

Varmeakkumulering i beton

Vurdering af betons termiske masse i relation til bygningsreglementet og energiberegninger

Lars Olsen & Magne Hansen

Teknologisk institut

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 INDLEDNING	15
1.1 BAGGRUND	15
1.2 ERFARINGER MED UDNYTTELSE AF BETONS VARMEAKKUMULERENDE EGENSKABER	15
VARMEAKKUMULERING VED TEMPERATURPÅVIRKNING AF BETON	17
1.3 INDLEDNING	17
1.4 FORUDSÆTNINGER FOR VARMEAKKUMULERINGSBEREGNINGER	17
1.5 VARMEAKKUMULERINGSBEREGNINGER	19
1.6 BETYDNING AF OVERGANGSISOLANS	26
EKSEMPEL PÅ BEREGNING AF VARMEKAPACITET I BYGGERI	29
1.7 VARMEAKKUMULERING OG BYGNINGSREGLEMENTET	29
1.8 FORENKLET EUROPÆISK METODE	29
1.9 SAMMENLIGNING AF FORENKLET EUROPÆISK METODE OG DE DANSKE ANBEFALINGER	32
ANALYSE AF ENERGIBEHOV, BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER	35
1.10 INDLEDNING	35
1.11 VARMEAKKUMULERING	35
1.12 TERMISK INDEKLIMA OG KØLING.	36
1.13 VENTILATION AF BYGNINGEN	36
1.14 ZONEOPDELING	37
EKSEMPEL 1, KONTORBYGNING	39
1.15 BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER	39
1.16 MODELBEKRIVELSE	39
1.17 SIMULERINGSRESULTATER	41
EKSEMPEL 2, ENFAMILIEHUS	43
1.18 BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER	43
1.19 MODELBEKRIVELSE	43
1.20 SIMULERINGSRESULTATER	45
EKSEMPEL 3, ROUND ROBIN BEREGNINGER	47
1.21 FORUDSÆTNINGER	47
1.22 RESULTATER	47

KONKLUSION	49
REFERENCER	51
Bilag 1 Danish case stories on the thermal performance of concrete	53
Bilag 2 Be06, Bygningers energibehov	65

Forord

Denne rapport er en del af "Produktområdeprojekt vedrørende betonprodukter", som er delvist finansieret af Miljøstyrelsen i perioden 2003-2006.

Projektet er ansøgt af Teknologisk Institut, Betonindustriens Fællesråd og Ålborg Portland, og følgende virksomheder og institutioner har været repræsenteret i følgegruppen:

Teknologisk Institut	Mette Glavind
Betonindustriens Fællesråd	Poul Erik Hjorth, Betonelement-Foreningen Jacob Hougaard Hansen, Dansk Byggeri K. Bernth Eriksen, 4K-Beton A/S
Dansk Byggeri	Kjeld Almer Nielsen. Fra 1/12 2005 repræsenteret af Niels Nielsen
Aalborg Portland A/S	Jesper Sand Damtoft
Betonproducenter	Erik Fredborg, Expan A/S Gunnar Hansen, Guldborgsund Elementfabrik A/S
Byggepanelet Miljøstyrelsen	Ninkie Bendtsen, Erik K. Jørgensen A/S Gert Sønderskov Hansen

Nærværende rapport samler de resultater som er opnået i forbindelse med delprojektet "Termisk masse og varmeakkumulering for beton". Følgende har deltaget aktivt i delprojektet:

- Betonelement-foreningen
- Expan A/S.
- Aalborg Portland A/S

Deltagelsen fra virksomhederne har sikret, at projektet er gennemført efter intentionerne, og at delprojektets overordnede formål er fulgt.

Sammenfatning

Introduktion

I Bygningsreglementet, der trådte i kraft i 2006, er der krav om, at der i nybyggeri sker en beregning af energibehov, både til opvarmning og køling.

Der er mulighed for at udnytte den termiske masse, der er i tunge betonkonstruktioner, til at udjævne variationen i rumtemperaturer og derved skabe et mere ensartet indeklima samt at reducere behovet for opvarmning og køling.

Formål

På denne baggrund er dette projekt udført, hvor det er målet at:

- udføre beregninger, der gør det muligt at kvantificere effekten af udnyttelse af betons termiske masse til varmeakkumulering i bygningsoverflader.
- analysere effekten af anvendelse af beton i relation til energibestemmelserne i bygningsreglementet. De forskellige materialevalgs energi- og komfortmæssige forhold sammenlignes. Der benyttes de beregningsprincipper, der svarer til det nye bygningsreglement ved hjælp af software udviklet af SBI.
- vise eksempler på, hvorledes betons materialedata kan benyttes i forbindelse med det nye bygningsreglement.
- give en vejledning i, hvorledes det er muligt at beregne varmeakkumulering i en konstruktion.
- deltage med beregningseksempler udført efter den danske beregningsmetode til en Round Robin undersøgelse udført af den europæiske brancheorganisation CEMBUREAU.

Varmekapacitet

For at opfylde bygningsreglementet for nye bygninger skal der overholdes et krav til energibehov. Ved at foretage en beregning med programmet Be06, hvor der tages hensyn til en række energimæssige forhold, kan energibehovet bestemmes. I denne beregning indgår bygningens varmekapacitet. I dette projekt er der set på tre forskellige metoder til at bestemme bygningers varmekapacitet beregnet pr. m² opvarmet etageareal:

- Tabelværdier tilknyttet det danske beregningsprogram
- Forenklet CEN metode
- Aktiv varmekapacitet.

For at bestemme den aktive varmekapacitet er der i dette projekt foretaget en analyse, hvor primært betonoverflader udsættes for en rumtemperatur, der varierer i form af døgnsvingninger. Den varmemængde, der transporteres ind i en overflade i løbet af ½ døgn med positiv varmestrøm og derved lagres i materialet, kaldes varmeakkumuleringsevnen.

Som hovedregel stiger varmeakkumuleringsevnen med stigende densitet. Beton har den største varmeakkumuleringsevne blandt de udvalgte materialer.

Resultaterne viser, at varmeakkumuleringen generelt stiger med stigende **tykkelse** af materialerne. Stigningen er næsten proportional med tykkelsen de første cm. Derefter klinger effekten af stigende tykkelse af til at være en relativt begrænset stigning ved en forøgelse af tykkelsen fra 5 til 10 cm.

Kun en del af materialets varmekapacitet udnyttes til varmeakkumulering. Den del, der udnyttes, kaldes den **aktive varmekapacitet**. Grunden til, at kun en del af varmekapaciteten udnyttes, skyldes dels modstanden mod varmestrøm i selve materialet, dels modstand mod varmestrøm ved materialets overflade.

Udnyttelsen af varmekapaciteten kan overordnet betegnes som at være mere afhængig af tykkelsen, som materialet anvendes i, end af selve materialets egenskaber. Det er størrelsen af varmeakkumuleringen pr. overfladeareal, som vil være den væsentligste parameter at tage i betragtning, når materialets egenskaber skal vurderes i henseende til opnået varmeakkumulering. Når udnyttelsen af varmekapaciteten således er relativt ensartet for alle materialerne ved en given tykkelse, betyder det, at forskelle i varmekapaciteten også bliver afspejlet tilsvarende i den udnyttede varmeakkumulering for de forskellige materialer

Der er udarbejdet et sæt kurveskarer, der kan benyttes til at karakterisere varmeakkumuleringen for andre materialer end de udvalgte. Dette kan gøres ved at bestemme et materiales såkaldte varmeindtrængningstal som indgangsparameter.

I rapporten er foretaget en sammenligning af de tre metoder til at bestemme den varmekapacitet, pr. opvarmet etageareal, der benyttes som en del af inddata til det danske beregningsprogram.

Det er illustreret, at de til den danske beregningsmetode anbefalede tabelværdier for varmekapacitet nogenlunde svarer til, hvad der kan opnås ved den forenkede CEN metode for store materialetykkelser og for tunge materialer. For lette materialer vil den forenkede CEN metode give mindre værdier end efter den danske tabel.

Den aktive varmekapacitet giver en væsentlig mindre varmekapacitet end værdier bestemt efter de danske tabelværdier. Forskellen mellem de forskellige konstruktionstyper er dog stort set bibeholdt, hvis der benyttes den aktive varmekapacitet i stedet for danske tabelværdier ved beregning af varmekapaciteten.

Det er vist, hvorledes det er muligt at beregne størrelsen af den varmekapacitet pr. opvarmet etageareal, der benyttes som inddata til det danske beregningsprogram, ved at sammenregne værdierne for varmekapacitet pr. overfladeareal.

Undersøgelsen viser at for at opnå en stor varmeakkumulering, er det ønskeligt at have de lavest mulige overgangsisolanser. Det vil sige, at man bør begrænse omfanget af isolerende belægninger og genstande, der støder op til akkumulerende overflader.

Det er især ønskeligt, at solpåvirkede overflader er tilgængelige for solstrålingen, da solindfaldet derved bliver direkte absorberet på overfladerne, og derfor er der ikke nogen overgangsisolans ved overførsel af varme til det varmeakkumulerende materiale.

Anal yse af energibehov

Der er foretaget beregninger af energibehovet i forskellige bygningsmodeller efter den metode, der benyttes til bestemmelse af, om kravet til energibehov er opfyldt i henhold til Bygningsreglementet. Der er regnet på modeller af en kontorbygning og et enfamiliehus.

Resultaterne viser, at der opnås en stor reduktion af energibehovet ved at anvende bygninger med stor termisk masse. Dette gælder både for kontorbygningen og enfamiliehuset. Forskellen i energibehov mellem modellen med den mindste og den største varmekapacitet er mellem 4 % og 13 %. Forskellen er større i kontormodellerne end i enfamiliehusmodellerne især på grund af forskelle i solindfald. Forskellen i energibehovet er generelt større mellem den meget lette og den middel lette model end mellem den middel tunge og meget tunge model. Dette viser, at der stadig kan opnås en reduktion af energibehovet ved at øge varmekapaciteten, selv hvor der i forvejen er en relativ stor varmekapacitet.

Overskudsvarmen, der skal fjernes, bliver reduceret ved en øget termisk masse af konstruktionerne. En reduceret overskudsvarme er et udtryk for færre problemer med overtemperaturer.

Summary and conclusions

Introduction

The Danish building regulations which came into force in 2006 stipulate that the heating and cooling requirements for new buildings are to be calculated.

It is possible to utilize the thermal mass in solid concrete constructions to reduce the variation of room temperatures and thereby create a more uniform indoor climate and to reduce the requirements for heating and cooling.

Aim

On this background this project aims to:

- perform calculations which quantify the effect of the utilisation of the concrete's thermal mass for accumulation of heat in building surfaces.
- analyse the effect of using concrete in relation to the energy rules in the building regulations. The energy and comfort-related performance of the different choices of building materials are compared. The calculation principles which correspond to the new building regulations are applied by using software developed by SBI (Danish Building Research Institute).
- show examples of how the material data on concrete can be used in connection with the new building regulations.
- provide a guide on how it is possible to calculate heat accumulation in a construction.
- participate with calculation examples based on the Danish calculation method in a European Round Robin investigation performed by CEMBUREAU, the representative organisation of the cement industry in Europe.

Projects

An overview of recent projects in Denmark shows that comprehensive work has been done on development of systems which enable concrete structures to store heat or remain cool. It is assessed that systems that are heated or cooled actively, e.g. by tubes integrated in the construction, have a large potential.

Heat Capacity

To fulfil the stipulations in the Danish building regulations for new buildings it is necessary to have a limited heating requirement. The heating requirement is calculated on the basis of a number of energy-related parameters. One of

these parameters is the heat capacity of the building. In the present project three different methods for determination of the heat capacity of the building have been assessed: tabulated values in connection with the Danish calculation method, a simplified CEN method and active heat capacity.

To estimate the active heat capacity an analysis was made where primarily concrete surfaces were exposed to a diurnal variation of the room temperature. The heat transmitted into the surface during a 12 hour period with positive heat flux, and which is stored in the material, is called the ability to store heat.

The calculations show that the ability to store heat increases with increasing density of the material. Among the materials investigated, concrete has the largest ability to store and release heat.

The results show that the ability to store heat is in general increased by increasing thickness of the materials. The increase is largest the first few centimetres. A further increase of the thickness will result in a smaller increase of the heat stored. The effect of increasing the thickness from 5 to 10 cm is relatively limited.

Only a part of the heat capacity of a material can be used for storing heat. The part of the heat capacity which is utilized is called the active heat capacity. The reason why only a part of the heat capacity is utilized is that there is a resistance to heat conduction in the material itself and a resistance to heat flow at the surface of the material.

The part of the thermal capacity which is utilized to store heat may, from an overall point of view, be considered to be more dependent on the thickness of the material rather than on the thermal properties of the material. It is the ability to store heat per surface area which will be the single most important parameter to take into consideration when the performance of a material is assessed in relation to the storage of heat.

The size of the utilized thermal capacity is relative uniform for all the assessed materials. The consequence of this is that the differences in the ability of storing heat will be reflected correspondingly for the different materials.

It is possible to use the data curves from the study to characterize other materials than those investigated. This can be done by using the thermal effusivity as the input parameter.

The input parameter used in the Danish calculation method for calculation of the heating requirement of a building is the heat capacity per m^2 of heated floor area.

It is illustrated that the Danish tabulated values correspond approximately to what can be achieved by the simplified CEN method for large thicknesses of the solid materials. For lightweight materials the simplified method will provide values less than estimated by the Danish tabulated values.

Using the active heat capacity will give a considerably smaller heat capacity of the building than according to the Danish tabulated values for large thicknesses of materials. If small thicknesses of the materials are applied the Danish tabulated values will also be expected to provide considerably smaller heat capacity than if the assessment is done by a more detailed technique.

It is possible to calculate the total heat capacity of a building by adding the heat capacity of the single surfaces.

The investigation shows that to obtain a large storage of heat it is necessary to ensure the lowest possible internal surface resistance. The performance will improve if the amount of insulating coatings, floorings and furniture in close connection with the heat-storing surfaces is limited.

Surfaces exposed to solar radiation will have an improved performance if these can be directly exposed to solar radiation. This is due to a large absorption of heat and the lack of surface resistance for transfer of heat to the surface.

Analysis of the Heating Requirement

Calculations were performed in which the heating requirement of different building models was calculated according to the method used for assessing the heating requirement in the Danish building regulations.

Calculations were performed on an office building and on a single-family house. The results show that a large reduction of the heating requirement can be achieved when a large thermal mass is used. The difference in heating requirement between the models with the lowest and largest thermal capacity is between 4 % and 13 %.

Even if some of the building components have a large thermal mass exposed to the interior environment it will still be possible to obtain a reduction of the heating requirement by adding building components with a large thermal mass.

The heat which has to be removed due to overheating will also be reduced by increased thermal mass.

Conclusions

In Denmark a number of research and development projects have been executed where it has been demonstrated that concrete is well suited for enabling building constructions to both store heat and remain cool.

The calculations performed where heat is stored in concrete show that a large part of the heat capacity can be used for storing heat. The part of the concrete closest to the surface stores more heat than the part further away from the surface.

It is demonstrated that if the guidelines for assessment of heating requirements in relation to the Danish building regulations are followed, there will be a low heating requirement due to storing of heat in the building construction. In the calculated examples the reductions of the heating requirements are between 4 % and 13 % when the constructions are made of solid concrete instead of a lightweight construction.

Similar results have been obtained in connection with the results elaborated for the examples made in the Round Robin investigation arranged by the representative organisation of the cement industry in Europe CEMBUREAU.

The tendency of overheating will be reduced when heavy constructions are used instead of lightweight constructions.

