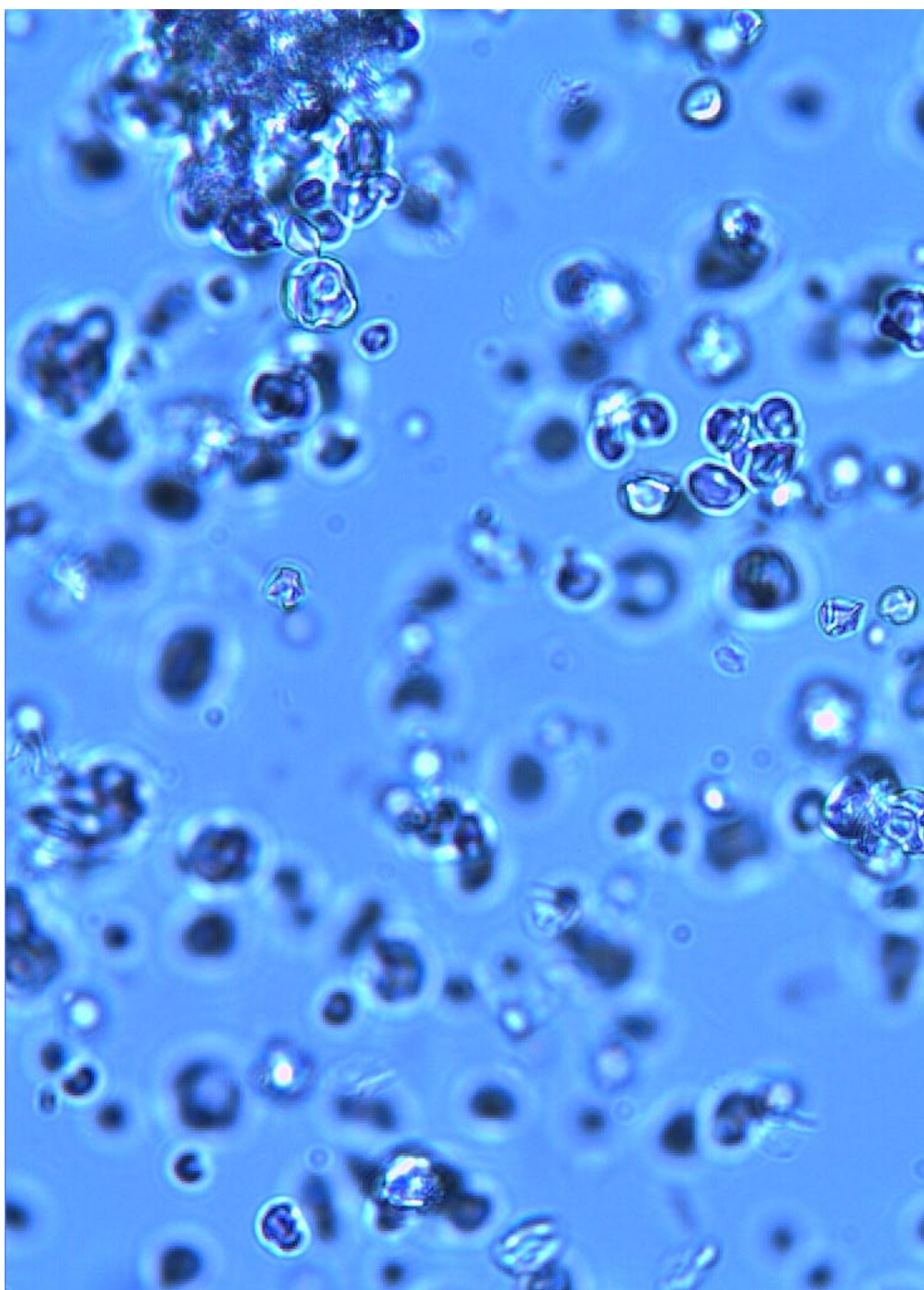
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in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

Take down policy

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

Køl af og varm op med faseskiftende materialer

Sammenfatning af SBi 2011:11 Anvendelse af faseskiftende materialer i fremtidens bygninger. Forbedring af energieffektivitet og indeklima



Køl af og varm op med faseskiftende materialer

Sammenfatning af SBI 2011:11 Anvendelse af faseskiftende materialer i fremtidens bygninger. Forbedring af energieffektivitet og indeklima

