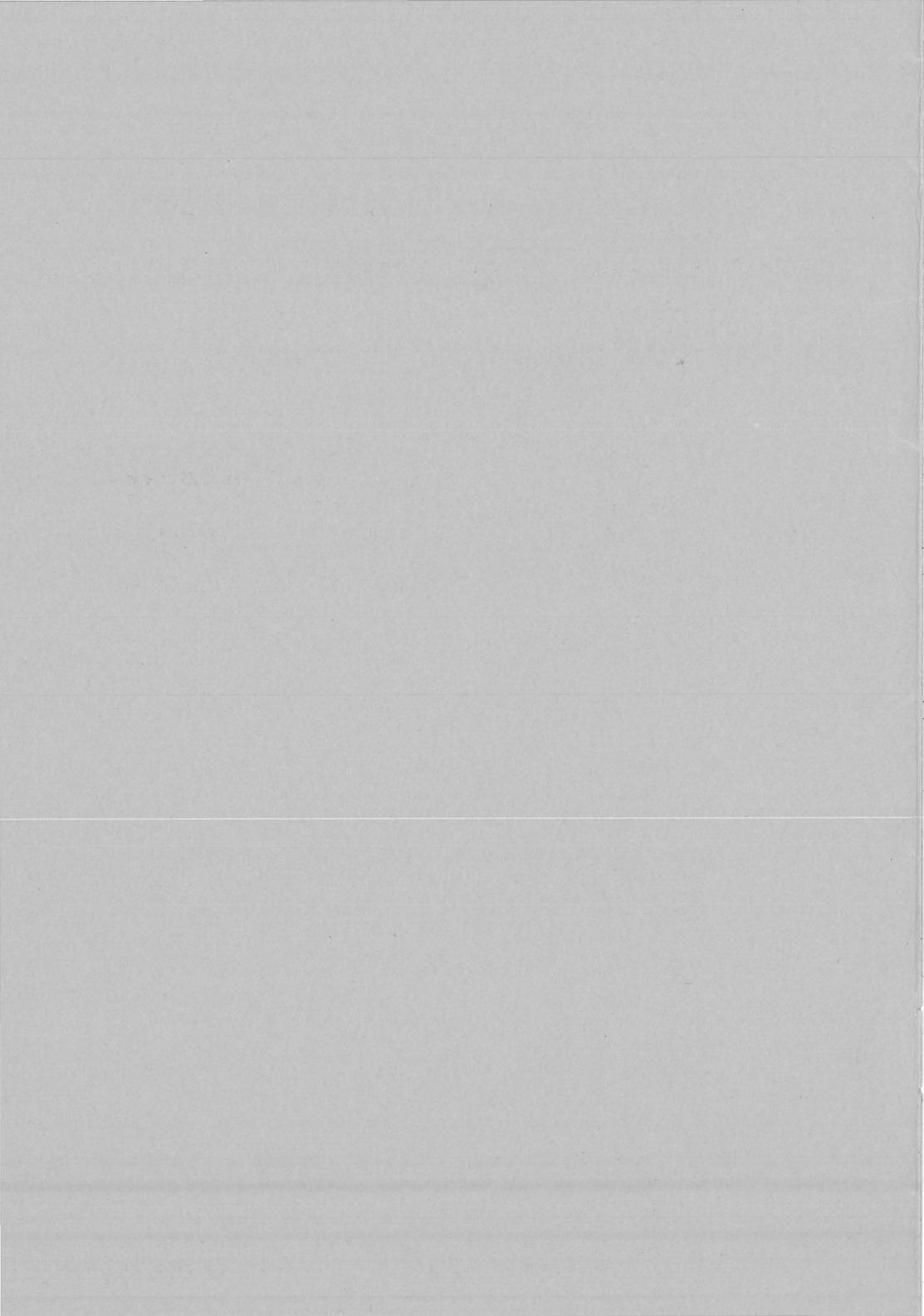


8054

Energibehov och inneklimat i byggnader med olika värmekapacitet

**David Södergren
Engelbrekt Isfält
Hans A Vinberg**

Byggnadsforskningsskrådet



ENERGIBEHOV OCH INNEKLIMAT
I BYGGNADER MED OLIKA VÄRMEKAPACITET

David Södergren
Engelbrekt Isfält
Hans A Vinberg

REFERAT

Utredningen visar inverkan av olika faktorer på årsenergibehov och termiskt inneklimat i en byggnad, som utformats för att motsvara en typisk hallbyggnad för lätt industri eller lager.

Resultaten visas med siffervärden och med diagram.

De "etablerade" faktorerna, d.v.s. de som man enligt normer skall beakta, visar sig som väntat ha stor betydelse. De är värmeisolering, fönsterarea, fönstertyp, solavskärmning, ventilation, täthet och intern värmealstring.

Inverkan av värmekapacitet är relativt liten i samtliga studerade fall.

Andra faktorer, som enligt andra studier har betydelse, är brukarnas vanor ifråga om fönsterventilation, dörr- och portöppningar och belysning, samt vidare lokalt klimat ifråga om vind och temperatur. Dessa har emellertid inte studerats här.

Det är viktigt att här påpeka, att resultaten gäller normala, enkla byggnader, utan speciella system för energibesparing eller temperaturstyrning. Speciella system, där tunga byggnadsdelar utnyttjas för speciell värme- eller kyllagring, kan ge andra resultat. På samma sätt kan välisolerade byggnader med specialanpassad temperaturreglering ge helt andra resultat.