In the present report shows how it is possible to calculate the heat capacity for a certain type of concrete. It demonstrates how the heat capacity for the single surfaces can be added in order to calculate the heat capacity per m² heated floor area, which is used as one of the input values in the Danish calculation programme. It is normally not expected that a detailed calculation will provide a larger thermal capacity than when the Danish tabulated values are used. This is the case for both lightweight and solid buildings. There might be a need for assessment of the Danish tabulated values to check whether the level is appropriate.

Using concrete results in energy and comfort-related performance benefits no matter which method for calculation of input data is applied.

1 Indledning

1.1 Baggrund

Det nye EU direktiv (Energy Performance Directive of Buildings) /1/ skærper generelt kravene til bygningers energibehov. Denne skærpelse er overført til det nye Bygningsreglement, som trådte i kraft i 2006, bl.a. i form af krav til køling under sommerforhold. De tidligere krav indeholdt udelukkende krav til opvarmning under vinterforhold. Ydermere er køling relativt belastende for en bygningens energibehov. Dertil kommer, at der forventes yderligere skærpelser af Bygningsreglementet i løbet af de kommende 10 år?

Det er derfor hensigtsmæssigt at udnytte den termiske masse, som ligger naturligt i de tunge betonkonstruktioner, til at udjævne variationer i rumtemperaturer, skabe et ensartet termisk indeklima samt reducere behovet for køling om sommeren. På den måde udnyttes betonen i dobbelt forstand og får en grønnere profil.

Den europæiske cementbrancheorganisation CEMBUREAU arbejder på at undersøge betydningen af varmeakkumulering i beton. Nærværende projekt har ydet bidrag til og er koordineret med CEMBUREAU arbejdet. Som en del af dette samarbejde er der foretaget beregninger. Disse forventes rapporteret af CEMBUREAU senere i 2006, og vil indgå bl.a. i en artikel fremsendt til den internationale konference "Concrete: Construction's Sustainable Option", som afholdes i september 2007 på University of Dundee /2/. Der er endvidere ydet bidrag til CEMBUREAU arbejdet i form af oversigter over den danske indsats i forbindelse med implementeringen af førnævnte EU direktiv og oversigter over den danske forsknings- og udviklingsindsats på området.

Der skal gøres opmærksom på, at dette arbejde giver mulighed for at vurdere effekten af tunge konstruktioner, men der er samtidig en række forhold, som gør det vanskeligt præcist at vurdere effekten. Jo mere detaljeret effekten ønskes bestemt, jo mere kompliceret bliver opgørelsen, og samtidig får usikkerheden ved bestemmelsen af de forskellige former for varmeoverføring betydning. I projektet er problemstillingen søgt løst ved at undersøge effekten teoretisk og ved at bestemme konsekvenserne, når der anvendes de retningslinier, der er i Danmark, ved bestemmelse af energibehov for bygninger.

1.2 Erfaringer med udnyttelse af betons varmeakkumulerende egenskaber

Der er udarbejdet en oversigt over især nyere danske eksempler på anvendelse af varmeakkumulering i beton. Hensigten har været at reducere energiforbruget til opvarmning og køling i bygningernes driftsfase. Der er også givet eksempler på relaterede forskningsprojekter, hvor danske virksomheder er involveret. Oversigten er udarbejdet på engelsk, således at den også kan indgå i CEMBUREAU's arbejde. Oversigten er vist i bilag 1.

Varmeakkumulering i bygninger kan inddeles i tre typer:

- Passiv udnyttelse, hvor solindfald gennem vinduer eller varme fra andre kilder er akkumuleret i betonkonstruktioner som fx gulve eller lofter.

- Aktiv anvendelse, hvor varme eller kulde aktivt er tilført bygningen som et integreret lager i vægge eller dæk. Varmen er transporteret til betonkonstruktionerne ved hjælp af luft eller vand i rør eller kanaler. Varmen kan for eksempel komme fra solvarme. Kulden kan for eksempel komme fra kold udeluft i nattetimerne. Varmen og kulden afgives normalt passivt fra konstruktionerne til rummene.
- Solvægge, hvor solvarmen opvarmer en betonvæg direkte. En isolerende glaskonstruktion reducerer varmetabet fra betonvæggen til det fri. Varmen afgives i mange tilfælde passivt fra indersiden af væggen til rummene. Forskellige andre udformninger er mulige.

Andre typer af projekter i oversigten behandler reduktion af varmetab gennem samlinger, fx kuldebroer.

Der er kun medtaget nyere projekter. Det skal dog bemærkes, at der tidligere er udført et antal projekter, som stadig kan være relevante. Oversigten er fælles for både demonstrations- og udviklingsprojekter.

Projekterne er udvalgt ved litteratursøgning, ved kontakt til virksomheder, universiteter, institutter og ved internetsøgning.

Sidst i oversigten er der angivet visse referencer, der falder uden for ovennævnte formål, men som alligevel kan have relevans for emnet.

Oversigten over disse nyere projekter viser, at der er foregået et omfattende arbejde i Danmark med udvikling af systemer, der gør det muligt at akkumulere både varme og kulde i betonen i bygninger. Det vurderes, at systemer, hvor varmen eller kulden tilføres aktivt til betonen i form af indstøbte rør og slanger, vil have et stort potentiale i fremtidens byggeri.

Varmeakkumulering ved temperaturpåvirkning af beton

1.3 Indledning

Formålet med denne undersøgelse er at bestemme effekten af beton og andre materials termiske masse ved varierende temperaturer. Undersøgelsen sker i anledning af det nye bygningsreglement, hvor varmeakkumulering i forbindelse med opvarmning og køling af bygninger har fået en øget betydning, idet størrelsen af varmeakkumuleringen indgår direkte i de beregninger, der skal udføres i forbindelse med opførelse af nybyggeri. I beregningsreglerne tages der hensyn til energiforbrug til både opvarmning, ventilation og køling. I reglerne indgår desuden hensyntagen til den termiske komfort i bygningerne.

1.4 Forudsætninger for varmeakkumuleringsberegninger

For at undersøge effekten af betons påvirkning af det termiske indeklime er der foretaget beregninger af, hvor stor en varmeakkumulering, der er i forskellige byggematerialer, når der tilføres eller afgives varme ved de indvendige bygningsoverflader.

Der er udført beregning af varmeakkumuleringen i materialer, der er påvirket af temperatursvingninger, som varierer periodisk efter en sinuskurve. Perioden er sat til 24 timer, der tilnærmer de temperaturvariationer, der er over et døgn. Sinusvariationen svarer ikke præcist til de normalt forekommende temperaturvariationer, når der er solindfald, men giver en god tilnærmelse.

Overgangsisolansen på de indvendige bygningsoverflader kan i praksis variere afhængig af en række forhold som:

- Fladens orientering, dvs. om varmestrømmen er: vandret, opad- eller nedadrettet
- Temperaturforskel mellem fladen og luften
- Strålingsudvekslingen, fx om en flade er placeret i et hjørne eller udstråler til andre flader med andre temperaturer.
- Solstråling, der absorberes på en overflade, vil medføre en temperaturstigning. Varmen vil i princippet blive tilført overfladen uden en egentlig overgangsisolans. Varmeafgivelsen fra overfladen vil derimod ske på samme måde, som hvis varmen var tilført ved konvektion.
- Genstande placeret på eller tæt på overflader i rummet vil mindske varmeudvekslingen. Møbler og genstande placeret på overflader vil øge overgangsisolansen.

Der er ved beregningerne anvendt en indvendig overgangsisolans i bygningen på $R = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$. Det er skønnet, at denne værdi vil være rimelig at anvende, hvis der er fri tilgængelighed til en overflade. Denne overgangsisolans svarer til den værdi, der anvendes ved varmetabsberegninger med vandret varmestrøm som fx i en ydervæg.

I afsnit 4 er vist effekten på varmeakkumuleringen ved andre overgangsisolanser samt eksempler på overgangsisolanser under forskellige forhold.

Der er udvalgt et sæt af forskellige materialeegenskaber, der dækker et spektrum af de gængse byggematerialer med vægt på beton i forskellige vægtklasser.

De primære materialeparametre er:

Densitet af materialet, ρ , (i enheden: kg/m^3)

Varmeledningsevne, λ (i enheden: $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Varmekapacitet, c_p (i enheden: $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)

Der er to afledede størrelser, der især er interessante:

Varmekapacitet pr. volumen, $c_p \cdot \rho$ (i enheden: $\text{MJ}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$)

Varmeindtrængningstal: $d = (\rho \cdot \lambda \cdot c_p)^{1/2}$ (i enheden: $\text{J}/(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{s}^{1/2})$)

Som det ses af ovenstående afhænger varmeindtrængningstallet af densiteten, varmeledningsevnen og varmekapaciteten og benyttes ofte til at karakterisere et materiales varmeakkumulerende egenskaber ved en bestemt tykkelse.

Nedenfor er vist en række data for forskellige materialer. Betegnelsen letbeton er benyttet for en letklinkerbeton med densiteten 1800 kg/m^3 . Der er benyttet følgende referencer for fastlæggelse af materialeegenskaberne:

Densiteterne er skønnede typiske værdier for densiteter af de pågældende materialer.

Varmeledningsevnen af materialerne er fundet ved hjælp af DS 418, /5/.

Varmekapaciteten er fundet ved hjælp af DS/EN 12524, /6/.

De anvendte værdier er vist i tabel 1 nedenfor:

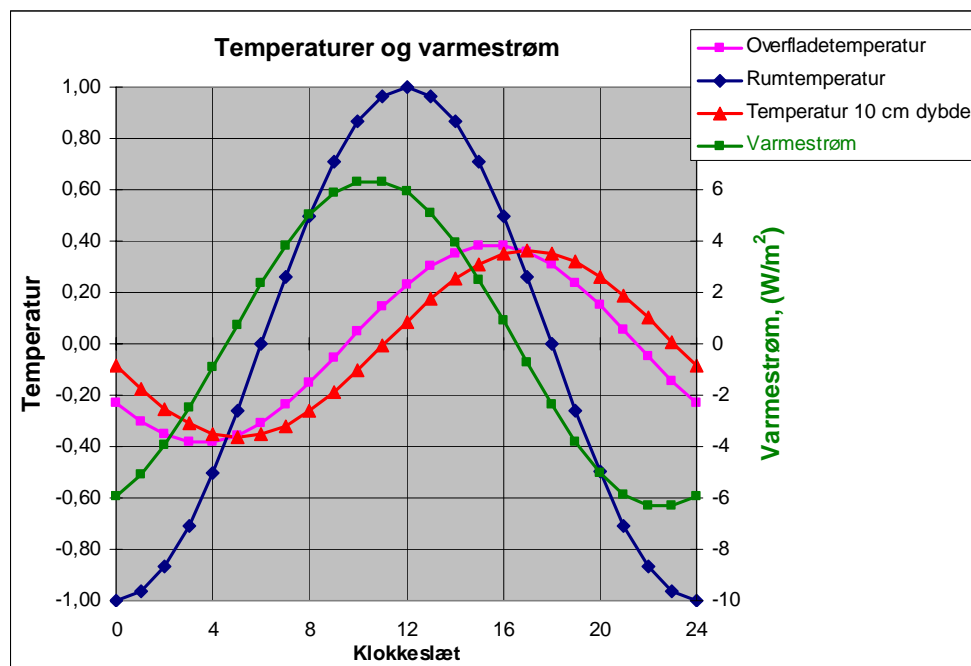
Tabel 1. Materialeværdier benyttet i varmeakkumuleringsberegninger.

Nr.	Materiale	Densitet	Varmeledningsevne	Varmekapacitet	Varmekapacitet pr. volumen	Varmeindtrængningstal
			λ	c_p	$c_p \cdot \rho$	d
		kg/m^3	W/mK	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	$\text{MJ}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$	$\text{J}/(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{s}^{1/2})$
1	Beton	2400	2,1	1000	2,40	2245
2	Letbeton	1800	0,8	1000	1,80	1200
3	Tegl	1800	0,62	840	1,51	968
4	Letklinkerbeton	1200	0,4	1000	1,20	693
5	Gipsplade med papir	900	0,25	1000	0,90	474
6	Porebeton	700	0,19	1000	0,70	365
7	Letklinkerbeton	600	0,17	1000	0,60	319
8	Træ	500	0,13	1600	0,80	322

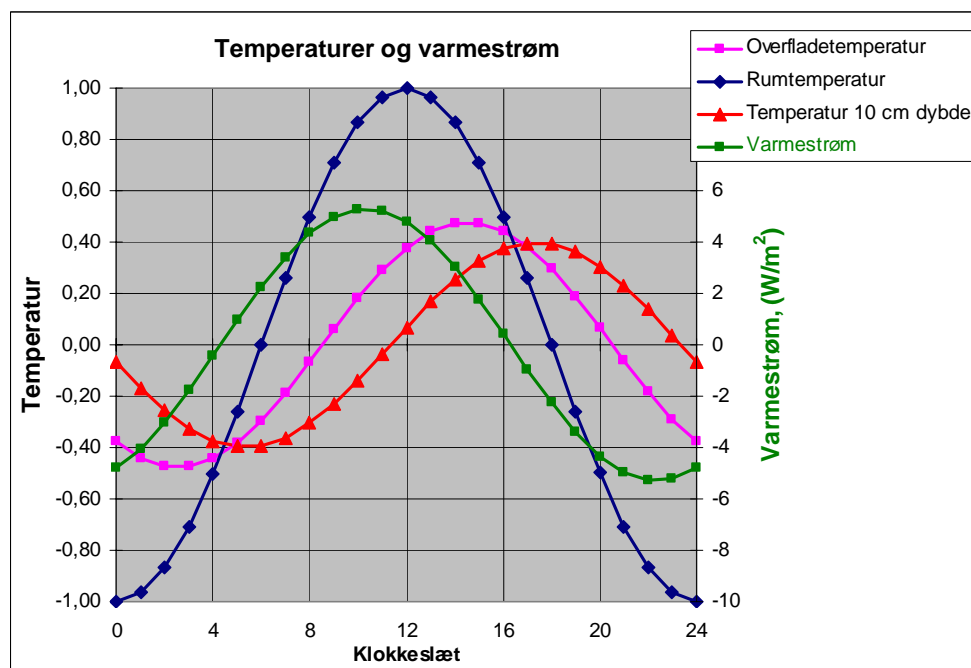
Der er foretaget beregninger med programmet Heat2 /7/ for at beregne varmeakkumuleringen ved påvirkning af en sinusformet temperatursvingning af rumluften med en amplitude (udsving) på $\pm 1 \text{ K}$. Materialerne er forudsat anvendt i forskellige tykkelser. Der er regnet på tykkelserne 2,5 cm, 5 cm og 10 cm. Der forudsættes påvirkning fra den ene side af materialet, mens den anden side er adiabatisk. Det vil sige, at denne side er uendeligt godt isoleret. Hvis en væg (fx skillevæg) er påvirket ensartet fra begge sider, svarer tykkelserne til den halve vægtykkelse, idet der er symmetri, og der således ikke forekommer varmestrøm gennem midterlinjen af væggen.