Titel	Køl af og varm op med faseskiftende materialer
Undertitel	Sammenfatning af SBI 2011:11 Anvendelse af faseskiftende materialer i fremtidens bygninger. Forbedring af energieffektivitet og indeklimate
Serietitel	SBI 2011:12
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2011
Forfattere	Jørgen Rose, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet Rasmus Lund Jensen, Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet Per Heiselberg, Aalborg Universitet Magne Hansen, Byggeridivisionen, Teknologisk Institut Ane Mette Walter, Teknologisk Institut Camilla le Dous, Teknologisk Institut Niels Uhre Christensen, Ingeniørhøjskolen i Århus Ole Daniels, Aalborg Universitet Jesper Nørgaard, Aalborg Universitet
Redaktion	Pia Dyregaard
Sprog	Dansk
Sidetæl	11
Emneord	Faseskiftende byggematerialer, energibesparelser, energiramme, elforbrug, energiforbrug, køling, opvarmning
ISBN	978-87-563-1527-2
Tegninger	Forfatterne
Fotos	Forfatterne
Omslag	Foto: Optisk mikroskopi af faseskiftende materiale
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post sbi@sbi.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

Faseskiftende materialer bruges til at regulere temperaturen i bygninger

Denne publikation sammenfatter indholdet i rapporten SBi 2011:11 *Anvendelse af faseskiftende materialer i fremtidens bygninger. Forbedring af energieffektivitet og indeklima.*

Formålet er i kort form at informere den danske byggebranche om muligheder og potentiale for at bruge faseskiftende materialer i danske bygninger. Grunden er, at det er nødvendigt at gå nye veje for at opfylde fremtidens krav til bygningers energieffektivitet.

Faseskiftende materialer bruges til at regulere temperaturen i bygninger og kan derfor sammen med natkøling bruges til at undgå overophedning om sommeren uden mekanisk køling.

Tilsvarende kan faseskiftende materialer bruges til at øge bygningens varmekapacitet om vinteren, da der akkumuleres betydelige energimængder ved selv små temperaturstigninger, når materialet skifter fase fra fast form til flydende.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Energi og miljø
Maj 2011

Søren Aggerholm
Forskningschef

Vi skal spare på energien

Danmark ligger i den tempererede del af verden og har en opvarmningssæson fra september til maj, men alligevel går en meget stor del af bygningers elforbrug til ventilation og mekanisk køling om sommeren. Her er der således et stort potentiale for at spare energi, når nye bygninger skal opfylde energirammebestemmelserne.

Energirammebestemmelserne

Energirammebestemmelserne er skærpede energikrav, der blev indført i Bygningsreglement 2006. Energirammen angiver det tilladelige energiforbrug til drift af en bygning, herunder energiforbruget til køling om sommeren. Energibestemmelserne er strammet op i Bygningsreglement 2010. Derudover er det allerede nu fastlagt, at kravene skærpes yderligere med 25 pct. i 2015. Med de nye energikrav er der dermed kommet markant større fokus på elforbruget til bygningsdrift, herunder elforbruget til forøget ventilation og mekanisk køling i sommerhalvåret.

Bygningers elforbrug regnes med i energirammen i alle typer bygninger, og jf. Bygningsreglementet vejer elforbruget med en faktor 2,5 i det samlede energiforbrug.

Elforbruget i kontorbygninger

Nye kontorbygninger bruger ca. 20-30 pct. af deres elforbrug til ventilation, hvoraf 70-80 pct. af forbruget ligger i sommerhalvåret, hvor der ikke er gavn af varmegenvindingen. Hertil kommer, at ventilationsanlæggene ofte er fastsat ud fra kølebehovet om sommeren, hvilket medfører et unødvendigt stort elforbrug om vinteren. I bygninger med mekanisk køling vil elforbruget i sommerhalvåret være endnu højere, afhængigt af størrelsen af varmebelastningen, glasarealet og solafskærmningens effektivitet.

En tilsvarende udvikling ses også i institutions- og boligbyggeri, hvor man i større omfang er begyndt at bruge mekanisk ventilation.

En måde at sikre komfortable temperaturer både sommer og vinter inden for den fastlagte energiramme kan være at bruge byggekomponenter, der indeholder faseskiftende materiale.