Kunskap om materialens och konstruktionernas inverkan är grunden till att kunna utforma bra byggnader och bra byggsystem. Vi hoppas att denna utredning kan bidra till sådan kunskap.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R8:1992

ISBN 91-540-5414-1
Byggeforskningsrådet, Stockholm

INNEHÅLL

sid

2	REFERAT	
4	INLEDNING	
5	FÖRUTSÄTTNINGAR	
7	JÄMFÖRDA ALTERNATIV	
8	KOMMENTARER	
12	RESULTAT AV STUDIERNA	
	Inverkan av olika faktorer	
12	A Värmekapacitet och värmeisolering	
16	B Värmekapacitet vid olika mängd gratisvärme	
17	C Värmekapacitet vid olika temperaturintervall	
18	D Fönsterstorlek och fönstertyp	
19	E Studie av sommarförhållanden	
	Värmekapacitet, ventilation och solavskärmning	
22	F Takfärg	
23	SUMMARY	
24	BILAGA	
	Temperaturens betydelse för vår arbetsprestation	

INLEDNING

I en tidigare BFR-rapport (Värmekapacitet i byggnadsstommar, Stommens tillgänglighet för energilagring, R76 : 1985) studerades värmekapacitetens betydelse för energibehov och inneklimat. Den byggnad, som då hade valts som underlag för analysen, var den enklast tänkbara. Det var en oinredd enplansbyggnad med ytan 100 m² och med mycket enkla konstruktioner.

Så länge den interna värmeavgivningen var under 25 W/m² erhöles inga energibesparingar av betydelse med den tunga byggnaden.

Det projekt, som här redovisas, har utformats för att möjliggöra studier av så "normala" byggnader som möjligt. Typbyggnaden kan karaktäriseras som en lager- eller industribyggnad med golvytan 50 * 20 m och med takhöjden 5 m. Fönstren är utformade som fönsterband på samtliga ytterväggar. Även denna byggnad är oinredd.

Värmekapacitetens och ett flertal andra faktorerers inverkan har studerats, liksom värmekapacitetens inverkan, då de olika faktorerna haft olika värden. För att göra detta, har byggnadens konstruktion varierats, så att totalt 23 olika varianter körts på dator.

Beräkningarna är genomförda med dataprogrammet BRIS och normalåret för stockholmstrakten har fått gälla som uteklimat. Programmet tar hänsyn till temperatur, vind och molnighet och deras förändringar timme för timme under året.

Redovisningen omfattar såväl det årliga energibehovet för uppvärmning och ventilation som det termiska klimatet under de kallaste och varmaste perioderna under året.

Flera av de studerade faktorerna ger så små utslag, att det måste betraktas som omöjligt att verifiera resultaten genom praktiska mätningar. I praktiken påverkas energibehov och inneklimat av flera faktorer samtidigt och många av dem kan inte hållas konstanta under någon längre tid. Det är därför endast datorberäkningar av detta slag, som kan visa vilken inverkan de olika faktorerna har.

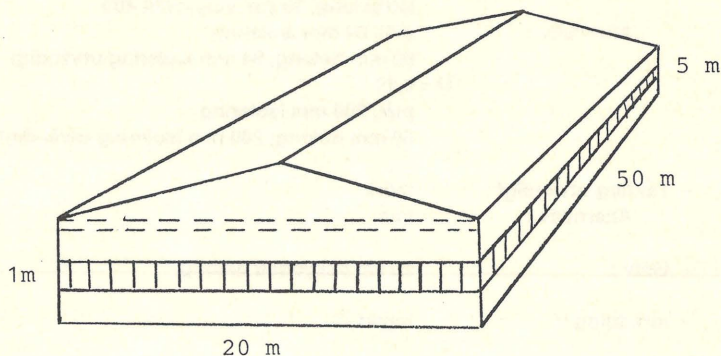
Det har inte varit möjligt att här studera alla faktorer, som påverkar resultatet. Så har t.ex. inte brukarnas vanor studerats, trots att andra studier visat, att de har mycket stor betydelse.

De flesta av dessa studier gjordes 1985 - 86, d.v.s. innan den nya normen, "Nybyggnadsregler" - NR 1:88 - utkom, men trots detta uppfyller byggnaderna kraven i denna.

Initiativet till dessa studier togs av Industrigruppen för Lätt Byggeri. En stor del av arbetet har även bekostats av Industrigruppen.

FÖRUTSÄTTNINGAR

Byggnaden, som beräkningarna är genomförda på, är utformad för att motsvara en typisk hallbyggnad för lättare industri eller lager enligt nedan.



Som grund för beräkningarna har nedanstående värden antagits. Värdena har varierats, för att inverkan av olika faktorer skall kunna studeras. Detta visas på sid 7.

- Golvyta: 20 * 50 m

- Takhöjd: 5 m

- Långsidorna är orienterade mot norr och söder

- Väggar :

- U-värde 0,43 W / (m²*K)

Alternativ : 0,19 "

0,22 "

- utformning

U = 0,43

lättbetong, 30 cm, volymvikt 400

plåt, 84 mm isolering

60 mm betong, 84 mm isolering invändigt

60 mm betong, 84 mm isolering utvändigt

U = 0,19

plåt, 200 mm isolering

60 mm betong, 200 mm isolering invändigt

60 mm betong, 200 mm isolering utvändigt

U = 0,22

plåt, 175 mm isolering

60 mm betong, 175 mm isolering utvändigt

- Tak :
- U-värde 0,43 W / (m²*K)
- Alternativ : 0,19 "
- utformning
- U = 0,43
- lättbetong, 30 cm, volymvikt 400
- plåt, 84 mm isolering
- 60 mm betong, 84 mm isolering utvändigt
- U = 0,19
- plåt, 200 mm isolering
- 60 mm betong, 200 mm isolering utvändigt

- Takfärg utvändigt : mörk
- Alternativ : ljus

- Golv : 20 cm oskyddad betong

- Inredning : ingen

- Fönster : 20 % av väggarnas yta
- Alternativ : 10 %

- Solavskärmningar : inga
- Alternativ : markiser

- Glas : vanligt fönsterglas, tvåglas (U = 3,0)
- Alternativ : treglas (U = 2,0)
- lågemitlerande glas (U = 3,0)
- solskyddsglas (U = 1,5)

- Ventilation :
- mekanisk 0,5 oms/h
- läckage 0,1 "
- Totalt 0,6 "