1.5 Varmeakkumuleringsberegninger

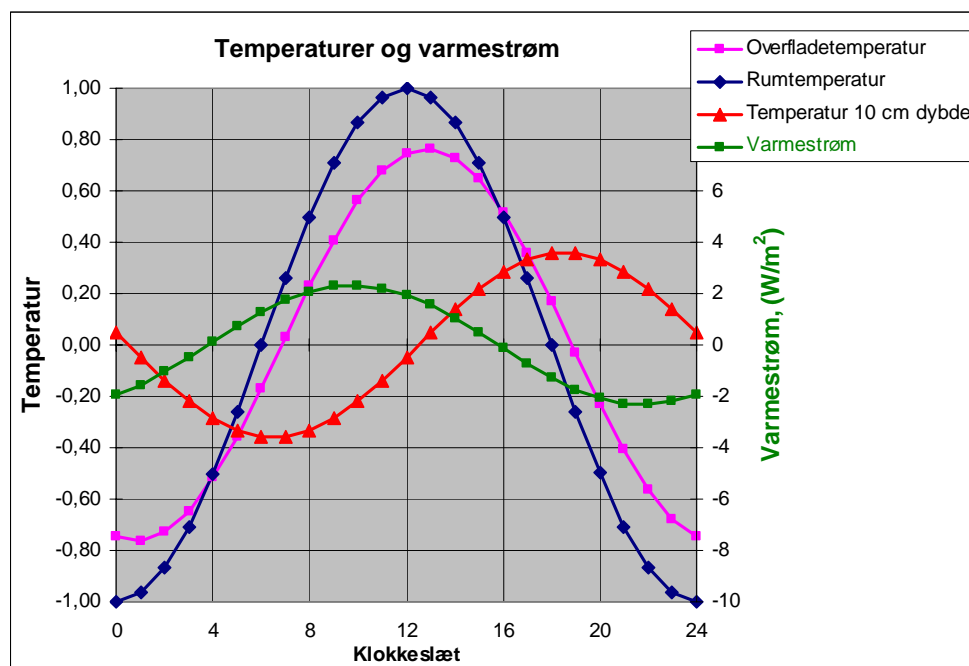
Nedenfor på figurerne 1 til 3 er vist eksempler på beregnede temperaturer og varmestrømme i materialerne (positiv varmestrøm betyder, at varmen tilføres materialet).



Figur 1. Eksempel på temperaturer og varmestrøm ved en betongvæg, 10 cm tykkelse.



Figur 2. Eksempel på temperaturer og varmestrøm ved en letbetongvæg, $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$, 10 cm tykkelse.



Figur 3. Eksempel på temperaturer og varmestrøm ved en massiv trævæg, 10 cm tykkelse.

På figur 1 er vist et eksempel med en 10 cm tyk **betonvæg**. Kurverne viser forløbet af temperaturer og varmestrømme, når rumtemperaturerne (blå kurve) varierer med ± 1 K. Beregningerne viser, at dette medfører en overfladetemperatur (lilla kurve), der varierer med $\pm 0,4$ K. Den maksimale rumtemperatur forekommer, som det ses af kurverne, kl. 12. Den maksimale overfladetemperatur forekommer 3-4 timer senere. Temperaturerne i 10 cm dybde fra overfladen (rød kurve) varierer med næsten samme temperaturudsving som ved overfladen. Dette sker med ca. 5-6 timers forsinkelse i forhold til den maksimale rumtemperatur.

Varmestrømmen ved overfladen (grøn kurve) varierer proportionelt med temperaturforskellen mellem rumtemperaturen og overfladetemperaturen. Størrelsen af varmestrømmen kan aflæses på den højre skala på figur 1. Den maksimale varmestrøm opnås 1 - 2 timer, før den maksimale rumtemperatur opnås.

Der kan sammenlignes med forholdene med en **letbetonvæg** ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$) (figur 2). I dette tilfælde vil det maksimale temperaturudsving på overfladen ændres til $\pm 0,5$ K. Temperaturen i 10 cm tykkelse varierer med et lidt mindre udsving på $\pm 0,5$ K.

Hvis der sammenlignes med en 10 cm tyk **trævæg** (figur 3), vil det maksimale temperaturudsving på overfladen ændres til $\pm 0,75$ K. Temperaturen i 10 cm tykkelse varierer med et udsving på $\pm 0,35$ K. Varmestrømmen for trævæggen er mindre end for de øvrige vægge, da varmeledningsevnen er mindre, og da varmekapaciteten pr. rumfangsenhed er mindre.

I tabel 2 nedenfor er vist en summation af varmestrømmen i de 12 timer, hvor rumtemperaturen er større end overfladetemperaturen, dvs. når varmestrømmen er positiv. Summen er vist i tabellen som den **beregnete varmeakkumulering pr. overfladeareal ved sinussvingning** og er dermed den mængde varme, der transporteres ind i materialet ved positiv varmestrøm. De tungere materialer med stor varmeledningsevne lagrer på denne måde mere varme end de øvrige materialer.

I tabellen er også vist **varmekapaciteten pr. overfladeareal** ved de forskellige tykkelser af materialet. Denne størrelse er beregnet som: $c_p \cdot \rho \cdot t$ (i enheden: Wh/K m², hvor t er tykkelsen af materialet.

Den beregnede varmeakkumulering afhænger af amplituden (temperaturudsvinget). Der er forudsat en forskel mellem rumluftens maksimums- og minimumstemperatur på 2 K. Hvis materialets temperatur følger denne temperaturvariation med eksakt samme størrelse, vil der være en 100 % udnyttelse af varmekapaciteten. I praksis vil temperaturen i materialet variere mindre bl.a. på grund af overgangsisolansen og varmeledningsevnen. Temperaturvariationen i materialet svarer til, at der akkumuleres en mængde varme. Størrelsen af den akkumulerede varme er vist i tabel 2.

Den akkumulerede varme kan relateres til den maksimalt mulige mængde varme ved en bestemt temperaturændring af hele materialet. Forholdet mellem disse størrelser defineres som en **udnyttelse af varmekapaciteten**. Man kan også tale om den **aktive varmekapacitet**, der er den aktuelle varmekapacitet ganget med udnyttelsen af varmekapaciteten. Den temperaturændring, der svarer til sinussvingningen på ± 1 K, er således 2 K.

Udnyttelsen af varmekapaciteten er vist på tabel 2. Af tabellen ses, at ved en materialetykkelse på 2,5 cm udnyttes mellem 86 og 96 % af varmekapaciteten for alle materialerne. Tilsvarende udnyttes mellem 64 og 89 % af varmekapaciteten ved en materialetykkelse på 5 cm og ved en materialetykkelse på 10 cm udnyttes mellem 37 og 56 % af varmekapaciteten.

Udnyttelsen af varmekapaciteten er mindre ved beton end ved de lettere materialer. Det skyldes populært sagt, at mængden af tilført varme begrænses af overgangsisolansen og modstanden mod varmeledning i selve materialet.

I praksis betyder det ikke så meget, at udnyttelsen af varmekapaciteten ved beton er mindre end ved de lettere materialer, da det er størrelsen af varmeakkumuleringen pr. overfladeareal, der er den afgørende størrelse.

Den varmekapacitet, der ikke udnyttes, kan i princippet udnyttes, hvis svingningerne har en længere periode, fx ugesvingninger. Det vil sige, hvis perioder med sammenhængende dage, hvor der tilføres meget varme til rummene, veksler med perioder med sammenhængende dage med begrænset tilført varme, så vil den ikke-udnyttede varmekapacitet kunne udnyttes i en vis udstrækning.

Den ikke-udnyttede varmekapacitet kan alternativt udnyttes, hvis der sker en aktiv varmelagring i konstruktionerne, fx vha. indstøbte varmeslanger og lignende.

Udnyttelsen af varmekapaciteten må således overordnet betegnes som at være mere afhængig af materialets tykkelse end af selve materialets egenskaber. Det er størrelsen af varmeakkumuleringen pr. overfladeareal, som er den væsentligste parameter at tage i betragtning, når materialets egenskaber skal vurderes i henseende til opnået varmeakkumulering.

Beregningerne er som nævnt foretaget med forskellige tykkelser af materialet. Der er regnet på følgende tykkelser: 2,5 cm, 5 cm og 10 cm og med ensidig påvirkning af overfladen. Varmeakkumuleringens afhængighed af materialets tykkelse og type kan ses af figur 4.

Tabel 2. Varmekapacitet pr. overfladeareal, beregnet varmeakkumulering pr. overfladeareal og udnyttelse af varmekapacitet.
Den beregnede varmeakkumulering er bestemt med en variation af rumtemperatur med periodelængde på 1 døgn og amplitude på ± 1K.

Nr.	Materiale	Densitet	Varmekapacitet pr. overfladeareal (Wh/K m ²)			Beregnet varmeakkumulering pr. overflade- areal (Wh/K m ²) ved sinussvingning (± 1 K)			Udnyttelse af varmekapacitet (%)		
			Tykkelse af materiale			Tykkelse af materiale			Tykkelse af materiale		
			kg/m ³	0,025 m	0,050 m	0,100 m	0,025 m	0,050 m	0,100 m	0,025 m	0,050 m
1	Beton	2400	16,7	33,3	66,7	28,6	42,7	48,8	86	64	37
2	Letbeton	1800	12,5	25,0	50,0	22,8	35,3	40,4	91	71	40
3	Tegl	1800	10,5	21,0	42,0	19,6	31,7	36,8	93	76	44
4	Letklinkerbeton	1200	8,3	16,7	33,3	15,8	26,6	30,9	95	80	46
5	Gipsplade med papir	900	6,3	12,5	25,0	12,0	20,9	24,5	96	83	49
6	Porebeton	700	4,9	9,7	19,4	9,5	16,8	20,5	98	87	53
7	Letklinkerbeton	600	4,2	8,3	16,7	8,2	14,8	18,6	98	89	56
8	Træ	500	5,6	11,1	22,2	10,6	17,5	17,8	96	79	40

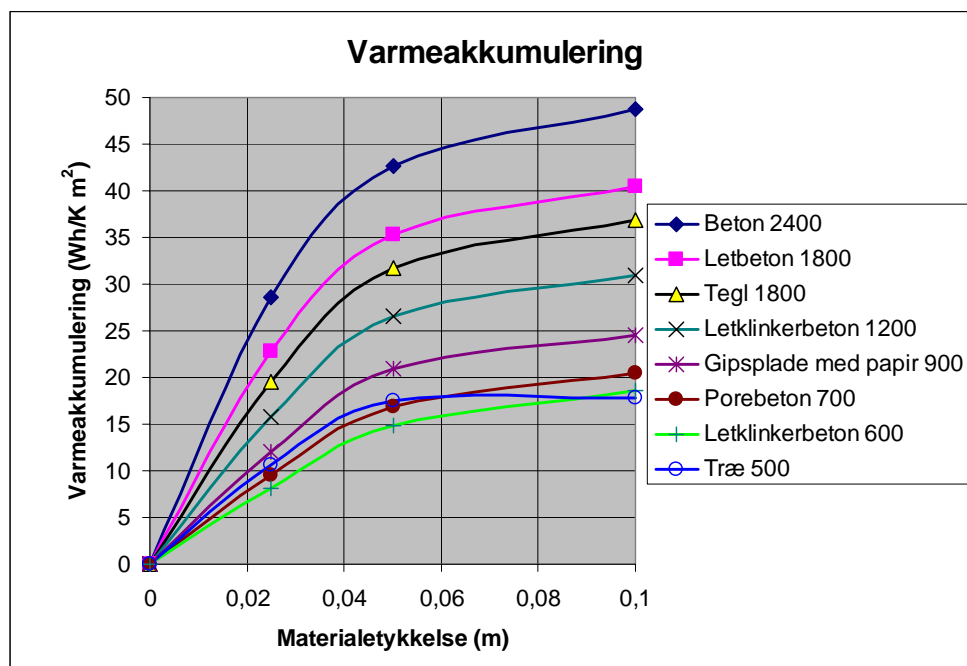
Varmeakkumuleringen forøges, når tykkelsen af materialet forøges (figur 4). Varmeakkumuleringens størrelse er proportionel med tykkelsen på de første cm op til ca. 3 cm for stort set alle materialer. I området fra 3 til 5 cm klinger stigningen af for alle materialer. For tykkelser over 5 cm sker der for stort set alle materialers vedkomne stadig en stigning ved en øget tykkelse, men stigningen er væsentlig svagere i dette område. Den absolutte stigning i varmeakkumuleringen er størst for de tungeste betoner. For betoner med densitet over 1000 kg/m^3 er stigning i varmeakkumuleringen ca. 15 % ved denne forøgelse af tykkelsen.

For træ sker der en reduceret varmeakkumulering, når tykkelsen øges fra 5 til 10 cm. Træ opfører sig i denne henseende specielt på grund af materialets store varmekapacitet pr. vægt set i forhold til de øvrige byggematerialer. Det ses, at træ ved tykkelser på op til 5 cm har en varmeakkumulering, der er større end værdierne for porebeton med densitet på 700 kg/m^3 . For en tykkelse på 10 cm har træ den laveste varmeakkumulering. Det skyldes, at træ har en stor varmekapacitet pr. volumenenhed, men har en lille varmeledningsevne. Dette medfører, at varmen let kan komme ind i træet det første stykke, men har vanskeligt ved at trænge ind i større dybder.

Værdierne ved 5 cm tykkelse kan betegnes som karakteristiske, idet der er nogenlunde proportionalitet op til denne tykkelse, og det er begrænset, hvor meget yderligere forøgelse af varmeakkumuleringen det er muligt at opnå.

Materialerne kan karakteriseres ved varmeakkumuleringen for 5 cm tykkelse:

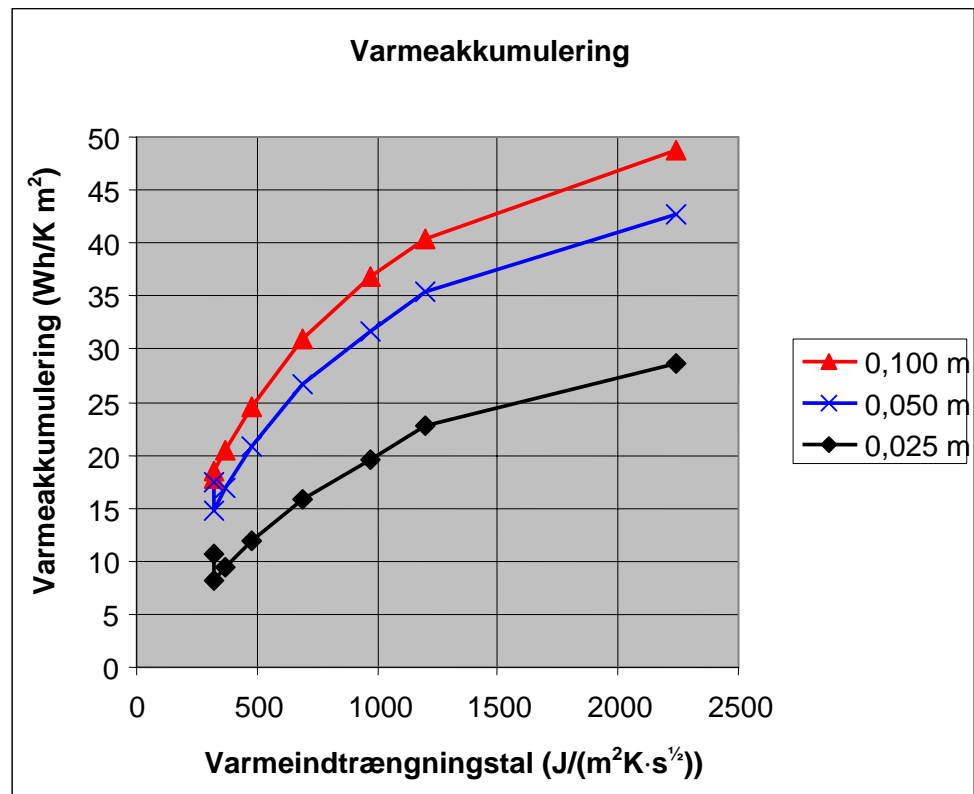
- Beton med densitet på 2400 kg/m^3 har den største varmeakkumulering på 43 Wh/K m^2 .
- Letbeton og tegl med densitet på 1800 kg/m^3 har en varmeakkumulering på mellem 32 og 35 Wh/K m^2 .
- Letklinkerbeton med densitet 1200 kg/m^3 har en varmeakkumulering på 27 Wh/K m^2 .
- I den nederste gruppe findes materialerne gipsplader, porebeton med densitet 700 kg/m^3 , letklinkerbeton med densitet 600 kg/m^3 og træ med densitet på 500 kg/m^3 . Gruppen har en varmeakkumulering på mellem 15 og 21 Wh/K m^2 .