10-20 pct. besparelser

Det forventes, at brugen af faseskiftende materialer kan reducere det samlede elforbrug i fremtidens bygninger med 10–20 pct. Reduktionen vil være en kombination af et mindre elforbrug, og at man undgår en stigning i elforbruget. Det gælder især stigningen i elforbruget til mekanisk køling og ventilation.

Hvad er faseskiftende materialer?

Materialers faseskift er betegnelsen for, når materialer ændrer form fra fast til flydende og omvendt fra flydende til fast form. Materialet bruges som tilslagsmateriale i forskellige traditionelle byggematerialer som f.eks. gips og beton til at regulere temperaturen i bygninger.

Faseskiftende materialer kan bruges både i nybyggeriet og i eksisterende byggeri.

Det faseskiftende materiale består af mikroindkapslet paraffinvoks. Paraffinvoksen vil typisk smelte ved ca. 23 °C, hvorved der oplagres betydelige energimængder i materialet. Det vil sige at der ved smelteprocessen oplagres varme i materialet, mens temperaturen i rummet forbliver konstant.

Energimængderne frigives igen ved den modsatte proces, når materialet størkner.



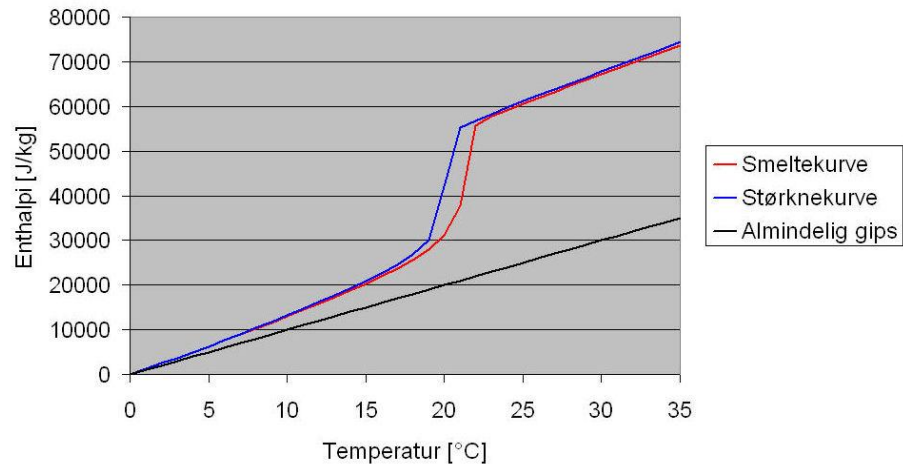
Figur 1. Mikroindkapslet paraffin.



Figur 2. Mikroindkapslet paraffinvoks i størknet tilstand, forstørret ca. 10.000 gange.

En konstruktion, der indeholder faseskiftende materiale, har dermed en potentiel varmeakkumuleringsevne, der er væsentligt større end en konstruktion uden.

Dette kan illustreres ved at tegne en kurve for henholdsvis materialet med og uden faseskiftende materialer:



Figur 3. Eksempel på en gipsplade med 30 pct. faseskiftende materialer under smeltning og størkning set i forhold til en almindelig gipsplade. Faseskiftet forekommer ved ca. 23 grader, hvor der sker en tydelig forøgelse af den latente varme.

De blå og røde kurver angiver situationen med faseskiftende materialer, og den sorte kurve situationen uden. Årsagen til at smelte- og størknekurverne ikke er sammenfaldende er, at der forekommer såkaldt hysteres, hvilket vil sige, at materialets egenskaber er afhængigt af temperaturløbet over tid og ikke kun den øjeblikkelige temperatur.

Hvis man tager en 15 mm tyk gipsplade med 30 pct. faseskiftende materiale, kan den ved faseskift lagre 330 kJ/m^2 varme fra de varme dagsperioder til de kølige natperioder og vil dermed kunne udligne temperaturforskellene mellem nat og dag. Energimængden er betinget af, at bygningen kan oplade det faseskiftende materiale om dagen og aflade den om natten. Den varmelagrende effekt vil derfor reduceres hvis væggene er dækket af reoler, billeder eller andre genstande.