- Tid för mekanisk ventilation : kl 08.00 – 17.00

- Gratisvärme : 25 W/m²
- Alternativ : 4 "
- 100 "
- Detta inkluderar värmeavgivning från maskiner,
belysning och människor

- Tid för gratisvärme : kl 08.00 – 17.00

- Tillåtet temperaturintervall : 18 – 26 °
- Alternativ : 18 – 22
- Under natten tillåtes temperaturen sjunka till 14°

JÄMFÖRDA ALTERNATIV *)

A Inverkan av värmekapacitet och värmeisolering

B Inverkan av värmekapacitet vid olika mängd gratisvärme

C Inverkan av värmekapacitet vid olika temperaturintervall

D Inverkan av fönsterstorlek och fönstertyp

E Inverkan av värmekapacitet, ventilation och solavskärmning

F Inverkan av takfärg

1	Lättbetong	U=0,43				
2	Plåt	U=0,43				
3	Betong	U=0,43	inv. isolerad			
4	Betong	U=0,43	utv. isolerad			
5	Plåt	U=0,19			5	5
6	Betong	U=0,19	inv. isolerad			
7	Lättbetong	U=0,43	gratisvärme 100 W/m ²		7	
8	Plåt	U=0,43	gratisvärme 100 W/m ²		8	
9	Lättbetong	U=0,43	intervall 18 - 22°		9	
10	Plåt	U=0,43	intervall 18 - 22°		10	
11	Plåt	U=0,19	ljus tak			1
12	Plåt	U=0,19	10 % fönster			12
13	Plåt	U=0,19	treglasfönster			13
14	Plåt	U=0,19	lågmissionsglas			14
15	Plåt	U=0,19	solskyddsglas			15
16	Lättbetong	U=0,43	gratisvärme 4 W/m ²		16	
17	Plåt	U=0,43	gratisvärme 4 W/m ²		17	
Studie av sommarförhållanden : (U=0,19 och 0,22)						
20	Betong		10 % fönster			20
21	Plåt		10 %, vent 08-17, 3 oms/h			21
22	Betong		10 %, vent 08-17, 3 oms/h			22
23	Plåt		10 %, vent 00-24, 3 oms/h			23
24	Betong		10 %, vent 00-24, 3 oms/h			24
25	Plåt		som alt. 21, utv solavskärnm.			25

A	B	C	D	E	F
1	1	1			
2	2	2			
3					
4					
5			5		5
6					
	7				
	8				
		9			
		10			
			12	12	
			13		
			14		
			15		
	16				
	17				
				20	
				21	
				22	
				23	
				24	
				25	

*) Då ej annat anges gäller :

gratisvärme 25 W/m², temperaturintervall 18 - 26°, 20 % fönster, tvåglas, mörkt tak

KOMMENTARER

Några faktorer fordrar kompletterande kommentarer.

Beräknade U-värden

För att enkelt beskriva konstruktionerna har angetts "U-värden", med enheten $W / (m^2 \cdot K)$. Dataprogrammet räknar inte med U-värden. Det räknar med lambda-värden och med övergångsmotstånd, beroende på lufthastighet och temperaturdifferenser.

Optimering av konstruktionerna

Denna byggnad, med sina olika alternativa utformningar, är inte konstruerad för att ge optimal ekonomi eller optimal komfort. Alternativerna är valda för att ge rimliga och intressanta jämförelser. Optimering kan endast göras, då man vet vad byggnaden skall användas till. Då kan ventilation, uppvärmning, värmeisolering, fönsterarea etc. väljas, så att bästa möjliga resultat erhålles. I många fall kan det då vara motiverat med värmeväxling, olika fönster i olika riktningar, specialstyrd ventilation etc. Ibland är det olika åtgärder, som är lämpligast, beroende på om byggnaden är lätt eller tung.

Val av värmeisolering

Hallarna 1 - 4 har U-värdet 0,43. Detta har valts för att få med en jämförelse med normala hallar av lättbetong. Lättbetongindustrien har både före och efter NR 1:88 rekommenderat användning av U-värden kring 0,43 för lättbetong. Detta är en isoleringsgrad, som det inte är ekonomiskt att välja för byggnader av andra material.

Jämförelser, där lättbetong ingår, har gjorts med $U = 0,43$. För övrigt har de numera mer normala U-värdena 0,19 och 0,22 använts.

Fönsterarea

När byggnader projekteras, väljes mycket olika area. Här har studerats byggnader, där 20 och 10 % av väggytorna varit fönster. Fönsterarean har antagits lika i alla riktningar. I kommande studier bör förmodligen även lägre värden studeras, liksom byggnader med olika area i olika väderstreck.

Betonggolv, Inredning

I samtliga fall har golvet antagits bestå av 20 cm betong.

Samtidigt har antagits att hallarna är oinredda, d.v.s. inte har någon inredning eller några inventarier, varken mellanväggar, möbler, maskiner eller varulager.

En grov uppskattning av inredningens betydelse ger en del belysande jämförelser :

Möbler :

Enligt norm skall belastningen av möbler eller inredning i bostäder beräknas vara 50 kg/m^2 , i kontor, varuhus och samlingslokaler 100 . Om vi räknar med 50 kg/m^2 och att materialet mest utgörs av trä med värmekapaciteten $2,7 \text{ kJ / (kg*K)}$, blir inventariernas värmekapacitet ca $50 * 2,7 = 130 \text{ kJ / (K*m}^2)$.

Betong har värmekapaciteten $0,9 \text{ kJ / (kg*K)}$ och densitet $2,3$, vilket ger ca $21 \text{ kJ / (K*m}^2\text{cm)}$.

Möblerna motsvarar således värmekapaciteten hos betong med tjockleken 6 cm , om den var tillgänglig på samma sätt som möblernas värmekapacitet.