Figur 4. Varmeakkumuleringen fra Tabel 2 optegnet i afhængighed af materialetype og -tykkelse.

Af figur 5 ses varmeakkumuleringen som funktion af varmeindtrængningstallet og tykkelsen. Det ses, at varmeakkumuleringen stiger med stigende varmeindtrængningstal og tykkelse. For en bestemt tykkelse ses, at stigningen i varmeakkumuleringen stiger hurtigst ved små varmeindtrængningstal og langsomst ved store varmeindtrængningstal. Den eneste undtagelse skyldes træ ved tykkelserne 5 – 10 cm, der giver en mindre afvigelse i forhold til de kurver, som de øvrige materialer danner.

Kurverne i figur 5 kan benyttes til at finde varmeakkumuleringen for andre end de her anvendte materialer, hvis varmeindtrængningstallet kendes for det pågældende materiale.



Figur 5. Varmeakkumuleringen fra Tabel 2 i afhængighed af varmeindtrængningstal fra Tabel 1 og materialetykkelse.

1.6 Betydning af overgangsisolans

For at illustrere betydningen af overgangsisolanser er der nedenfor vist et eksempel på en beregning af effekten af varmeakkumuleringsevnen for beton i afhængighed af overgangsisolans og tykkelse af materialet.

Overgangsisolansen er den modstand, der er mod varmetransport fra rummet til overfladen. Stor overgangsisolans betyder således, at overfladen vanskeligt opvarmes af den omgivende luft.

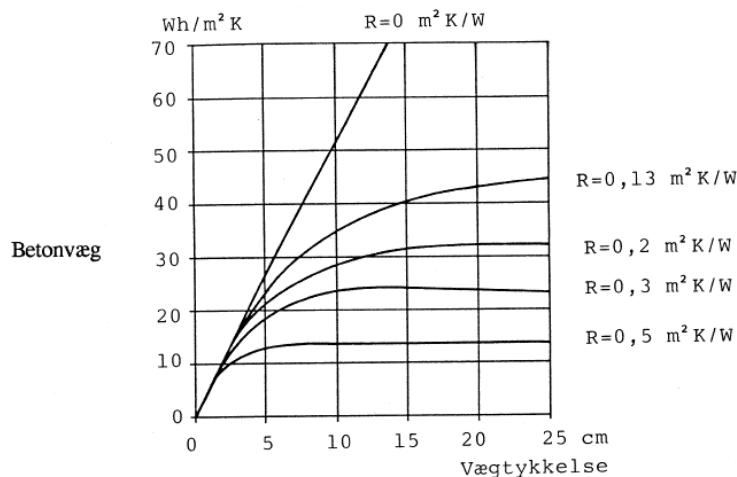
Varmeakkumuleringen i figur 6 er beregnet på tilsvarende vis som i de forrige afsnit. De viste værdier for varmeakkumulering er for én side af en symmetrisk væg. Det vil sige, at for at kunne sammenligne med de tidligere beregninger skal de angivne vægtykkelser halveres.

Varmeakkumuleringen er i de tidligere beregninger foretaget med en overgangsisolans på $R = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$. De i eksemplet nedenfor viste værdier for varmeakkumulering er dog lidt lavere end de værdier, der er bestemt i det forrige afsnit, hvilket skyldes mindre forskelle i materialeegenskaber.

Varmetransporten foregår både ved konvektion og varmestråling. Konvektionen sker ved, at luften udveksler varme med overfladen, og varmestrålingen sker ved, at overflader i rummet med en anden temperatur udveksler varme med den pågældende overflade.

En overgangsisolans på $R = 0$ svarer stort set til, at luften blæser hen over overfladen med stor hastighed, hvorved overfladetemperaturen og lufttemperaturen bliver identisk.

Kurverne viser, at når overgangsisolansen forøges, så falder varmeakkumuleringen. Det ses, at når overgangsisolansen er stor, er det ikke muligt at forøge varmeakkumuleringen ved en forøget materialetykkelse. For at eksemplificere dette vil fx et skab med en samlet overgangsisolans på ca. $0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ give en væsentlig reduktion af varmeakkumuleringen i den bagvedliggende beton, hvis tykkelsen af betonen er større end nogle få cm.



Varmelagring fra begge sider i en betonvæg ved en sinusformet svingning af lufttemperaturen på begge sider af vægfladen, med en periode på 24 timer (Brown og Partheen 1980).

Figur 6. Eksempel på varmelagringens afhængighed af overgangsisolans /8/.

For at give et indtryk af indvendige overgangsisolanser kan det nævnes, at der i DS 418, Beregning af bygningers varmetab er givet følgende værdier i afhængighed af varmestrømmens retning:

Overgangsisolans ved overflade:

- Varmestrøm, vandret: $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Varmestrøm, opad: $0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Varmestrøm, nedad: $0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$

Isolans af hulrum (fx bag et maleri eller i et gulv) med tykkelsen 10 - 100 mm:

- Varmestrøm, vandret: $0,15 - 0,18 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Varmestrøm, opad: $0,15 - 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Varmestrøm, nedad: $0,15 - 0,22 \text{ m}^2\text{K/W}$

Isolans af materialer:

- Tæppe, typisk /9/: $0,05 - 0,20 \text{ m}^2\text{K/W}$.
- Trægulv, inkl. filt, typisk /9/: $0,20 - 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$.

I værdierne ovenfor er der vist isolansen ved forskellige retninger af varmestrømmen. Forskellene i isolans ved varmestrøm opad og nedad kan illustreres med effekten af, at varm luft har en tendens til at stige opad, mens kold luft tilsvarende vil falde nedad. Dette giver en indflydelse på overgangsisolansen.

Eksempel på beregning af varmekapacitet i byggeri

1.7 Varmeakkumulering og bygningsreglementet

I beregningsprogrammet Be06 /3/ indgår **bygningens varmekapacitet** og dermed varmeakkumuleringsevnen af bygningskonstruktionerne som en parameter, der skal anvendes i programmet.

I vejledningsteksten til Be06 er beskrevet, at det er bygningens aktive varmekapacitet svarende til den varme, der bliver oplagret og afgivet ved en døgnsvingning. Varmekapaciteten skal betragtes som en gennemsnitsværdi for hele bygningen, idet bygningen beregnes som en helhed.

Til fastsættelse af varmekapaciteten for bygninger anbefales anvendelse af de typiske værdier, der er vist i nedenstående tabel 3. Betegnelsen klinkebetonvægge må opfattes som letklinkerbetonvægge.

Tabel 3. Bygningers varmekapacitet (c) pr. m² opvarmet etageareal /4/.

Beskrivelse	Indvendige konstruktioner	Varmekapacitet c Wh/K m ²
Ekstra let	Lette vægge, gulve og lofter, fx skelet med plader eller brædder, helt uden tunge dele	40
Middel let	Enkelte tungere dele, fx betondæk med trægulv eller porebetonvægge	80
Middel tung	Flere tunge dele, fx betondæk med klinker og tegl- eller klinkebetonvægge	120
Ekstra tung	Tunge vægge, gulve og lofter i beton, tegl og klinker	160

Tabel 6. Bygningers varmekapacitet.

Ved at benytte denne tabel er det ikke nødvendigt med et stort regnearbejde. Der kan dog benyttes mere detaljerede metoder til at fastlægge varmekapaciteten af bygninger for dermed at opnå en mere nøjagtig bestemmelse. En mere nøjagtig bestemmelse kan tage hensyn til egenskaberne af de benyttede materialer og omfanget af overflader, der kan akkumulere varme. Derved kan varmeakkumuleringen projekteres mere nøjagtigt. Det kan gøres ved sammenvægtning af varmekapaciteten for de forskellige bygningsoverflader som beskrevet nedenfor.

1.8 Forenklet europæisk metode

I den europæiske standard prEN ISO 13790:2005 /10/ er der givet en forenklet metode til beregning af varmekapaciteten.

I denne metode foretages der en summation af varmekapaciteten i materialerne i overfladerne, der deltager aktivt i varmeakkumuleringen. Det angives, at der ved den enkelte overflade medtages det materiale, der medvirker ved akkumuleringen, indtil der nås

- midten af en rumadskillende flade

- et isoleringslag
- en tykkelse på 10 cm af det pågældende materiale

Det er ikke nævnt, at der skal stoppes ved nedhængte lofter, tæpper eller gulv på strøer. Betydningen af overgangsisolanser eller hulrum er altså ikke omtalt. Der kan dog forventes en væsentlig reduktion af den varmeakkumulerende effekt ved oversiden af et betondæk, hvorpå der er placeret et gulv på strøer.

I det følgende er den forenkede metode illustreret ved et eksempel med en kontorbygning.

Arealet af de akkumulerende overflader skal opgøres i forhold til det opvarmede etageareal. Det er i eksemplet forudsat, at væggenes vandrette tværsnitsarealer udgør 10 % af etagearealet.

Der forudsættes en bygning af beton med følgende gennemsnitlige dimensioner:

- Rumhøjde: 2,7 m
- Afstand mellem tværskillevægge: 5 m
- Bygningsdybde: 10 m
- Vindues- og dørareal i facader: 25 % af gulvareal

Arealet af de overflader, der medvirker til akkumulering, kan for et typisk rum opgøres i forhold til det opvarmede etageareal:

- Gulvareal: 90 %
- Loftsareal: 90 %
- Skillevægsareal: 90 %
- Facadeareal, ekskl. vinduesareal: 29 %

Rumstørrelsen er her 50 m². Er rumstørrelsen væsentlig mindre, som det ofte er tilfældet i boliger, vil skillevægsarealet typisk være væsentlig større. Er rummenes dimensioner 4 x 4 m, vil skillevægsarealet være ca. 250 %.

For at illustrere, hvorledes det er muligt at bestemme varmekapaciteten efter den forenkede europæiske beregningsmetode, er der i dette afsnit vist tre eksempler. I eksemplerne er beregnet den aktuelle varmekapacitet og den aktive varmekapacitet beregnet med døgnsvingninger af temperaturerne. Den aktive varmekapacitet er den del af varmekapaciteten, der deltager i akkumuleringen af varmen. Der findes en europæisk standard, der kan benyttes til at beregne den aktive varmekapacitet /12/.

Eksempel 1

I dette eksempel forudsættes følgende konstruktionsdele:

- Massivt betondæk med klinkegulv, 20 cm tykkelse
- Bagmur i ydervægge, 10 cm beton
- Skillevægge, 18 cm beton

Der forudsættes materialegenskaber som ved massiv beton. Varmekapaciteten kan dermed beregnes som vist i tabel 4.

Tabel 4. Eksempel 1 med betonkonstruktioner.

Konstruktionsdel	Overflade-areal i forhold til opvarmet etageareal	Materiale-tykkelse	Varmekapa-citet pr. overflade-areal	Varmekapa-citet pr. opvarmet etageareal	Aktiv varmekapacitet pr. overflade-areal	Aktiv varmekapacitet pr. opvarmet etageareal
		m	Wh/K m ²	Wh/K m ²	Wh/K m ²	Wh/K m ²
Loft,beton	0,90	0,10	66,7	60,0	24,4	22,0
Gulv, klinker	0,90	0,10	66,7	60,0	24,4	22,0
Skillevægge, beton	0,90	0,09	60,0	54,0	22,2	20,0
Ydervægge,beton	0,29	0,10	66,7	19,3	24,4	7,1
Sum	2,99			193,4		71,0

Eksempel 2.

I dette eksempel forudsættes følgende konstruktionsdele:

- Dæk af letklinkerbeton med trægulv (2,5 cm) på strøer med isolering under. Letklinkerbeton forudsættes at have densitet 1200 kg/m³.
- Bagmur i ydervægge, 10 cm porebeton. Porebeton forudsættes at have en densitet på 700 kg/m³.
- Skillevægge: 10 cm porebeton. Skillevæggene er påvirket fra begge sider.

Varmekapaciteten kan dermed beregnes som vist i tabel 5.

Tabel 5. Eksempel 2 med letklinkerbeton, porebeton og trægulv.

Konstruktionsdel	Overflade-areal i forhold til opvarmet etageareal	Materiale-tykkelse	Varmekapa-citet pr. overflade-areal	Varmekapa-citet pr. opvarmet etageareal	Aktiv varmekapacitet pr. overflade-areal	Aktiv varmekapacitet pr. opvarmet etageareal
	-	m	Wh/K m ²	Wh/K m ²	Wh/K m ²	Wh/K m ²
Loft, letklinker	0,90	0,10	33,3	30,0	15,5	13,9
Gulv, træ	0,90	0,03	5,6	5,0	5,3	4,8
Skillevægge, porebeton	0,90	0,05	9,7	8,8	8,4	7,6
Ydervægge, porebeton	0,29	0,10	19,4	5,6	10,2	3,0
Sum	2,99			49,4		29,2

Eksempel 3.

I dette eksempel forudsættes følgende konstruktionsdele:

- Loft af gipsplader (2,5 cm tykke). Gipsplader forudsættes at have densitet 900 kg/m³.
- Trægulv (2,5 cm tykkelse) på strøer med isolering under.
- Bagmur af gipsplader (2,5 cm).
- Skillevægge af gipsplader (2,5 cm).

Varmekapaciteten kan dermed beregnes som vist i tabel 6.

Tabel 6. Eksempel 3 med gipsplader og trægulv.

Konstruktionsdel	Overfladeareal i forhold til opvarmet etageareal	Materiale-tykkelse	Varmekapacitet pr. overfladeareal	Varmekapacitet pr. opvarmet etageareal	Aktiv varmekapacitet pr. overfladeareal	Aktiv varmekapacitet pr. opvarmet etageareal
	-	m	Wh/K m ²	Wh/K m ²	Wh/K m ²	Wh/K m ²
Loft, gipsplade	0,90	0,03	6,3	5,6	6,0	5,4
Gulv. Træ	0,90	0,03	5,6	5,0	5,3	4,8
Skillevægge, træ	0,90	0,03	6,3	5,6	6,0	5,4
Ydervægge	0,29	0,03	6,3	1,8	6,0	1,7
Sum	2,99			18,1		17,3

Inventar

Inventaret i bygningen har også betydning for bygningens varmekapacitet. Eksempler er borde, reoler og stole. Det er svært at opgøre varmekapaciteten af inventaret, men tilnærmes varmekapaciteten til, at der er en varmeakkumulerende materiale af træ med tykkelsen 2,5 cm, der svarer til $\frac{1}{2}$ m² for hver m² etageareal, kan varmekapaciteten bestemmes til: $0,5 \cdot 5,6 = 2,8$ Wh/K m². Er inventarets varmekapacitet af samme størrelse som i dette eksempel, er den af begrænset betydning i forhold til varmekapaciteten i bygningens overflader. Der vil være en tendens til, at inventaret øger overgangsisolansen ved de overflader, som det er placeret ud for. Det er derfor valgt ikke at indregne betydningen af inventaret i de videre beregninger.

1.9 Sammenligning af forenklet europæisk metode og de danske anbefalinger

I eksempel 1 med tunge konstruktioner er bygningens varmekapacitet 193 Wh/K m². Den mellemtunge model i eksempel 2 har en varmekapacitet på 49 Wh/K m². I eksempel 3, der kan betegnes som en let model, er der beregnet en varmekapacitet på 18 Wh/K m².

Der er altså et væsentligt spænd på en faktor 10 mellem disse beregnede varmekapaciteter. En sammenligning med tabel 3, der indeholder de anbefalede tabelværdier for varmekapaciteter til beregningsprogrammet Be06 /4/, er foretaget i det følgende.

Den beregnede varmekapacitet på 193 Wh/K m² i eksempel 1 kan sammenlignes med den anbefalede danske tabelværdi, der for denne type konstruktion har størrelsen 160 Wh/K m². Denne tabelværdi er karakteriseret ved tunge vægge, gulve og lofter i beton og klinker. Den aktive varmekapacitet, altså den del af varmekapaciteten der udnyttes, når der er tale om døgnsvingninger, er beregnet til 71 Wh/K m².