Ved at bruge faseskiftende materialer i en gipsplade kan man opnå samme termiske egenskaber som en $\frac{1}{2}$ -stens mur. Dertil kommer, at faseskiftet sker inden for et meget snævert temperaturinterval.

Tyskland har materialerne

I Tyskland er de faseskiftende materialer så langt udviklet, af især BASF, at man er begyndt at bruge dem som et varmekapacitetsforøgende tilslagsmateriale til fx gipsplader, porebeton og puds.

Der er over de sidste fem år opført eller renoveret ca. 25 bygninger i Tyskland, hvor man har brugt faseskiftende materialer. Tilsvarende udvikling er i gang i andre lande, fx Frankrig.

Flere af de tyske byggematerialeproducenter, som bruger faseskiftende materialer i deres produkter i Tyskland, fx Knauf Danogips og maxit (Weber), er også aktive på markedet i Danmark. Men de markedsfører kun materialerne i mindre omfang i Danmark.

På nuværende tidspunkt er prisen på det faseskiftende materiale forholdsvist høj, fordi det er et nyt produkt. På lidt længere sigt forventes prisen at falde som følge af et større kendskab til og brug af materialet samt forøget produktionskapacitet.

Erfaringer med faseskiftende materialer

Ofte ses faseskiftende materialer i kombination med lette byggematerialer som f.eks. gips, hvorved varmelagringskapaciteten for en 15 mm tyk plade når ca. samme niveau som 100 mm beton.

Men fordelene er også til stede ved at bruge faseskiftende materialer i eksempelvis beton, da beton i forvejen har en høj varmekapacitet og derfor kan binde mere varme. Desuden kan beton fremstå med blotlagte rå overflader i rum og dermed forbedre betingelserne for aktivering af de faseskiftende materialer.

Faseskiftende materialer i tunge konstruktioner

For at indhøste praktiske erfaringer med udførsel af konstruktioner med faseskiftende materialer, blev det besluttet at indbygge materialet i EnergyFlexHouse på Teknologisk Institut, der blev opført i 2009.

Materialet blev brugt i forbindelse med udstøbning af betondæk. I forsøget blev brugt faseskiftende materiale, der har et smeltepunkt på ca. 21 grader.



Figur 4. Udstøbning af betondæk der indeholder faseskiftende materialer.

I laboratorium blev der udviklet en beton med 5 pct. faseskiftende materiale. De første erfaringer her var ikke entydig gode. Betonen var svær at bearbejde, den klistrede, hærdeperioden var længere end ved normal beton, og den endelige betonstyrke var betydelig reduceret.

Disse problemer viste sig dog ikke at være kritiske i praksis, i forhold til at producere betonen industrielt, transportere den fra fabrik til byggeplads og udføre en gulvkonstruktion i EnergyFlexHouse.

Skal udstøbning ske ved 22 °C?

Efter betondækket blev udlagt i EnergyFlexHouse er det planlagt at lave en række yderligere laboratorieundersøgelser af betonen. Her vil det bl.a. vise

sig, hvilken indflydelse betontemperaturen i den tidlige hærdefase har på de faseskiftende materials evne til at lagre energi i den færdige betonkonstruktion. Hvis indflydelsen er stor, skal betonen udstøbes i en temperatur på ca. 22 °C, hvor man er sikker på, at hele det faseskiftende materiale er flydende. For hvis betonen udstøbes, når materialet er størknet, får det muligvis ikke plads til at udvide sig, og dermed opnås den forventede varmekapacitet ikke.

Disse forhold blev der ikke taget hensyn til under opførelsen af EnergyFlexHouse, hvilket muligvis har været årsag til, at betongulvet med det faseskiftende materiale ikke levede op til den energibesparelse, på en faktor 6-7 i forhold til traditionel beton, som oprindeligt forventet.