Maskiner :

En maskin på två ton järn har värmekapaciteten ca $2\,000 * 0,5 = 1\,000 \text{ kJ / K}$. Antas denna maskin, eller motsvarande varulager, ta 20 m^2 i anspråk, blir belastningen 100 kg/m^2 och värmekapaciteten ca $2\,000 * 0,5 / 20 = 50 \text{ kJ / (K*m}^2)$.

Detta motsvarar värmekapaciteten hos betong med tjockleken $2,5 \text{ cm}$.

Slutsats :

Inredning i form av möbler, maskiner, varulager och mellanväggar är mycket olika i olika byggnader, liksom utformningen av golvet. Här gjorda antaganden – betonggolv med 20 cm tjocklek, inga inventarier eller mellanväggar, ingen inverkan av marken under golvet – bör motsvara rätt normala förhållanden i hallar av denna storleksordning.

Värmeåtervinning

Enligt NR 1:88 kapitel 3:1, Energihushållning, krävs att man skall kontrollera om värmeåtervinning är erforderlig för byggnaden, om energiinnehållet i avluften är mer än 2 MWh/år större än i det tillförda uteluftsflödet. Så är fallet här och då skall kontrolleras om den aktuella byggnaden fordrar mer energi än vad motsvarande referensbyggnad fordrar. Annars behövs ej värmeåtervinning. En energibehovsberäkning med hjälp av dataprogrammet Enorm visar, att den aktuella byggnadens energibehov är lägre än referensbyggnadens och då är det inte något krav att installera värmeåtervinning.

Gratisvärme

Gratisvärme, d.v.s. intern värmeavgivning från belysning, maskiner, människor etc, har antagits vara 25 W/m^2 . Detta är tämligen normalt för lättare industri. Tyngre industri kan ha betydligt mer, lagerbyggnader betydligt mindre. Därför har även värdena 4 W/m^2 och 100 W/m^2 studerats.

Temperaturintervall

De angivna gränserna gäller endast lufttemperaturen i lokalerna. Den undre gränsen blir aktuell endast under vintern, då värmesystemet hindrar temperaturen att sjunka ytterligare. Den övre gränsen blir aktuell under vår, sommar och höst och den upprätthålls enligt strategien genom kylning av tilluften. Så länge temperaturen håller sig inom gränserna vare sig tillförs eller bortförs någon energi med värme- eller kylsystem.

Begränsning av maximitemperaturerna

Det kan sägas, att den antagna högsta sommartemperaturen, 26° , är orealistisk med de luftflöden som gäller. När förutsättningarna för de olika alternativen har diskuterats, har det antagits, att fönster och dörrar (portar) öppnas, när temperaturen stiger upp emot 26° och att därmed ett betydligt större luftflöde strömmar genom byggnaden. Om utemperaturen är över 26° , ger naturligtvis inte heller fönstervädning erforderlig kyleffekt.

För att belysa komfortförhållandena med de olika alternativen under värmeböljor, visas på sid. 19 en studie av förhållandena i några byggnader under juli månad. Det framgår där hur stor del av arbetstiden, som den operativa temperaturen överstiger olika värden i de studerade fallen. Detta kan jämföras med Byggnadsstyrelsens krav " p_{27} ", som säger att temperaturen inte skall vara 27° eller mer under mer än 10 % av arbetstiden under juli månad. Se kommentarer i bilagan !

Luftflöde, ventilation

Genom att byggnadens användning inte är känd, kan inte det luftflöde, som erfordras på grund av personbelastning och verksamhet, anges med noggrannhet. Eftersom det är fråga om en hallbyggnad, har antagits att personbelastningen inte är så stor, varför den mekaniska ventilationen har begränsats till 0,5 oms/h. Till detta kommer ett rimligt läckage, som uppskattats till 0,1 oms/h, vilket också motsvaras av kraven i NR 1:88. Totalt är det alltså 0,6 oms/h eller $3\ 000\ \text{m}^3/\text{h} = 830\ \text{l/s}$. Den mekaniska ventilationen har antagits vara igång från kl 08.00 till 17.00.

Nybyggnadsreglerna föreskriver ett minsta flöde av $0,35\ \text{l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ för lokaler med normal rumshöjd (kontor), där människor vistas mer än tillfälligt. Här är rumshöjden ungefär den dubbla och flödet blir drygt $0,8\ \text{l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$. Blir arbetet i lokalen stillasittande, kan detta flöde ur hygienisk synpunkt tillåta att ca 140 personer samtidigt kan vistas i lokalen. För rörligt arbete krävs enligt normen $0,7\ \text{l}/(\text{s},\text{person})$, vilket innebär att luftflödet räcker för ca 100 personer.

I studie E på sid 19 har även fönstervädring med 3 oms/h studerats.

Läckage

Luftläckaget genom klimatskalet har antagits vara 0,1 omsättningar per timma. Detta motsvarar $500\ \text{m}^3/\text{h}$ för den aktuella volymen. Det ger $0,3\ \text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ av klimatskalets yta. Vid 50 Pa anses läckaget vara 20 ggr större och värdet blir då $6\ \text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, vilket är exakt det värde som krävs i NR 1:88.

Mätningar, som Statens Provningsanstalt gjort, visar att bra utförda byggnader har ett läckage kring $2\ \text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ vid 50 Pa. Detta gäller både lätta och tunga byggnader. Man kan uppskatta, att en minskning av läckaget från 6 till 2, ger en minskning av energibehovet med ca 6 000 kWh/år .

Tidskonstanter

Ibland kan det vara av intresse, att känna till tidskonstanterna för alternativen. Vanligen anges tidskonstanten enligt följande definition $\tau = \sum c \cdot m / \sum (A \cdot U + Q_{\text{vent}})$. Vi har dock låtit BRIS beräkna tidskonstanten vid ett simulerat avsvlningsförlopp i några fall. Tidskonstanten visar hur lång tid, som det tar för temperaturen att sjunka 63% av temperatur-differensen mellan inne och ute, då all värmealstrning upphör.