I eksempel 2 er der beregnet en varmekapacitet på 49 Wh/K m². Værdien kan bedst sammenlignes med tabelværdien 80 Wh/K m², der svarer til en middel let konstruktion med enkelte tungere dele fx betondæk med trægulv eller porebetonvægge. Den aktive varmekapacitet er beregnet til 29 Wh/K m².

I eksempel 3 er der beregnet en varmekapacitet på 18 Wh/K m². Værdien kan bedst sammenlignes med tabelværdien 40 Wh/K m², der svarer til en ekstra let konstruktion helt uden tungere dele, hvor der er lette vægge, gulve og lofter, fx skelet med plader eller brædder. Den aktive varmekapacitet er beregnet til 17 Wh/K m².

Efter ovennævnte forenkledede CEN beregningsmetode kan der således opnås større værdier end i den danske tabel til beregningsprogrammet Be06 for den ekstra tunge model. For de to øvrige modeller vil de beregnede værdier efter den forenkledede CEN metode være lavere end de anbefalede tabelværdier.

Dermed giver den forenkledede europæiske metode en væsentlig større forskel i varmekapacitet mellem de lette og de tunge konstruktioner, end hvad der er anført i de danske anbefalinger (tabel 3).

Ovennævnte værdier er den beregnede varmekapacitet efter den forenkledede CEN metode.

Ses der på beregningerne af den aktive varmekapacitet baseret på grundlag af døgnsvingninger, sker der en reduktion af den del af varmekapaciteten, der kan udnyttes. Udnyttelsen vil være tæt på 40 % i eksempel 1, ca. 50 % i eksempel 2 og tæt på 100 % i eksempel 3.

Her spiller den effekt ind, at der sker en væsentlig reduktion af udnyttelsen af varmekapaciteten, når materialetykkelsen vokser mod 10 cm. (se tabel 2).

I praksis vil det i en konkret konstruktion være muligt at beregne den aktive varmekapacitet og dermed indregne effekten af overgangsisolanser og tykkelser ved hjælp af prEN ISO 13786, Annex A3 /12/, hvor der er vist en formel, der kan indregne disse effekter. Denne formel vil give resultater, der stort set svarer til de udførte beregninger med sinussvingninger (afsnit 1.5).

Niveauet på de aktive varmekapaciteter ligger væsentligt under de danske anbefalinger i tabel 3. Det vil sige, at benyttelse af de danske tabelværdier normalt vil give en væsentlig større varmekapacitet, end hvis der foretages en mere detaljeret beregning efter princippet med den aktive varmekapacitet.

Selv hvis der tages hensyn til den aktive varmekapacitet, er der et stort spænd mellem varmekapaciteterne i de tre beregningseksempler.

Disse simple beregningseksempler viser, at de danske tabelværdier bør overvejes og eventuelt justeres. Disse overvejelser må imidlertid ses i sammenhæng med forudsætningerne for den forenkledede beregningsmetode og forudsætningerne i Be06.

Analyse af energibehov, beregningsforudsætninger

1.10 Indledning

I de følgende kapitler er der foretaget beregninger af energibehovet for forskellige bygningsmodeller. Den ene model er en kontorbygning og den anden et enfamiliehus. Disse to modeller er i overensstemmelse med de tilsvarende, som er anvendt i CEMBUREAU's beregninger. Dette er nærmere beskrevet i de efterfølgende hovedafsnit. I dette hovedafsnit er beskrevet nogle af de generelle beregningsforudsætninger, som anvendes, når energibehovet skal bestemmes.

Formålet med denne analyse er at bestemme effekten af den termiske masse, der er i beton, ved opvarmning og køling af bygninger med anvendelse af de beregningsregler, der blev introduceret i 2006 i forbindelse med de nye energibestemmelser i Bygningsreglementet .

I beregningsreglerne tages der hensyn til energiforbrug til både opvarmning, ventilation og køling. Der indgår desuden hensyntagen til den termiske komfort i bygningerne. De gennemførte simuleringer er foretaget med beregningsprogrammet Bygningers energibehov, Be06 /4/, som er udarbejdet på Statens Byggeforskningsinstitut, SBI. Der er beskrevet en række forudsætninger i SBI anvisning 213: Bygningers energibehov, Beregningsvejledning /4/. Denne publikation fungerer som en vejledning til beregningsprogrammet Be06.

Programmet beregner energibehovet for en bygning på grundlag af i princippet alle indgående energimæssige parametre. Beregningsmetoderne i programmet er baseret på forskellige danske og europæiske standarder. De centrale parametre i metoden er gennemgået i det følgende, idet der er beskrevet en række af de parametre, som kan have betydning ved udførelse af beregninger, hvori der indgår udnyttelse af varmeakkumulering i bygningskonstruktionerne.

1.11 Varmeakkumulering

I beregningsprogrammet Be06 indgår **bygningens varmekapacitet** og dermed varmeakkumuleringsevnen af bygningskonstruktionerne som en parameter, der skal anvendes i programmet. Dette er nærmere beskrevet i det forrige kapitel. På grundlag af varmekapaciteten kan bestemmes, hvor stor en andel af de **interne varmetilskud** (gratisvarmen), der kan udnyttes til at reducere behovet for rumopvarmning. Denne andel kaldes for **udnyttelsesfaktoren**. De interne varmetilskud består af solindfaldet, varme fra personer, maskiner, belysning m.v.

Hvis der er en stor varmeakkumuleringsevne, som det er tilfældet i bygninger med betonkonstruktioner, vil der ikke skulle fjernes så meget overskudsvarme.

Dermed vil der i princippet være færre udgifter til investeringer i udstyr og til drift af de systemer, der skal fjerne varmen.

1.12 Termisk indeklima og køling.

Der er som noget nyt krav om en maksimal rumtemperatur ved energibehovsberegninger. I beregningsprogrammet Be06 er anvendt en forenklet metode til beregning af det termiske indeklima og til beregning af køling. I metoden indgår varmekapaciteten af bygningen. Ved en stor tilførsel af interne varmetilskud skal der fjernes en del overskudsvarme for at undgå for høje temperaturer. I programmet kan der udføres beregninger af størrelsen af overskudsvarmen og af temperaturforholdene.

I beregningsprogrammet Be06 er der forskellige muligheder for at fjerne overskudsvarmen, for at reducere den eller helt at undgå egentlig køling.

Hvis der specificeres en solafskærmning, antages det i princippet, at den styres automatisk. Hvis der er manuelt betjent solafskærmning, vil denne kun medtages beregningsmæssigt i en vis udstrækning. Solafskærmningen vil træde i funktion ved direkte solindfald, både sommer og vinter.

Der er også mulighed for at specificere forceret udluftning eller natventilation. Ved anvendelse af forceret ventilation forudsættes, at denne træder i kraft ved en temperatur på 23 °C. Ved natventilation træder denne i kraft ved 24 °C. Anvendes egentlig mekanisk køling forudsættes, at denne træder i kraft ved 25 °C.

I bygninger, hvor der ikke er tilstrækkelig køling, og hvor temperaturen beregningsmæssigt i perioder overstiger 26 °C, antages, at varmeoverskuddet fjernes med en såkaldt fiktiv køling, der antages at være elektrisk drevet mekanisk køling med en samlet virkningsgrad på 1. Dette varmeoverskud ganges med faktoren 2,5 og tillægges det beregnede energibehov. Årsagen til faktoren 2,5 er, at energien, der anvendes til denne form for køling definitionsmæssigt er forudsat at være et el-forbrug. Energiforbruget ved køling af en vis mængde energi er således væsentlig større, end hvis den samme mængde energi skulle bruges til opvarmning. Det kan populært siges, at overtemperaturer straffes energimæssigt hårdt.

1.13 Ventilation af bygningen

For alle typer bygninger og ventilationsløsninger er minimumsventilationen 0,3 l/(s·m²), svarende til 0,5 h⁻¹ ved normal rumhøjde. Værdier for ventilation vil fremover blive regnet i enheden: l/(s·m²). I beskrivelsen nedenfor benyttes den hidtil anvendte enhed luftskiftet pr. time: h⁻¹.

Nedenfor er beskrevet, hvilke grænser for ventilation der kan benyttes i forbindelse med beregningsreglerne.

- Mekanisk ventilation angives inden for brugstiden og uden for brugstiden. Minimum 0,5 h⁻¹, men der er ikke fastsat en maksimalværdi i beregningsreglerne. For boliger er brugstiden pr. definition "altid".
- Forceret ventilation, der træder i kraft ved forhøjede rumtemperaturer, angives med værdier inden for brugstiden og uden for brugstiden. Minimum igen 0,5 h⁻¹, mens der i princippet ikke er fastsat en maksimalværdi. I boliger kan luftskiftet være op til 1,5 h⁻¹ ved manuel styring af temperaturen.

- Natkøling – Minimum igen $0,5 \text{ h}^{-1}$. Kan dog være højere i erhvervsbyggeri med særlig natkølingsstrategi.
- Naturlig ventilation – Minimum $0,5 \text{ h}^{-1}$ og maksimalt 2 h^{-1} . Dog højst 75 % af tiden i boliger.
- Infiltration – ca. $0,2 \text{ h}^{-1}$ inden for brugstiden og ca. $0,1 \text{ h}^{-1}$ uden for brugstiden. I bygninger med naturlig eller mekanisk ventilation indgår infiltrationen i det samlede luftskifte. Ved balanceret mekanisk ventilation skal infiltrationen tillægges den mekaniske ventilation. Beregningsprogrammet giver ikke mulighed for at specificere tætheden af bygningen direkte, men på grundlag af en målt lufttæthed er det muligt at beregne en infiltration, der kan benyttes i programmet.

1.14 Zoneopdeling

Bygninger vil blive beregnet som en termisk zone. Der er dog mulighed for at anvende inddata, der er differentieret for de enkelte zoner. Det kan være fx ventilation eller varmetilskud, hvor der er mulighed for at specificere forholdene for de enkelte zoner. Alle tilskud til varmebalancen bliver dog slået sammen, således at resultatet af beregningerne er et samlet gennemsnitligt resultat for hele bygningen.

Dette er en af årsagerne til, at der kan forventes forskelle mellem resultater opnået med Be06 og resultater opnået med mere detaljerede programmer som fx BSim /11/. Årsagen skal ses i lyset af, at programmet ikke er udviklet som et egentligt projekteringsværktøj. Det er udviklet med det formål at give et kontrolværktøj ved myndighedsbehandlingen. Derfor er der i programmet anvendt en række forenklinger.

Eksempel 1, kontorbygning

1.15 Beregningsforudsætninger

I dette afsnit vises et eksempel på beregning af en kontorbygning. Følgende hovedparametre er varieret:

Bygningens varmekapacitet

Der anvendes de fire grupper, der er specificeret i SBi-anvisning 213. Bygningens energibehov /4/. Betegnelserne for de fire grupper er:

Ekstra let	$c = 40 \text{ Wh/K m}^2$
Middel let	$c = 80 \text{ Wh/K m}^2$
Middel tung	$c = 120 \text{ Wh/K m}^2$
Ekstra tung	$c = 160 \text{ Wh/K m}^2$

Varmetilførsel

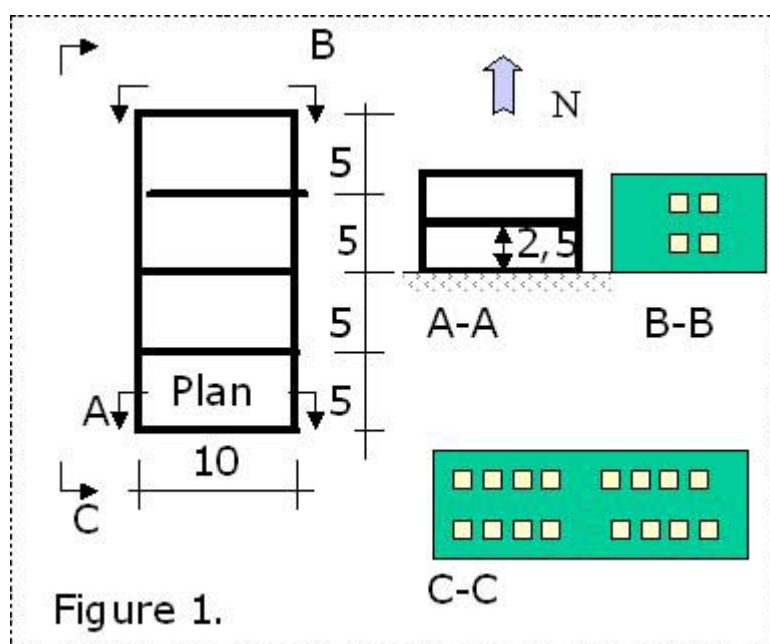
Solindfald (middel vinduesareal og stort vinduesareal). I tilfældet med stort vinduesareal er der anvendt solafskærmning. Der er derved en beskedent forskel i solindfaldet. I beregningsmetoden anvendes de danske klimadata DRY /11/.

Ventilationen varierer i to tilfælde. I det ene anvendes konstant ventilation og i det andet anvendes forceret ventilation ved høje temperaturer.

1.16 Model beskrivelse

Generelt

Kontorhuset, som er anvendt til modelberegningen, er en 2-etagers bygning på 400 m^2 etageareal.



Figur 7. Skitse af kontorbygning:

Klimaskærm

Mod øst og vest er 24 m² vinduesareal, mens der mod nord og syd er 6 m² vinduesareal. I dette tilfælde er der ikke anvendt solafskærmning. Dette svarer til *middel solindfald*. Vinduesarealet udgør 15 % af etagearealet.

Ved *stort solindfald* er vinduesarealet fordoblet. Vinduesarealet udgør således 30 % af etagearealet.

Ved det store vinduesareal er der samtidig forudsat anvendt automatisk reguleret solafskærmning. Solafskærmningen bliver beregningsmæssigt aktiveret, når der er direkte solindfald. Solafskærmningsfaktoren er sat til 0,3 svarende til, at 70 % af det solindfald, der ellers vil blive tilført rummet, er fjernet.

Vinduerne forudsættes at have en U-værdi på 1,4 W/m²K.

Det antages, at horisontskyggen er 10° over horisonten, og at der er skygge fra placering af vindue i vindueshul (parameteren vindueshul er sat til 10 %). Glasandelen for vinduet er sat til 70 %, mens solvarmetransmittansen (g-værdien) er antaget at være 0,63 svarende til en energirude.

Facade- og gavlvægge har samme U-værdi på 0,20 W/m²K.

Gulv og tag er isoleret med U-værdier på henholdsvis 0,17 W/m²K og 0,16 W/m²K.

Langs fundamenter anvendes linjetab på 0,15 W/mK.

Brugstid

Brugstiden antages at være 45 timer pr. uge i tidsrummet kl. 8 -17.

Ventilation

Hele bygningen er ventileret med 0,35 l/s m² hele døgnet. Der ventileres udelukkende med udsugning uden varmegenvinding.

I de tilfælde, hvor der anvendes forceret ventilation, forudsættes, at hvis temperaturen overstiger 23 °C anvendes forceret ventilation med et luftskifte på 1,2 l/s m². Den forcerede ventilation forudsættes at kunne anvendes hele døgnet.

Der anvendes ikke naturlig ventilation i bygningen.

Interne varmetilskud

Der er antaget et gennemsnitligt varmetilskud fra intern belastning i brugstiden på 10 W/m²K fordelt med varme fra personer på 4 W/m² og fra apparater på 6 W/m²K.

Belysning

Varmetilskuddet fra belysning er fastsat til en almenbelysning på 7 W/m²K og en arbejdspladsbelysning på 1 W/m²K. Denne forudsættes at kunne reguleres ned automatisk. Der forudsættes et belysningsniveau på 200 lux og en dagslysfaktor på 2 %.