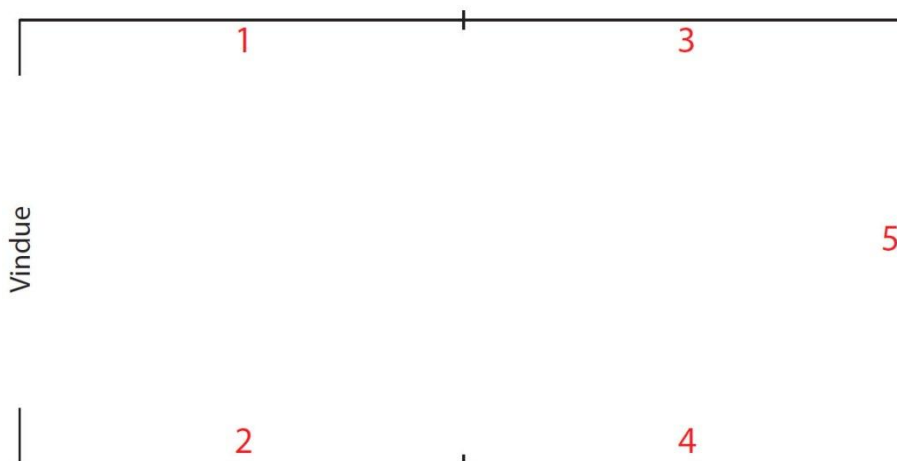
Bedre indeklima og bedre energiregnskab

Hvordan er det så med indeklimaet, når en del af temperaturkomforten i danske bygninger skal leveres af faseskiftende materialer i rummets vægge, gulve eller lofter?

Det er der gennemført en større analyse af. Man har taget udgangspunkt i et enkeltmandskontor, hvor der er gennemregnet forskellige scenarier med varierende vinduesstørrelse, rudetype, luftskifte for natkøling, mængden af faseskiftende materiale og orienteringen af bygningen.

Ideen med analysen var at finde frem til, hvilken kombination af de tre parametre: mængden af faseskiftende materiale, varmebelastningen i rummet via g-værdien og luftskiftet ved natkøling, der er nødvendige for at overholde anbefalingerne med maksimalt 100 timer over 26 °C og 25 timer over 27 °C.

Der er foretaget analyser for tre forskellige rudestørrelser på henholdsvis 2, 4 og 6 m² og for otte orienteringer: S, SV, V, osv.



Figur 5. Grundplan for enkeltmandskontoret, der er benyttet i analysen af energi- og indeklimapotentialet. Tallene på figuren angiver mulige placeringer af gipsplader indeholdende faseskiftende materiale. Ved 100 pct. indhold af faseskiftende materialer er der faseskiftende materiale i alle fem vægge.

Faseskiftende materiale, pct.	g-værdi	Luftskifte natkøling, h ⁻¹	Orientering	Rudestørrelse m ²
0	0,20	0	S	2
20	0,30	2	SV	4
40	0,40	4	V	6
60	0,50	6	NV	
80	0,60	8	N	
100			NØ	
			Ø	
			SØ	

Figur 6. Oversigt for samtlige parametervariationer. g-værdien (rudetype) er den værdi der angiver, hvor meget af den solenergi, der rammer ruden udvendigt og kommer igennem glasset. g-værdien svarer på denne måde til en varmebelastning i rummet.

Indeklimaet

For alle kontorvarianterne er mængden af faseskiftende materiale, g-værdi og luftskifte for natkøling varieret som angivet i tabellen (figur 6), svarende til i alt 3600 årssimuleringer. Det faseskiftende materiale var placeret i en indvendig gipsplade og har dækket forskellige dele af det indvendige vægareal (figur 5).

Natkøling er vigtig

Det er afgørende, at der etableres natventilation for at kunne fjerne den energi, der oplagres om dagen. I analysen er det valgt, at natventilationen er aktiv hele tiden uden for brugstiden. Det vil sige at hvis udetemperaturen er lav i weekenden åbnes vinduerne.

Højt luftskifte giver størst gevinst

Resultaterne af analysen viser, at brugen af faseskiftende materialer har en god indflydelse på bygningens evne til at kunne nedbringe antallet af timer med overtemperatur. Jo højere luftskiftet er, jo større er gevinsten. Ved et luftskifte om natten på 0 h^{-1} er der kun meget lille effekt at spore.

Vinduesstørrelsens betydning

Virkningen af det indsatte faseskiftende materiale er forskellig for de forskellige orienteringer og vinduesstørrelser.

Ved alle casene med den mindste vinduesstørrelse kunne rummenes temperatur holdes under de maksimalt anbefalede temperaturer for alle orienteringer og g-værdier.