Plåt,	20% fönster	Tidskonstant =	83 tim
Betong, utv. isolerad,	20% fönster	Tidskonstant =	129 tim
Plåt,	10% fönster	Tidskonstant =	92 tim
Betong, utv. isolerad,	10% fönster	Tidskonstant =	146 tim

RESULTAT AV STUDIERNA

A Inverkan av värmekapacitet och värmeisolering

A1 Vid U = 0,43

Datorberäkningarna visar att de beräknade energibehoven är följande i alternativen 1 - 4

Gratisvärme 58 500 kWh/år

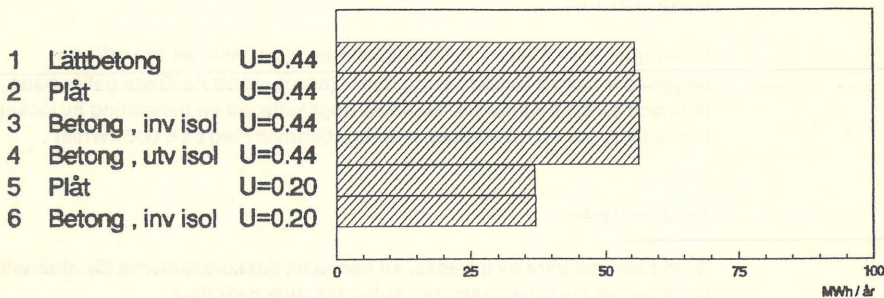
Erforderlig tillskottsvärme

Alt. 1	Lättbetong	55 819	"
Alt. 2	Plåt	56 707	"
Alt. 3	Betong, inv. isol. väggar	56 481	"
Alt. 4	Betong, utv. isol. väggar	56 319	"

Se även diagram nedan !

Skillnaderna i energibehov är som synes obetydliga för hela året.

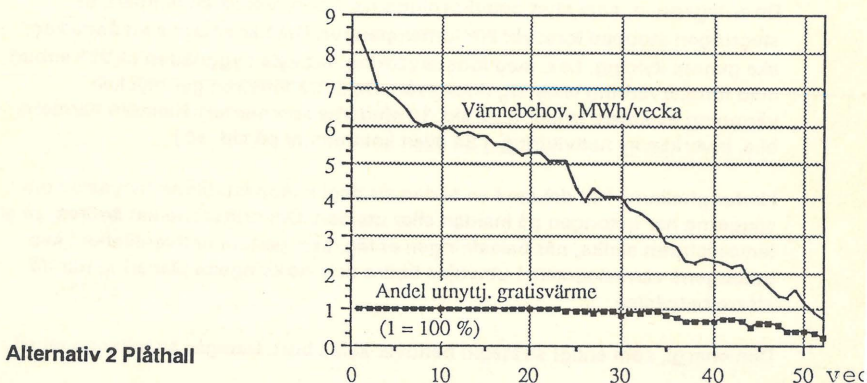
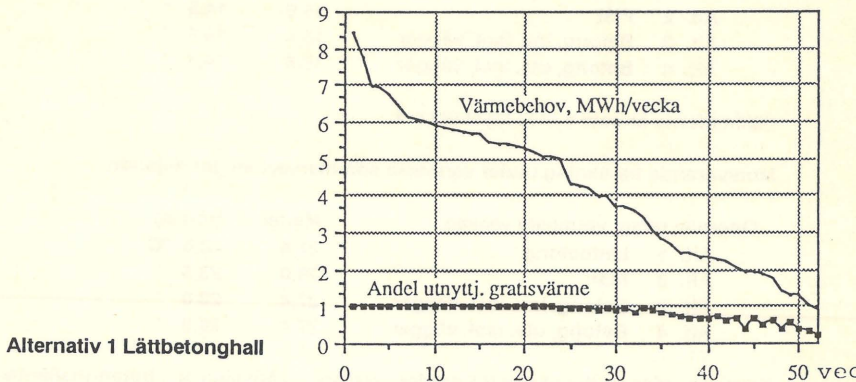
Diagram A. Tillskottsvärme
Inverkan av värmekapacitet och värmeisolering



Gratisvärmen från belysning, maskiner och människor minskar behovet av tillskottsvärme från värmesystemet. Om man studerar energibehovet vecka för vecka, kan man se hur detta gratisvärme utnyttjas. I diagrammen på nästa sida har total tillförd energi (eller värmebehov) uppritats vecka för vecka i fallande ordning (för lättbetong) liksom andelen gratisvärme, som utnyttjas. Som synes är utnyttjandet mycket högt.

Diagram A:2

Varaktighetskurvor för total tillförd energi



Energibehovet har även beräknats för normalårets kallaste vintervecka och för veckan därefter.

<u>Erforderlig tillskottsvärme</u>		<u>Kallaste</u>	<u>Efterföljande</u>
Alt. 1	Lättbetong	4 130	2 224 kWh
Alt. 2	Plåt	4 145	2 184 "
Alt. 3	Betong, inv. isol. väggar	4 139	2 215 "
Alt. 4	Betong, utv. isol. väggar	4 126	2 230 "

Skillnaderna är även i detta avseende små. Plåthallen drar något mer under kallaste veckan, men i gengäld något mindre veckan efter.

Beräkning av den operativa temperaturen mitt i lokalen under arbetstid under den kallaste vinterveckan ger följande värden :

<u>Operativ temp, kallaste veckan</u>	<u>Medel</u>	<u>Minsta</u>
Alt. 1 Lättbetong	15,8	14,5 °C
Alt. 2 Plåt	15,9	14,5 "
Alt. 3 Betong, inv. isol. väggar	15,6	14,5 "
Alt. 4 Betong, utv. isol. väggar	15,5	14,5 "

Skillnaderna är som synes mycket små.