Dette giver et energiforbrug i brugstiden på 4,4 W/m² på årsbasis og fx 8,0 W/m² i januar og 0,3 W/m² i månederne juli og august.

Varmeanlæg

Der forudsættes fjernvarme, uden at der dog er specificeret et varmetab fra fjernvarmeveksleren. Der er defineret et varmtvandsforbrug på 100 l/m²år, hvilket giver et energiforbrug, der omregnet til brugstiden er på 4,8 W/m²K.

Nøgletal, som beskriver kontorhuset geometrisk og varmeteknikk, kan findes i bilag nr. 2.

1.17 Simuleringsresultater

Nedenfor er vist resultater fra beregningerne med Be06 i tabel 7. Energibehovet kan benyttes til sammenligning med energirammen i henhold til Bygningsreglementet. Energirammen for denne bygning er 100,5 kWh/m². Den del af overskudsvarmen, der direkte indgår i energibehovet, er vist i tabel 8.

Tabel 7. Energibehov i kWh/m².

		Ekstra let	Middel let	Middel tung	Ekstra tung
Forceret ventilation	Solindfald	c = 40 Wh/K m ²	c = 80 Wh/K m ²	c = 120 Wh/K m ²	c = 160 Wh/K m ²
Nej	Middel	108,6	102,1	98,4	95,9
Nej	Stort	123,0	116,1	111,7	108,9
Ja	Middel	103,9	97,4	91,5	90,5
Ja	Stort	118,7	111,6	105,6	103,9

Overskudsvarme

Tabel 8. Overskudsvarme i kWh/m².

		Ekstra let	Middel let	Middel tung	Ekstra tung
Forceret ventilation	Solindfald	c = 40 Wh/K m ²	c = 80 Wh/K m ²	c = 120 Wh/K m ²	c = 160 Wh/K m ²
Nej	Middel	12,3	10,4	9,1	8,1
Nej	Stort	11,5	9,7	8,4	7,3
Ja	Middel	5,2	3,2	0,0	0,0
Ja	Stort	5,2	3,1	0,0	0,0

Resultaterne viser, at der i alle beregningstilfælde opnås en væsentlig reduktion af energibehovet ved at anvende bygninger med stor termisk masse. Reduktionerne varierer mellem 11 % og 13 % ved at anvende en ekstra tung bygningstype frem for en ekstra let bygningstype. Forskellen mellem de enkelte grupper er størst mellem en ekstra let bygningstype og en middel let bygningstype (6%). Forskellen mellem en middel let bygningstype og en middel tung bygningstype ligger mellem 3 og 6 %. Forskellen mellem en middel tung bygningstype og en ekstra tung bygningstype er mellem 1 og 3 %. Det opnås altså en reduktion af energibehovet ved at øge varmekapaciteten, selv hvis der i forvejen er en relativt stor varmekapacitet.

Overskudsvarmen, der skal fjernes, bliver reduceret ved en øget termisk masse af konstruktionerne. Overskudsvarmen er reduceret til 0 i to af en middel tung bygningstype og en ekstra tung bygningstype. Det ses, at en del af reduktionen i energibehovet ved øget varmekapacitet skyldes denne reduktion i overskudsvarmen. En reduceret overskudsvarme er et udtryk for færre problemer med overtemperaturer.

Forceret ventilation giver en væsentlig reduktion i energiforbruget. Årsagen er, at forceret ventilation reducerer overskudsvarmen.

Eksempel 2, enfamiliehus

1.18 Beregningsforudsætninger

I dette afsnit vises et eksempel på beregning af et enfamiliehus. Følgende hovedparametre er varieret:

Bygningens varmekapacitet.

Der anvendes de fire grupper, der er specificeret i SBI-anvisning 213. Bygningers energibehov /4/. Betegnelserne for de fire grupper er:

Ekstra let	$c = 40 \text{ Wh/K m}^2$
Middel let	$c = 80 \text{ Wh/K m}^2$
Middel tung	$c = 120 \text{ Wh/K m}^2$
Ekstra tung	$c = 160 \text{ Wh/K m}^2$

Varmetilførsel

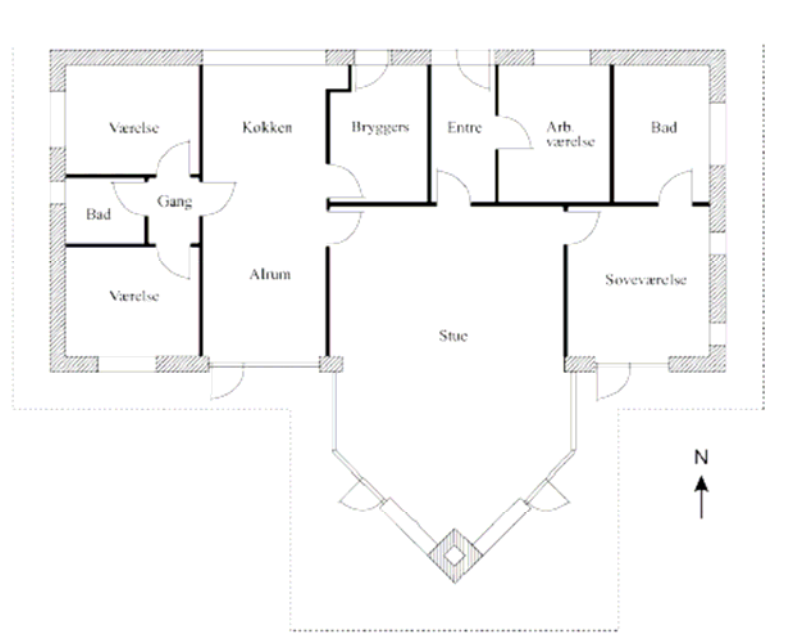
Solindfald (middel solindfald og stort solindfald). Ved middel solindfald er der anvendt solafskærmning. Der er anvendt danske klimadata.

Ventilationen varierer i to tilfælde. I det ene tilfælde anvendes konstant ventilation, og i det andet tilfælde anvendes forceret ventilation ved høje temperaturer.

1.19 Model beskrivelse

Generelt

Parcelhuset er et fritliggende parcelhus med en T-form. Etagearealet er på 180 m². Se figur 8.



Figur 8. Skitse af model af parcel hus.

Klimaskærm

Vinduesarealet udgør 29 % af etagearealet. Glasandelen udgør 67 % af vinduesarealet. Orientering og fordeling af vinduerne er: Nord 22 %, Syd 37 %, Øst 21 % og vest 20 %. Ruderne forudsættes at være energiruder med solvarmetransmittans på $g = 63\%$. Den gennemsnitlige U-værdi er $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

I modellen er der anvendt en horisontafskærmning på 15° og et udhæng på 40 og 70° . Der er også skygger på siden af nogle af vinduerne på grund af T-formen. Dette svarer til **stort solindfald** i tabellen. Ved middel solindfald er der anvendt solafskærmning.

Solafskærmningsfaktoren er her sat til 0,5. Dette svarer til **middel solindfald** i tabellen.

Facade- og gavlvægge har samme U-værdi på $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Gulv og tag er isoleret med U-værdier på henholdsvis $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ og $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Langs fundamenter anvendes linjetab på $0,15 \text{ W/mK}$.

Tabel 9. U-værdier og linjetab.

Konstruktion	Areal m^2	U-værdi $\text{W/m}^2\text{K}$
Loft: 300 mm isolering, $\lambda 0,037 \text{ W/m K}$	180	0,12
Terrændæk med gulvvarme (0,39 m fundament)	156	0,12
Ydervæg (162,6 m^2 brutto): 190 mm isol. $0,037 \text{ W/m K}$	118	0,25

Linjetab

	Længde l (m)	Linjetab (W/mK)	Temperatur- faktor b
Fundamenter og samlinger ved vinduer			
Ydervægsgfundamenter	63,3	0,12	1,3
Samling omkring vinduer og døre	91,4	0,03	1

Brugstid

Bygningen antages at være permanent i brug.

Ventilation

Hele bygningen forudsættes naturligt ventileret med $0,3 \text{ l/s m}^2$ om vinteren hele døgnet. Udelukkende udsugning uden varmegenvinding.

I de beregningstilfælde, hvor der anvendes forceret (naturlig) ventilation, forudsættes, at hvis temperaturen overstiger 23°C , anvendes en forceret ventilation med et luftskifte på $0,9 \text{ l/s m}^2$. Den forcerede ventilation forudsættes at kunne anvendes hele døgnet.

Interne varmetilskud

Der er antaget et gennemsnitligt varmetilskud fra intern belastning i brugstiden på $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ fordelt med varme fra personer på $1,5 \text{ W/m}^2$ og fra apparater på $3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Belysning

Der er ikke regnet med separat tilskud fra belysning.

Varmeanlæg

Der forudsættes fjernvarme, uden at der dog er specificeret et varmetab fra fjernvarmeveksleren. Der er defineret et varmtvandsforbrug på $250 \text{ l/m}^2\text{år}$, hvilket er en standard værdi.

1.20 Simuleringsresultater

Nedenfor er vist resultater fra beregningerne med Be06 i tabel 10. Energibehovet kan benyttes til sammenligning med energirammen i henhold til Bygningsreglementet. Energirammen for denne bygning er 90,5 kWh/m². Den del af overskudsvarmen, der direkte indgår i energibehovet, er vist i tabel 11.

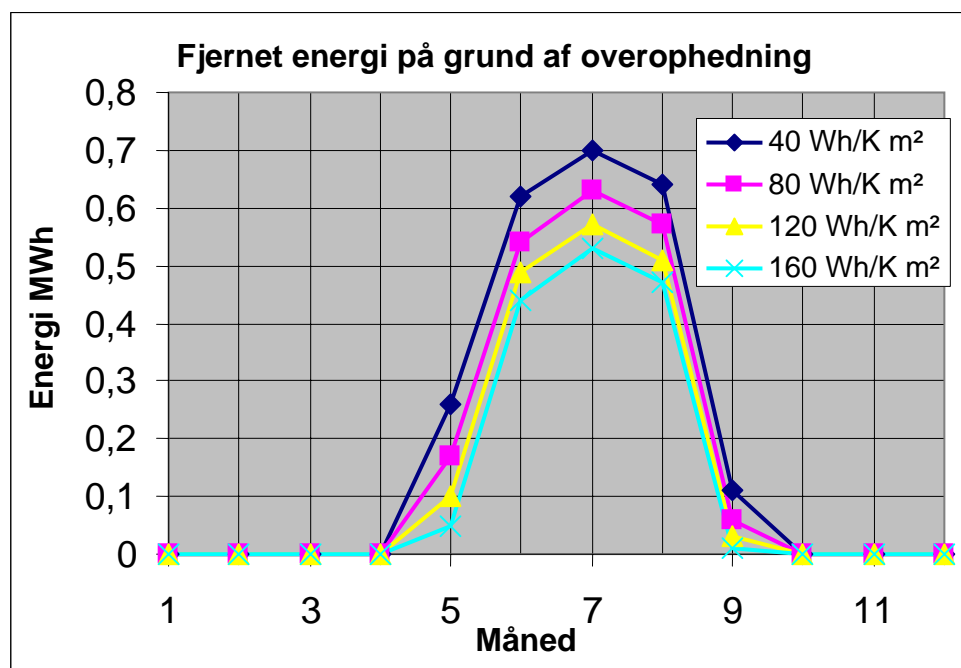
Tabel 10. Energibehov i kWh/m².

		Ekstra let	Middel let	Middel tung	Ekstra tung
Forceret ventilation	Solindfald	c = 40 Wh/K m ²	c = 80 Wh/K m ²	c = 120 Wh/K m ²	c = 160 Wh/K m ²
Nej	Middel	97,7	93,6	91,8	90,6
Nej	Stort	98,4	93,8	91,5	90,1
Ja	Middel	90,5	88,0	87,2	86,8
Ja	Stort	91,3	86,6	82,1	81,8

Tabel 11. Overskudsvarme i kWh/m².

		Ekstra let	Middel let	Middel tung	Ekstra tung
Forceret ventilation	Solindfald	c = 40 Wh/K m ²	c = 80 Wh/K m ²	c = 120 Wh/K m ²	c = 160 Wh/K m ²
Nej	Middel	7,2	5,7	4,6	3,8
Nej	Stort	12,9	10,9	9,4	8,3
Ja	Middel	0,0	0,0	0,0	0,0
Ja	Stort	5,8	3,7	0,0	0,0

Det er bestemt, hvorledes fordelingen af den fjernede fiktive overskudsvarme er fordelt på månedsbasis. Dette er vist på nedenstående figur 9.



Figur 9. Overskudsvarme, der er fjernet fordelt på de enkelte måneder i modellerne med middel solindfald og uden forceret ventilation.

Det ses, at der i modeller med stor varmekapacitet fjernes mindre overskudsvarme end i modeller med mindre varmekapacitet.

Resultaterne viser, at der i alle beregningstilfælde opnås en væsentlig reduktion af energibehovet ved at anvende bygninger med stor termisk masse. Reduktionerne varierer mellem 4 % og 10 % ved at anvende en ekstra tung bygningstype frem for en ekstra let bygningstype. Forskellen i energibehov mellem modellen med den mindste og den største varmekapacitet er således mindre i denne model end i modellen med kontorbygningen. Forskellen mellem de enkelte grupper er størst mellem en ekstra let bygningstype og en middel let bygningstype (3 – 5 %). Forskellen mellem en middel let bygningstype og en middel tung bygningstype ligger mellem 1 og 5 %. Forskellen mellem en middel tung bygningstype og en ekstra tung bygningstype er mellem ½ og 1 %. Det opnås altså en reduktion af energibehovet, selvom den er beskedent, ved at øge varmekapaciteten, selv hvis der i forvejen er en relativt stor varmekapacitet.

Overskudsvarmen, der skal fjernes, bliver reduceret ved en øget termisk masse af konstruktionerne. Der er overskudsvarme i tre af modellerne. I den ene af disse modeller er overskudsvarmen reduceret til 0 i den middel tunge og den ekstra tunge model. Det ses, at en del af reduktionen i energibehovet ved øget varmekapacitet skyldes en reduktion i overskudsvarmen. En reduceret overskudsvarme er et udtryk for færre problemer med overtemperaturer.

Forceret ventilation, giver en væsentlig reduktion i energiforbruget. Årsagen er, at forcerede ventilation reducerer overskudsvarme.

Eksempel 3, Round Robin beregninger

1.21 Forudsætninger

Der er foretaget en Round Robin beregningsøvelse iværksat af CEMBU-REAU. Formålet er at undersøge, hvorledes forskellige europæiske beregningsværktøjer tager hensyn til betonens egenskaber.

Der regnes på en let og en tung bygning. Den tunge bygningsmodel har indvendige overflader af beton med tykkelser mellem 150 og 200 mm. Den lette bygningsmodel har indvendige vægge og lofter af gipsplader (10 - 20 mm). Der er terrændæk med 150 mm beton i begge tilfælde.

Der er benyttet danske klimadata.

På grundlag af denne beskrivelse er der valgt en varmekapacitet af bygningen i den ekstra tunge model på 160 Wh/K m² og i den middel lette model på 80 Wh/K m².

Geometrien svarer til den tidligere beskrevne model af en kontorbygning i afsnit 7. Denne model beregnes både som en kontormodel og som en boligmodel i det følgende.

Der forudsættes en udsugningsventilation på 0,35 l/(s·m²). I kontorbygning er der desuden mulighed for forceret ventilation på 1,2 l/(s·m²) ved højere temperaturer end 25 °C.

I boligmodel antages der at være beboelse med et internt varmetilskud på 5 W/m² hele døgnet.

I kontormodel antages et varmetilskud på 30 W/m² i arbejdstiden, der udgør 45 pr. uge.