Overophedning forekom i rum med rudetyper med høje g-værdier for de største og mellemstore vinduer, og i høj grad hvor orienteringen er mod syd, sydøst og sydvest, men også for de øst- og vestvendte rum kan der være dage med høje temperaturer. Her er det dog muligt at bruge rudetyper med en lav g-værdi eller forskellige former for solafskærmning, der forhindrer solvarmen i at nå ind til rummene, så der ikke sker overophedning.

Energiforbruget

Hvis man har et kontorlokale, hvor der er gipsvægge med 30 pct. faseskiftende materiale på alle fem vægge, kan lokalet optage en ekstra varmebelastning på 9-13 kWh/m² pr. år uden temperaturen stiger i rummet.

Den største besparelse kan opnås med et bygningsdesign, hvor mekanisk køling helt kan undværes, dvs. en situation hvor det faseskiftende materiale er i stand til at optage så meget varme, at yderligere klimatisering er unødvendig.

Fremtiden for faseskiftende materialer

Beregninger og målinger har vist, at der kan opnås pæne energibesparelser til køling og opvarmning af bygninger ved at bruge byggematerialer, der indeholder faseskiftende materialer.

Men prisen på materialerne er stadig høj, hvilket i langt de fleste tilfælde medfører lange tilbagebetalingstider.

I visse tilfælde kan brugen af faseskiftende materialer dog medføre en så stor reduktion i kølebehovet, at man helt kan undvære køleanlæg i bygningen. Derved reduceres anlægsomkostningen betragteligt, og så begynder det at hænge sammen økonomisk.

Dokumentation er nu mulig

Der er ingen problemer med at dokumentere den energimæssige besparelse ved at bruge faseskiftende materialer i en konkret bygning.

I Be10, der er en helt ny version af Be06, er det nemlig nu blevet muligt at medregne effekten af faseskiftende materialer. Ligeledes kan energieffekten af det faseskiftende materiale beregnes med BSim. Denne giver mere detaljerede resultater.

Bygningen skal ses som en helhed

For at opnå den optimale energigevinst med faseskiftende materiale i byggematerialer kræver det, at man opererer med helhedsorienterede løsninger. Her skal der tages hensyn til bygningens geometri og orientering, materialet hvori det faseskiftende materiale indgår og er placeret samt samspillet med bygningens tekniske installationer (eksempelvis ventilationsanlæg) for at opnå de tilsigtede energibesparelser.

Nye byggekomponenter

For at faseskiftende materialer rigtig skal komme til sin ret, skal der måske udvikles nye byggekomponenter.

Dette område skal udforskes yderligere og også her arbejdes der videre med mere detaljerede undersøgelser. Der er f.eks. et arbejde i gang med at udvikle nye betonbaserede byggekomponenter med et større indhold af faseskiftende materiale og mere optimale forhold for materialets smelte- og styrkningsprocesser. Eksempelvis har betondækelementer ved etageadskillelse den fordel, at de kan indgå i en bygning med undersiden blotlagt og dermed give optimale betingelser for energitransport ind og ud af konstruktionen.

Pex-rør i betondæk

Foreløbige undersøgelser tyder på, at betondæk med indstøbte pex-rør forbedrer mulighederne for at udnytte det indbyggede faseskiftende materiale mere optimalt, da man ved at cirkulere tempereret vand igennem dækket hurtigere kan bringe betonen og tilslagsmaterialet til det mest optimale temperaturniveau.

Rapporten giver en kort indføring i muligheder og potentialer for at bruge faseskiftende materialer i danske bygninger. Materialers faseskift er betegnelsen for, når materialer ændrer form fra fast til flydende og omvendt fra flydende til fast form.

Materialet bruges i forskellige traditionelle byggematerialer, som f.eks. gips og beton, til at regulere temperaturen i bygninger.

Faseskiftende materialer kan sammen med natkøling bruges til at undgå overophedning om sommeren uden mekanisk køling. Tilsvarende kan faseskiftende materialer bruges til at øge bygningens varmekapacitet om vinteren, da der akkumuleres betydelige energimængder ved selv små temperaturstigninger, når materialet skifter fase fra fast form til flydende.

Rapporten er en sammenfatning af SBI 2011:11: 'Anvendelse af faseskiftende materialer i fremtidens bygninger. Forbedring af energieffektivitet og indeklime'.

1. udgave, 2011

ISBN 978-87-563-1527-2