Motsvarande beräkning under varmaste sommarveckan ger följande :

<u>Operativ temp, varmaste veckan</u>	<u>Medel</u>	<u>Högsta</u>
Alt. 1 Lättbetong	27,4	28,0 °C
Alt. 2 Plåt	28,0	28,5 "
Alt. 3 Betong, inv. isol. väggar	27,4	28,0 "
Alt. 4 Betong, utv. isol. väggar	27,4	28,0 "

Tabellen visar att det blir ca 0,5 grader varmare i plåthallen än i betonghallarna.

De antaganden, som styrat datorberäkningarna, har gjorts så att temperaturstegringen stoppas först vid 26° lufttemperatur. Det har antagits att detta kan ske genom kylning, t.ex. med fönstervädring. Att kyla byggnaden till 27° enbart med fönstervädring visar sig dock svårt. De stora fönstren ger mycken värming av solen. Under E på sid. 19 studeras sommarförhållanden närmare, bl.a. inverkan av nattvädring. (Se även kommentar på sid. 10)

I betonghallarna har det med en sådan strategi knappast någon betydelse om väggarna har betongen på insidan eller utsidan. Om driftsschemat ändras, så att temperaturen sänks, när belastningen är låg, t.ex. genom nattventilation, kan betongens värmekapacitet utnyttjas bättre och isoleringens placering har då större betydelse.

Den energi, som enligt strategin behöver kylas bort, framgår av följande tabell :

Kylbehov

Alt. 1 Lättbetong	9 443 kWh/år
Alt. 2 Plåt	12 311 "
Alt. 3 Betong, inv. isol. väggar	10 032 "
Alt. 4 Betong, utv. isol. väggar	9 286 "

Detta gäller således, om man vill hålla lufttemperaturen under 26°.

Jämför nedan under jämförelse E !

A2 Vid U = 0,19

Ovanstående resultat gällde för hallarna med U = 0,43. Motsvarande studie är gjord för hallarna med U = 0,19 (Alt. 5 och 6). Där är det inte realistiskt att ta med lättbetong. För betong har det i dessa fall liten betydelse om isoleringen placerats in- eller utvändigt, vilket framgår ovan. Då dessa studier påbörjades var invändig placering det vanligaste, varför detta alternativ valdes för nedanstående studie.

För att möjliggöra jämförelse med de tidigare hallarna, har motsvarande hallar med U = 0,43 medtagits härnedan.

De beräknade energibehoven i de olika fallen är

Gratisvärme 58 500 kWh/år

Erforderlig tillskottsvärme

Vid U = 0,19

Alt. 5	Plåt	36 926	kWh/år
Alt. 6	Betong, inv. isol. väggar	36 985	"

Vid U = 0,43

Alt. 2	Plåt	56 707	"
Alt. 3	Betong, inv. isol. väggar	56 481	"

Energibehovet för kallaste vinterveckan och för veckan därefter blir

Erforderlig tillskottsvärme Kallaste Efterföljande

Vid U = 0,19

Alt. 5	Plåt	2 978	1 479	kWh/år
Alt. 6	Betong, inv. isol. väggar	2 945	1 547	"

Vid U = 0,43

Alt. 2	Plåt	4 145	2 184	"
Alt. 3	Betong, inv. isol. väggar	4 139	2 215	"

Op. temp. mitt i lokalen under arbetstid under kallaste vinterveckan :

Operativ temp, kallaste veckan Medel Minsta

Vid U = 0,19

Alt. 5	Plåt	16,4	15,0	kWh/år
Alt. 6	Betong, inv. isol. väggar	16,1	15,0	"

Vid U = 0,43

Alt. 2	Plåt	15,9	14,5	"
Alt. 3	Betong, inv. isol. väggar	15,6	14,5	"

Motsvarande under varmaste sommarveckan :

<u>Operativ temp, varmaste veckan</u>	<u>Medel</u>	<u>Högsta</u>
<u>Vid U = 0,19</u>		
Alt. 5 Plåt	27,6	28,0 kWh/år
Alt. 6 Betong, inv. isol. väggar	27,1	27,5 "
<u>Vid U = 0,43</u>		
Alt. 2 Plåt	28,0	28,5 "
Alt. 3 Betong, inv. isol. väggar	27,4	28,0 "

Resultaten visar således att inverkan av värmeisoleringen inte är särskilt stor på temperaturerna, men mycket stor på energibehovet. Detta är naturligt med den stora skillnaden i isolering. Man kan påminna om att dessa U-värden valdes enligt vad normen krävde för lokaler av lättbetong resp. mineralullsisolerade konstruktioner. Inverkan av värmekapaciteten är liten, både för de bättre och de sämre isolerade hallarna.

B Inverkan av värmekapacitet vid olika mängd gratisvärme

I ovanstående hallar har det antagits, att gratisvärmen, d.v.s. den värme, som alstras av belysning, maskiner, människor etc, är 25 W/m². Här studeras nu vad andra värden betyder för tillskottsenergiebehovet. De jämförda hallarna är i detta fall lättbetong- och plåthallarna med U = 0,43.

Vid 4 W/m² :
Gratisvärme 9 360 kWh/år

Erforderlig tillskottsvärme
Alt. 16 Lättbetong 81 902 "
Alt. 17 Plåt 82 109 "

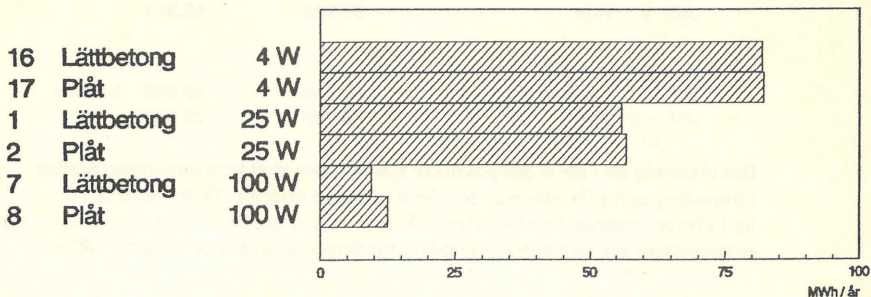
Vid 25 W/m² :
Gratisvärme 58 500 kWh/år

Erforderlig tillskottsvärme
Alt. 1 Lättbetong 55 819 "
Alt. 2 Plåt 56 707 "