1.22 Resultater

Der er for de to bygningsmodeller beregnet et netto rumopvarmningsbehov ved hjælp af Be06. Nettoopvarmningsbehovet tager ikke hensyn til effektivitet af varmeanlæg og til varmt brugsvand. Resultaterne vil indgå i de rapporter, der vil blive udarbejdet af CEMBUREAU /2/.

Tabel 12. Netto rumopvarmningsbehov i kWh/m².

	Kontor	Bolig
Let model	43,6	48,0
Tung model	38,1	47,4

I disse modeller er der desuden beregnet overskudsvarme - et såkaldt fiktivt kølebehov. Kølebehovet beregnes, selvom der ikke er specificeret et køleanlæg, og så temperaturen ikke kommer over 26 °C. Kølebehovet ganges med fakto-

ren 2,5 da det forudsættes , at kølebehovet svarer til et elforbrug. Derved bestemmes den overskudsvarme, som tillægges det beregnede energibehov og indgår derved i bestemmelsen af, om energirammen er overholdt.

Tabel 13. Overskudsvarme i kWh/m².

	Kontor	Bolig
Let model	6,0	8,3
Tung model	3,3	6,2

Forskellen på den lette og den tunge model er større ved kontormodellen end ved modellen af boligen. Dette kan forklares med, at der tilføres en større mængde af intern varme i kontormodellen end i modellen med boliger. Overskudsvarmen er større i boligmodellen end i modellen med kontorer. Dette skyldes muligheden for forceret ventilation i kontormodellen.

Konklusion

Følgende hovedkonklusioner er fundet i dette projekt:

- En stor andel af betons varmekapacitet kan udnyttes til at lagre varme (afsnit 2.3).
- Den del af betonen, der er tættest på overfladerne, akkumulerer mere varme end den del af betonen, der er placeret i større dybde fra overfladen (afsnit 2.3).
- Benyttes retningslinierne til bestemmelse af bygningers energibehov, viser beregningseksempler, at der på grund af øget varmeakkumulering i bygninger med tunge betonkonstruktioner vil kunne opnås et energibehov, som er 4 til 13 % lavere, end hvis der anvendes meget lette konstruktioner (afsnit 5.3 og 6.3).
- Tilsvarende resultater opnås i forbindelse med de udførte beregningseksempler, der indgår i Round Robin undersøgelsen udført af den europæiske brancheorganisation CEMBUREAU. (afsnit 7.2)
- Der opnås færre problemer med overophedning ved at anvende tunge konstruktioner i stedet for lette konstruktioner (afsnit 5.3 og 6.3).
- Det er muligt at beregne varmekapaciteten for en bestemt betontype (afsnit 2.2).
- Varmekapaciteterne for de enkelte overflader kan sammensættes til at beregne de varmekapaciteter pr. opvarmet etageareal, der kan anvendes som inddata for beregning af energibehov for en aktuel bygning (afsnit 2.3).
- Der kan ikke forventes en større varmeakkumulering ved at udføre detaljerede beregninger af varmekapaciteten i stedet for de danske tabelværdier. Dette gælder både de lette og tunge bygninger (afsnit 3.3).
- Der kan være et behov for at tage de danske tabelværdier op til overvejelse for at vurdere, om de har et hensigtsmæssigt niveau (afsnit 3.3).
- Lige meget hvilken af metoderne der anvendes til at bestemme inddata, opnås en stor energimæssig og komfortmæssig fordel ved at anvende beton (afsnit 3.3).

Referencer

- /1/ Bygningers energimæssige ydeevne. EU-direktiv 2002/91/EC. 2002. Bruxelles.
- /2/ Öberg, M. & Sand Damtoft, J. "Concrete buildings in view of the EC Energy Performance of Buildings Directives", Artikel fremsendt til konferencen: "Concrete: Construction's Sustainable Option", september 2007, Dundee, Scotland.
- /3/ By og Byg Anvisning 213: Bygningers energibehov. Pc-program, version 1.6.6.21. Statens Byggeforskningsinstitut 2005-2006
- /4/ By og Byg Anvisning 213: Bygningers energibehov. Beregningsvejledning. (ver. 1.06.03). Søren Aggerholm, Karl Grau. Statens Byggeforskningsinstitut 2005
- /5/ Beregning af bygningers varmetab. DS 418, 6. udgave 2002-04-03, inkl. DS418/Till.1 2005-12-21, Dansk Standard
- /6/ Byggematerialer og produkter - Hygrotermiske egenskaber - Tabeller med designværdier. DS/EN 12524:2001
- /7/ Heat 2. version 6.0, T. Bloomberg og J. Claesson, www.buildingphysics.com
- /8/ Analyse af varmeakkumuleringsevne i boliger, E. Petersen, K. Engelund Thomsen, Dansk Teknologisk Institut, Danmarks Tekniske Højskole, LfV Meddelelse nr. 229. Februar 1992
- /9/ Byg Boligerne Bedre. Analyse af bygninger med gulvvarme og radiatorer. L. Olsen, C. Holm Christiansen, Teknologisk Institut, Byggeri; Teknologisk Institut, Industri og Energi. Februar 2004
- /10/ Termisk ydeevne for bygninger - Beregning af energiforbrug til rumopvarmning. DS/EN ISO 13790:2004
- /11/ BSim (Building Simulation), Bygningssimuleringsprogram, Statens Byggeforskningsinstitut, 2006
- /12/ Termisk ydeevne for bygningskomponenter - Dynamisk-termiske egenskaber - Beregningsmetoder. DS/EN ISO 13786:2000

Bilag 1 Danish case stories on the thermal performance of concrete

Carried out by:

Dorthe Mathiesen, Danish Technological Institute

Lars Olsen, Danish Technological Institute

February 2004

INTRODUCTION

The purpose of this note is to present an overview of best practise examples of utilising the heat accumulation capability of concrete in order to lower the energy consumption for heating and cooling in buildings in Denmark and to present an overview related R&D projects where Danish companies are involved.

The heat accumulation capability of concrete can be divided in three different types.

- Passive utilisation where heat gains through windows or from other sources is accumulated in the concrete structures as floors, walls and roofs.
- Active utilisation where heat or cold is actively supplied to building integrated storage's e.g. walls or floors. The heat is transported to the concrete structures by means of air or water in tubes or channels. The heat can e.g. come from solar collectors. The cold can e.g. come from cold external air during the night. The heat and cold are normally emitted passively from the storage to the rooms.
- Solar walls where solar radiation heats a concrete wall directly. A layer of glazing reduces heat losses from the concrete wall. The heat is in most cases emitted passively from the wall to the room.

Another type of projects deals with reduction of thermal loss through the joints of the constructions e.g. thermal bridges.

Most of the buildings presented as case stories in this note are constructed as a part of a project funded by different authorities and companies. It has therefore been difficult to distinguish between case stories and R&D programmes. The examples presented in this note are therefore gathered in the chapter "Case stories" covering both actual buildings and R&D projects.

It has been chosen to limit the case stories presented to be not older than 5 years. It shall be mentioned that a lot of work has been done earlier, which might be of interest if the overview shall be further elaborated.

The note is prepared by searching in the literature, by contacting engineering companies, Danish universities and institutes and by searching information available on the Internet.

In the last chapter of this note other references which appeared during the work is presented. These references cannot be presented as Danish case stories of the thermal performance of concrete but the references are found relevant for this project.

Case stories

Thermal active construction for hybrid heating and cooling of office buildings

Project no: ENS-1213/01-0020 (Danish Energy Authority)
 Partners: COWI, Danish Technological Institute, Spæncom a/s and BYG•DTU
 Completed: December 2001.

Abstract

A thermo active construction is a construction which is an ordinary building component like a concrete slab constructed with pipes for liquid and which at the same time can function as both a heating and a cooling surface.

The storage capacity of a thermo active construction is well suited for utilisation of renewable energy, e.g. from solar facades. The operation temperature will typically be around 17-27 °C. The utilisation of thermo active constructions removes visible radiators and cooling plants. The heating is affected by low temperature operation, and cooling is effected in earth tubes, by night cooling, ground water or pipes embedded in piles.

The potential of the energy savings from use of thermo active constructions instead of traditional cooling is 10-15 kWh/m². Furthermore, it will be easier to design the offices. This project dealt with evaluating the possibilities of system solutions with thermo active constructions acting both as heating and cooling system under Danish conditions and with integration of renewable energy.

Thermo active constructions are often used in e.g. Germany and the concept is based on in-situ cast concrete constructions. There is a need for developing solutions for the pre-fab industry, which Danish building traditions is based on.

References

1. "Termoaktive konstruktioner. Fase 1 – forprojekt. Slutrapport"; COWI A/S, Teknologisk Institut, - Energi, BYG.DTU; Maj 2002. (In Danish)
2. "Det skjulte indeklima – Termoaktive konstruktioner"; Hansen, J. O.; Jacobsen, T. D. og Weitzmann, P.; VVS 13 – 2002., www.techmedia.dk (In Danish)
3. <http://www.energistyrelsen.dk/sw1592.asp> (The website of Danish Energy Authority)
4. www.buildvision.dk/termoaktivekonstruktioner.asp (A micro site from Danish Technological Institute)
5. www.dsbo.dk (De store bygningers økologi) (In Danish)

Heat accumulation in concrete prefab elements

Project no.: ENS j. Nr. 51181/98-0063 (Danish Energy Authority)
Partners: DTU, Institute for Building and Energy, Danish Technological Institute and COWI A/S
Completed: June 2000

Abstract

The aim of this project was to investigate and optimise heat storage in building components. Especially heat storage in concrete walls with embedded pipes was studied in order to study the thermal behaviour. This was done with numerical models and the results of these studies were compared with existing results from laboratory measurements and field measurements.

The influence of the storage on the heat demand of buildings was studied. A numerical model of a building with a solar air system was implemented in a numerical simulation program (TRNSYS). Simulations of different designs of the heat storage were used for optimisation of the design of heat storage in concrete constructions.

Finally guidelines for design of heat storage in concrete elements were prepared. These guidelines were intended to be used by architects and engineers in practical design situations and in that way ease the design of solar air systems.

References

1. "Varmelagring i betonelementer". Del 1 - Generelle retningslinier for dimensionering; Hummelshøj, R.; Rahbek, J.E. (2000) (In Danish)
2. "Varmelagring i betonelementer". Del 2 - Modellering med TRNSYS.; Dalsgaard Jacobsen, T.; Østergaard Jensen, S. (2000). (In Danish)
3. "Varmelagring i betonelementer". Del 3 - Modellering med FEMLAB og MATLAB; Rammer Nielsen, T.; Holck, O.; Svendsen, S. (2000). (In Danish)

Concrete elements with better insulation and less thermal bridge effect

Project no.: ENS-1213/99-0008 (Danish Energy Authority)
Partners: BYG•DTU, By og Byg (Statens Byggeforskningsinstitut); Betonelement-Foreningen; Spæncom a/s; Jægersprisvinduet a/s; Arkitektfirmaet Rørbæk og Møller a/s
Completed: September 2000

Abstract

In this project new concrete sandwich panel solutions with better thermal properties have been developed, usable for highly-insulated buildings, responding to the needs that occur when the demands to the permissible energy consumption for heating is further increased. The improved thermal properties have been obtained without increasing the costs more than of the extra insulation. Removing concrete ribs at window reveals and horizontal joints enables a thermal improvement as well as reduced costs due to simpler manufacturing of the panel.

A natural grouping of concrete sandwich panels into two categories formed the basis of the work. The first category is panels covering concrete reveals as typically used in residential housing and office buildings. The other is about panels with load bearing ribs serving as columns typically used in industrial and commercial buildings. Of course there are panels that are a combination of the two categories, but this fact has not been crucial for the analyses in this project.

References

1. "Betonelementer med bedre isolering og mindre kuldebroer"; DTU-IBER-038. vp; Tommerup, H.M. (2000). (In Danish)

Development, optimisation and planning of new building envelope structures made of concrete elements, which demonstrate appliance with heat insulation requirements in Building Regulations 2005

Project no.: ENS-1213/01-0005 (Danish Energy Authority)

Partners: BYG•DTU, By og Byg (Statens Byggeforskningsinstitut); Betonelement-Foreningen; Spæncom A/S; Betonelement A/S; Primo A/S; H. S. Hansen A/S

Completed: 2003

Abstract

The main goal of the project was to strengthen the continued development and usage of the new types of concrete elements that were proposed in the project 'Concrete elements with better insulation and less thermal bridge effect', se case story 3.3.

The project deals with the following three element types, which constitute a great part of the market for concrete elements.

1. One storey high concrete sandwich panels (office, institutional and residential buildings).
2. One storey high concrete elements with rain screens consisting of non-concrete material (brick, wood, glass, metal).
3. Industrial elements in the shape of high sandwich panels with load-bearing ribs.

The joints between elements and their connection to windows need to be further developed before good solutions can be determined. Developing and constructing integrated standard solutions of which the functions will be documented in laboratory tests are carried out in this project.

Furthermore, investigations on optimisation of the insulation thickness corresponding to different economic scenarios have been carried out.

Finally detailed price calculations have been performed on façade sections to illustrate the economic advantages compared to traditional solutions.

References

No publications yet.

Integration of solar heat storage in the ground floor

Project no.: ENS-51181/99-0039 (Danish Energy Authority)
Partners: BYG•DTU and Danish Technological Institute
Completed: 2000

Abstract

In this project a calculation model for evaluation of integrated solar heat storage in ground floors is developed.

In the report documenting this project, investigations of the possible reduction in heating demand for space heating in two houses fulfilling the present and the coming building code has been carried out.

It has been found that the potential for reduction of the energy consumption for space heating is between 60 and 130 kWh/m² of solar collector depending on among others the heating demand of the house and the construction of the ground floor.

It has also been shown in this project that floor heating can be eliminated as comfort heating during summer time.

Finally it is found that, at the same level of construction costs, the heat storage system will reduce the energy consumption needed for space heating more than if the insulation layer is increased.

References

1. "Bygningsintegreret varmelagring af solvarme i terrændæk"; Weitzmann, P. Holck, O.; Svendsen, S.; 2001. (In Danish)

12 City Ecological Demonstration Buildings – Experiences and Recommendations

Project funded by: The Danish Ministry of Housing and Urban Affairs

Abstract

A report has been prepared containing an evaluation of twelve city ecological demonstration buildings constructed during 1995-2000. The demonstration buildings have shown that it is possible to construct with significant environmental benefits.

The project involved many different methods for lowering the environmental impact from buildings. Of relevance for this project one of the initiatives was to use the heat accumulating ability of heavy building elements in combination with facades of glass and large window areas, see case story 3.7 below.

References

1. "12 Byøkologiske forsøgsbyggerier - Erfaringer og anbefalinger"; Hans Bjerregård Rådgivning ApS, December 2001 (In Danish); <http://www.ebst.dk/publikationer/rapporter/forsogbyg/12byokolo/html/index.htm>
2. "Miljørigtigt byggeri og miljørigtige byer – arkitektonisk kvalitet er også miljøkvalitet"; Øehlenschlager, R, Dansk Center for Byøkologi www.dcue.dk ; Real Dania 2003. (In Danish)

Ecological new built housing with utilisation of solar energy.

Project no.: ENS j. Nr. 1213/97-002 (Danish Energy Authority)
 Partners: COWI, Institut for Bygninger og Energi, DTU, Nielsen, Nielsen og Nielsen arkitekter m.a.a.
 Completed: June 2000

Abstract

A demonstration building in Kolding "Økohus 99" was constructed. 59 constructions of public utility housing in two storeys were built. In the southern façade a solar wall were integrated in order to heat the air, which was ventilated through pipes in the concrete party walls. The concrete is warmed up during the day and the accumulated heat is emitted during the night.

The saving in heat loss is evaluated to approximately 1000 kWh/year.

References

1. "Økologisk nybyggeri med solenergiudnyttelse - energioptimering & måleprogram"; COWI, Institut for Bygninger og Energi, DTU, Nielsen, Nielsen og Nielsen arkitekter m.a.a; Juni 2000. (In Danish)

The Ecology of the Large Buildings

Project: De Store Bygningers Økologi (In Danish)
 Funded by: Ørestadsselskabet, Københavns Kommune and Byøkologisk Fond.
 Partners: Dansk Center for Byøkologi
 Lading arkitekter + konsulenter PAR
 Københavns Kommune
 Ørestadsselskabet

Abstract

As a part of the work with this project the domicile of Pihl & Søn A/S is described as an example of an ecological building.

The domicile is constructed with intelligent systems for controlling of heat, light, ventilation etc., but the building actually perform very well without the intelligent systems because the building is constructed with an interaction between the windows area, the heat accumulation ability in the heavy building components, the ventilation demand and the daily use of the building. A reduction of 30% of the energy needed for heating, ventilation and cooling is evaluated.

There are no false ceilings and the storey partition in concrete is therefore able to storage both the heat from the sun and the cold from open windows – an effect which is enhanced by the fact that the walls and the floors also are constructed in heavy components like concrete and rocks. The combination of natural ventilation with the right size of openings and heavy building components is in particular effective to ensure a comfortable climate on hot summer days – and this can be difficult in a building with large areas of glass facades which is the case in this domicile.

References

1. De Store Bygningers Økologi; Dansk Center for Byøkologi; www.dcue.dk (In Danish)

Competitive low energy office building

Project no.: ENS-1213/98-0010 (Danish Energy Authority)
Partners: Danish Technological Institute, Energy, Jensen (C.G.) A/S;
Skanska Öresund
Completed: 1999

Abstract

The objective of this project was to develop a new concept for an energy efficient office building, a concept where the overall energy consumption is reduced by 50% without increasing the cost of the building. This objective was achieved by implementing an integrated design process, where the overall building design process is analysed.

Areas were identified where lower energy consumption can be achieved using new design concepts, new systems, new components or new materials. The energy design strategies considered were among others: use of natural daylight, use of high performance windows, passive night cooling and natural ventilation.

The concept for an energy efficient building was demonstrated in an approximately 8,000 m² office building.

References

1. "Det halve energiforbrug til den samme pris" Teknologisk Institut (2000) (In Danish)

Status on thermal energy storage in small buildings

Project no.: ENS 51181/98-0038 (Danish Energy Authority)
Partners: Technical University of Denmark, Institute for Buildings and Energy. Aidt Miljø. Danish Technological Institute.

Abstract

This project gives a survey of results of techniques and experiences with storage of solar heat in smaller buildings. A part of this concerns experience with solar walls of concrete and storage in building constructions of concrete.

References

1. "Status for aktiv varmelagring i mindre bygninger"; BYG•DTU-01-23. 31. p. Duer, K., Dalsgaard, T. Ellehauge, K. Ladekarl, P (2001). (In Danish)

International project competition – Architecture and sustainability in Danish housing construction

Abstract

This example is mentioned in this note in order to illustrate that sustainable building is seen more and more and in many of the cases investigated. The thermal indoor climate with a low energy demand for heating and cooling is of great importance. Many of the cases involve heat accumulation in heavy building components as a tool to obtain a good thermal indoor climate.

In April the building society “Ringgården” arranged an architectural competition with the purpose to gather proposal for 130 constructions of public utility and sustainable housing.

The project is a part of a co-operation under the 5th FP between Italian, French and Portuguese building societies called the SHE “Sustainable Housing in Europe”. The purpose of this co-operation is to construct a number of sustainable demonstration buildings in the four countries.

One of the goals in the competition was a maximum heat requirement of 30 kWh/m²/year, which is half the requirement in the present Danish Building code.

References

1. “Arkitektur og bæredygtighed I Dansk boligbyggeri” – Dommerkomiteens betænkning; Boligforeningen Ringgården; September 2003 (In Danish)

Other references

Fabric Energy Storage (FES)

The Reinforced Concrete Council has launched the Fabric Energy Storage (FES).

FES is the ability of concrete and other heavyweight materials to absorb and store heat. The thermal mass of concrete can reduce the temperature peak by 3° – 4°, and delay its onset by up to six hours.

FES reduces carbon dioxide emissions by up to 50% compared with air conditioning.

As other advantages of the use of FES cost savings due to the fact that suspended ceiling systems are unnecessary and thereby reduction in building height, savings in health problems associated with the sick building syndrome (SBS) are mentioned. The SBS cost UK business around £600 million every year in lost time.

The potential is significant as about 90 % of the total energy use in buildings is from heating, cooling and lightning.

Reference

1. www.rcc-info.org.uk (The website of Reinforced Concrete Council)
2. www.concretecentre.com (The website of the Concrete Centre (UK))

Lecaterm® - blokke

Leca is launching their Lecaterm® – blocks as a product, which minimise thermal bridges and used as walls, they should act as an effective heat accumulator and contribute to a comfortable indoor climate.

Reference

1. www.leca.dk/Vaegge/Blokvaegge/lecaterm.html (The website of LECA)

Thermal benefits of solid construction

A research project carried out by the Cement and Concrete Association of Australia (C&CAA) and Concrete Masonry of Australia (SMAA) assesses the energy efficiency of various combinations of wall and floor construction to determine the contributions that thermal mass and insulation can make.

Reference

1. Concrete Data; November 2002; Cement and Concrete Association of Australia.

Characterisation of thermal delay of light concrete blocks made on expanded clay

A Fifth Framework Programme completed in 2001.

Bilag 2Be06, Bygningers energibehov

Dato 09.05.2006 kl. 09.51

2-etagers kontorhus, ekstra tung, forceret vent., middel solindfald	
Bygningen	
Bygningstype	Andet
Rotation	0,0 deg
Opvarmet bruttoareal	400,0 m ²
Varmekapacitet	160,0 Wh/K m ²
Normal brugstid	45 timer/uge
Brugstid, start - slut, kl.	8 - 17
Beregningsbetingelser	
Betingelser	Mærkning
Varmeforsyning og køling	
Grundvarmeforsyning	Fjernvarme
Elradiatorer	Nej
Brændeovne, gasstrålevarmere etc.	Nej
Solvarme	Nej
Varmepumpe	Nej
Solceller	Nej
Mekanisk køling	Nej
Rumtemperaturer, setpunkter	
Opvarmning	20,0 °C
Ønsket	23,0 °C
Naturlig ventilation	24,0 °C
Køling	25,0 °C

Dimensionerende temperaturer,	
Rumtemp.	20,0 °C
Udetemp.	-12,0 °C

Ydervægge, tage og gulve					
Flade	Areal (m ²)	U (W/m ² K)	b	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)
Facade V	76,0	0,20	1,000		
Facade S	44,0	0,20	1,000		
Facade N	76,0	0,20	1,000		
Facade Ø	44,0	0,20	1,000		
Tag	200,0	0,16	1,000		
Gulv	200,0	0,17	0,700		10

Fundamenter m.v.					
Linjetab	l (m)	Tab (W/mK)	b	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)
Randfundament	60,0	0,15	1,000		

Vinduer og yderdøre						
Bygningsdel	Antal	Orient	Hældn.	Areal (m ²)	U (W/m ² K)	b
Vinduer V	1	V	90,0	24,0	1,40	1,000
Vinduer Ø	1	Ø	90,0	24,0	1,40	1,000
Vinduer N	1	N	90,0	6,0	1,40	1,000
Vinduer S	1	S	90,0	6,0	1,40	1,000

Vinduer og yderdøre						
Bygningsdel	Ff (-)	g (-)	Skygger	Fc (-)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)
Vinduer V	0,70	0,63	Vindue	1,00		
Vinduer Ø	0,70	0,63	Vindue	1,00		
Vinduer N	0,70	0,63	Vindue	1,00		
Vinduer S	0,70	0,63	Vindue	1,00		

Skygger					
Profil	Horisont (°)	Udhæng (°)	Venstre (°)	Højre (°)	Vindueshul (%)
Default	5	0	0	0	0
Vindue	10	0	0	0	10

Ventilation						
Ventilationszone	Areal (m ²)	qm (l/s m ²), vinter	n vgv (-)	ti (°C)	El-VF	qn (l/s m ²), vinter
Hele bygningen	400,0	0,35	0,00	0,0	Nej	0,00

Ventilation						
Ventilationszone	qi,n (l/s m ²), vinter	SEL (kJ/m ³)	qm,s (l/s m ²), sommer	qn,s (l/s m ²), sommer	qm,n (l/s m ²), nat	qn,n (l/s m ²), nat
Hele bygningen	0,35	2,2	1,20	1,20	0,35	0,00

Internt varmetilskud				
Benyttelseszone	Areal (m ²)	Personer (W/m ²)	App. (W/m ²)	App,nat (W/m ²)
Hele bygningen	400	4,0	6,0	0,0

Belysning							
Belysningszone	Areal (m ²)	Almen (W/m ²)	Almen (W/m ²)	Belys. (lux)	DF (%)	Styring (U, M, A, K)	Fo (-)
	400,0	1,0	7,0	200		A	1,00

Belysning				
Belysningszone	Arb. (W/m ²)	Andet (W/m ²)	Stand-by (W/m ²)	Nat (W/m ²)
	1,0	0,0	0,0	0,0

Andet elforbrug	
Udebelysning, el-effekt	0,0 W
Særligt apparatur, brugstid	0,0 W
Særligt apparatur, altid i brug	0,0 W

Mekanisk køling	
Beskrivelse	Mekanisk køling
Kølevirkningsgrad	2,80
Forøgelsesfaktor	1,50
Dokumentation	

Varmefordelingsanlæg					
Opbygning og temperaturer					
Fremløbstemperatur	50,0 °C				
Returløbstemperatur	45,0 °C				
Anlægstype	2-streng		Anlægstype		
Pumper					
Pumpetype	Pnom	Fp	Beskrivelse		
Konstand drift året rundt	0,0 W	0,00			
Konstant drift i opvarmningssæson	0,0 W	0,00			
Tidsstyret drift i opvarmningssæson	75,0 W	0,60	Behovsstyret pumpe		
Kombi-pumpe (konst. i opvarmningssæson)	0,0 W	0,00			
Varmerør					
Rørstrækninger i fremløb og returløb	l (m)	Tab (W/mK)	b	Udekomp (J/N)	Afb. sommer (J/N)

Varmt brugsvand			
Beskrivelse	Varmt brugsvand		
Varmtvandsforbrug, gennemsnit for bygningen	100,0 liter/år pr. m ² -etageareal		
Varmt brugsvand temperatur	55,0 °C		
Individuelle elvandvarmere	Nej		
Individuelle gasvandvarmere	Nej		
Varmvandsbeholder			
Beholdervolumen	150,0 liter		
Fremløbstemperatur fra centralvarme	70,0 °C		
El-opvarmning af VBV	Nej		
Solvarmebeholder med solvarmespiral i top	Nej		
Varmetab fra varmtvandsbeholder	1,0 W/K		
Temperaturfaktor for opstillingsrum	0,0		
Varmetab fra tilslutningsrør til VVB			
Længde	Tab	b	Beskrivelse
2,0 m	0,2 W/K	0,00	Varmerør 1"
Ladepumpe			
Effekt	50,0 W		
Styret	Ja		
Ladeeffekt	10,0 kW		
Cirkulationspumpe til varmt brugsvand			
Effekt	0,0 W		
El-tracing af brugsvandsrør	Nej		

Rør til varmt brugsvand			
Rørstrækninger i fremløb og returløb	l (m)	Tab (W/mK)	b
Teknikrum - Køkken - Teknikrum	40,0	0,17	0,000

Vandvarmere	
Elvandvarmer	
Beskrivelse	Elvandvarmer i kantine (110 l)
Andel af VBV i separate el-vandvarmere	0,9
Varmetab fra varmtvandsbeholder	1,5 W/K
Temperaturfaktor for opstillingsrum	0,00
Gasvandvarmer	
Beskrivelse	Gasvandvarmer
Andel af VBV i separate el-vandvarmere	0,0
Varmetab fra varmtvandsbeholder	0,0 W/K
Virkningsgrad	0,0
Pilotflamme	0,0 W
Temperaturfaktor for opstillingsrum	0,00

Kedel				
Beskrivelse	God kondenserende gaskedel			
Brændsel	Gas			
Nominel effekt	28,0 kW			
Andel af nominel effekt til VBV produktion	1,0			
Nominelle virkningsgrader				
Last	Belastning	Virkningsgrad	Kedel temp.	Korrektion
Fuldlast	1,0	0,96	70,0 °C	0,001 -/°C
Dellast	0,3	1,04	35,0 °C	0,001 -/°C
Tomgangstab				
Last	Belastning	Tabsfaktor	Andel til rum	Temp. dif

Tomgangstab				
Tomgang	0,0	0,005	0,75	30,0 °C

Driftsforhold	
Kedeltemp, min	0,0 °C
Tempfaktor for opstillingsrum	0,00
Blæsereffekt	150,0 W
El til automatik	7,0 W

Fjernvarmeveksler	
Beskrivelse	Ny fjernvarmeveksler
Nominel effekt	0,0 kW
Varmetab fra veksler	0,0 W/K
VBV opvarmning gennem veksler	Nej
Vekslertemperatur, min	0,0 °C
Tempfaktor for opstillingsrum	0,00
Automatik, stand-by	0,0 W

Anden rumopvarmning	
Direkte el til rumopvarmning	
Beskrivelse	Supplerende direkte rumopvarmning
Andel af etageareal	0,0
Brændeovne, gasstrålevarmere og lign.	
Beskrivelse	
Andel af etageareal	0,0
Virkningsgrad	0,0
Luftstrømsbehov	0,0 m ³ /s

Solvarmeanlæg			
Beskrivelse		Solvarmeanlæg 40 m ²	
Type		Kombineret	
Solfanger			
Areal 40,0 m ²	Orientering S	Hældning 30,0 °	Varmetabskoefficient 3,5 W/m ² K
Skygger	Horisont 10,0 °	Venstre 0,0 °	Højre 0,0 °
Rør til solfanger			
Længde 40,0 m		Varmetab 0,17 W/mK	
Effektiviteter			
Start 0,8		Veksler 0,9	
El			
Pumpe i solfangerkreds 150,0 W		Automatik, stand-by 5,0 W	

Varmepumpe		
Beskrivelse		Varmepumpeanlæg 24 kW jordvarmeanlæg (kombineret)
Type		Kombineret
Andel af etageareal		1,0
Eldrevet varmepumpe		
Art	Rumopvarmning	VBV
Nominel effekt	24,0 kW	10,0 kW
Nominel COP	1,0 kW	1,0 kW
Rel. COP ved 50% last	0,9 kW	0,0 kW
Test-temperaturer		
Art	Rumopvarmning	VBV
Kold side	0,0 °C	0,0 °C
Varm side	55,0 °C	-

Type		
Type	Rumopvarmning	VBV
Kold side	Jordslange	Jordslange

Type		
Varm side	Varme anlæg	-
Diverse		
Type	Rumopvarmning	VBV
Særligt hjælpestyr	0,0 W	0,0 W
Automatik, stand-by	50,0 W	0,0 W
Varmepumper tilknyttet ventilation		
Type	Rumopvarmning	VBV
Temp. virkningsgrad for VGV før VP	0,00	0,00
Dim. indblæsningstemp.	0,0 °C	-
Luftstrømsbehov	0,00 m ³ /s	0,00 m ³ /s

Solceller		
Beskrivelse	Solcelleanlæg 40 m ²	
Solceller		
Areal 40,0 m ²	Orientering S	Hældning 30,0 °
Horisont 10,0 °	Venstre 0,0 °	Højre 0,0 °
Diverse		
Peak power 0,100 kW/m ²	Virkningsgrad 0,75	