Vid 100 W/m² :
Gratisvärme 234 000 kWh/år

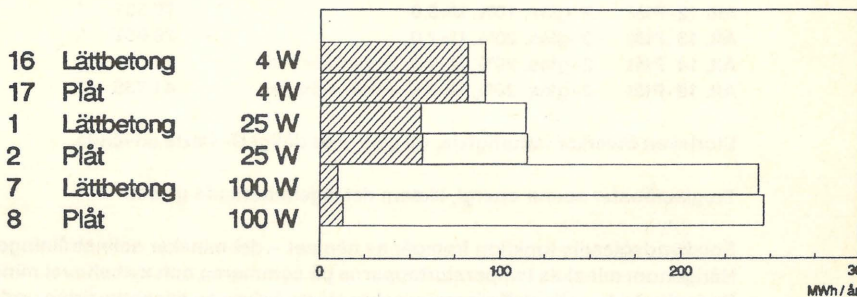
Erforderlig tillskottsvärme
Alt. 7 Lättbetong 9 410 "
Alt. 8 Plåt 12 375 "

Diagram B:1. Tillskottsvärme
Inverkan av värmekapacitet vid olika mängd gratisvärme



Det förefaller som om värmekapacitetens inverkan blir väsentligt större vid ökad mängd gratisvärme. (Detta överensstämmer väl med resultaten, som redovisas i R76:1985) Om man summerar den totalt tillförda energin, visar det sig emellertid att den relativa skillnaden inte är så stor, vilket framgår av diagram B:2.

Diagram B:2. Total tillförd energi
Inverkan av värmekapacitet vid olika mängd gratisvärme



C Inverkan av värmekapacitet vid olika temperaturintervall

Enligt förutsättningarna är det tillåtna temperaturintervallet 18 till 26°. För att kontrollera om intervallet påverkar värme- och kylbehoven olika för tung resp. lätt byggnad, har ett annat intervall studerats, 18 till 22°. Detta har gjorts för byggnader av lättbetong och plåt med $U = 0,43$.

Erforderlig tillskottsvärme

	<u>värme-</u>	<u>kylbehov</u>
<u>Vid intervall 18 - 26°</u>		
Alt. 1 Lättbetong	55 819	9 443 kWh/år
Alt. 2 Plåt	56 707	12 311 "

Vid intervall 18 - 22°

Alt. 9 Lättbetong	55 856	20 640 kWh/år
Alt. 10 Plåt	56 798	23 883 "

Det visar sig att i detta fall påverkar själva intervallet inte relationen mellan lättbetong och plåt. Här har den övre gränsen ändrats. Detta medför att kylbehovet ändras, lika för båda. På samma sätt skulle en ändring av den nedre gränsen betyda att behovet av tillskottsvärme förändrades, lika för båda.

D Inverkan av fönsterstorlek och fönstertyp

En välisolerad plåthall har tagits som underlag för jämförelser avseende fönstren. Den ordinarie hallen har 20% fönster, tvåglas. Fyra alternativ har valts : mindre fönster, treglasfönster, lågemissionsglas och solskyddsglas, enligt nedan :

Gratisvärme 58 500 kWh/år

Erforderlig tillskottsvärme

Alt. 5 Plåt	2-glas, 20%, U=3,0	36 926 "
Alt. 12 Plåt	2-glas, 10%, U=3,0	30 531 "
Alt. 13 Plåt	3-glas, 20%, U=2,0	29 951 "
Alt. 14 Plåt	2-glas, 20%, U=1,5, lågemitterande	27 071 "
Alt. 15 Plåt	2-glas, 20%, U=3,0, solskyddsglas	41 755 "

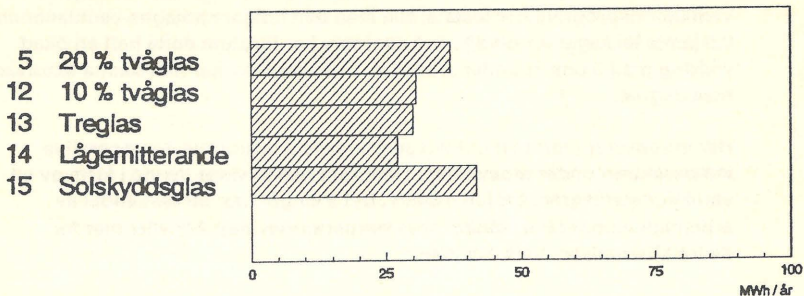
Storleken inverkar naturligtvis, då glas med dåligt U-värde används.

Treglasfönster sparar energi, liksom det lågemitterande glaset.

Solskyddsglasets funktion framgår av namnet - det minskar solinstrålningen. Härigenom minskas temperaturtopparna på sommaren och kylbehovet minskar. Den minskade solinstrålningen orsakar större behov av tillskottsvärme under vår och höst.

Nya glastyper, som t.ex. kombinerar lågemission och solskydd, gör det möjligt, att från fall till fall optimera fönsterutformningen.

Diagram D. Tillskottsvärme Inverkan av fönsterstorlek och fönstertyp



E Studie av sommarförhållanden

Inverkan av värmekapacitet, ventilation och solavskärmning

Som tidigare sagts, visade det sig svårt att hålla maximitemperaturen 26° i denna byggnad. För att bättre visa vad som händer under sommarförhållanden, har sju körningar gjorts för juli månad (ingen semester). Liksom tidigare avser detta normalår för Stockholm.

Här har valts förutsättningarna enligt sid. 5 – 6 med följande speciella data :

- Väggar :
 - Alternativ
 - plåt, 175 cm isolering
 - betong, 175 cm isolering utvändigt

- Tak :
 - Alternativ
 - plåt, 200 cm isolering
 - betong, 200 cm isolering utvändigt

- Fönster :
 - 10 % av väggarnas yta

- Solavskärmningar :
 - Alternativ
 - inga
 - markiser

- Ventilation :
 - Alternativ
 - som tidigare angivet
 - ökad mekanisk ventilation eller
 - fönstervädring med 3 oms/h

- Tid för ökad ventilation :
 - Alternativ
 - 08 – 17
 - 00 – 24

E1 Värmekapacitet och ventilation

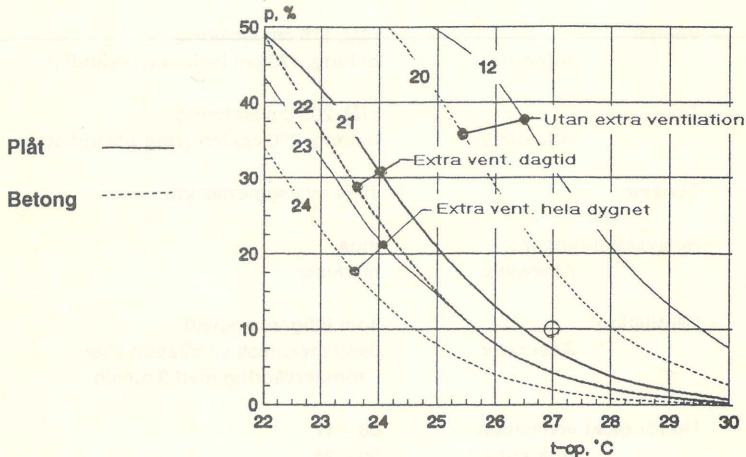
Med hjälp av sex alternativ har inverkan av värmekapacitet och ventilation studerats. Samtliga har alltså haft 10% fönster och varit utan solskydd. Tre olika ventilationsprogram har testats, alla med den tidigare antagna ventilationen på 0,5 jämte läckaget 0,1 oms/h. Två alternativ har förutom detta haft en ökad vädring med 3 oms/h under arbetstid. Två alternativ har haft denna extravädring hela dygnet.

Här intresserar i första hand temperaturerna, i synnerhet den operativa temperaturen under arbetstiden. I diagram nedan visas denna i form av ett varaktighetsdiagram för juli månad. Det framgår t.ex. att den andel av arbetstiden under juli månad, som temperaturen varit 27° eller mer för de tre alternativen, varit följande.

Alt. 12	Plåt	ingen extra ventilation	31 %
Alt. 20	Betong	ingen extra ventilation	18 %
Alt. 21	Plåt	extra ventilation dagtid	7,1 %
Alt. 22	Betong	extra ventilation dagtid	4,0 %
Alt. 23	Plåt	extra ventilation hela dygnet	4,0 %
Alt. 24	Betong	extra ventilation hela dygnet	1,8 %

Byggnadsstyrelsens krav för p_{27} (se bilaga) är max 10 %.

Diagram E:1. Sannolikhet för överskridande av operativ temperatur under juli
Inverkan av värmekapacitet och ventilation



De två första alternativen – utan fönstervädring – är i praktiken orealistiska. Om det blir alltför höga temperaturer, kommer man naturligtvis att öppna fönstren och då hamnar man i de andra alternativen. De två sista, med extra ventilation även nattetid, fordrar en speciell extra mekanisk ventilation. Fönstervädring nattetid accepteras sällan av säkerhetsskäl.

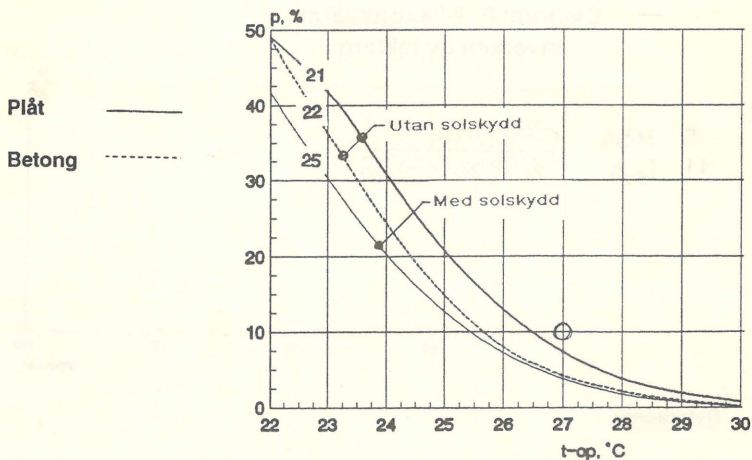
E2 Värmekapacitet och solavskärmning

För att studera inverkan av solavskärmning, har en plåthall körts med solskydd. Solskyddet motsvaras t.ex. av markiser. Fallet med extra vädring under dagtid har valts.

Varaktighetsdiagrammet nedan visar detta alternativ tillsammans med de två tidigare, som hade samma ventilation. Den andel av arbetstiden under juli månad, som temperaturen varit 27° eller mer för de tre alternativen, har varit följande :

Alt. 21	Plåt	utan solskydd	7,1 %
Alt. 22	Betong	utan solskydd	4,0 %
Alt. 25	Plåt	med solskydd	4,0 %

Diagram E:2. Sannolikhet för överskridande av operativ temperatur under juli
Inverkan av värmekapacitet och solavskärmning



Som allmän kommentar till studierna av sommarfallet kan sägas, att diagrammen visar tydliga skillnader mellan alternativen, men skillnaderna är i praktiken små. I det mest realistiska fallet, med extra ventilation dagtid, är inverkan av värmekapacitet 0,5 K, inverkan av solskydd 1 K och inverkan av nattvädring ca 1 K. I fråga om varaktighet spelar det liten roll, om temperaturen går över 27°C under 4 eller 7 % av tiden under juli månad.

F Inverkan av takfärg

Färgen på taket påverkar absorptionen av solvärme. En jämförelse har gjorts mellan plåtbyggnader med mörkt och ljust tak.

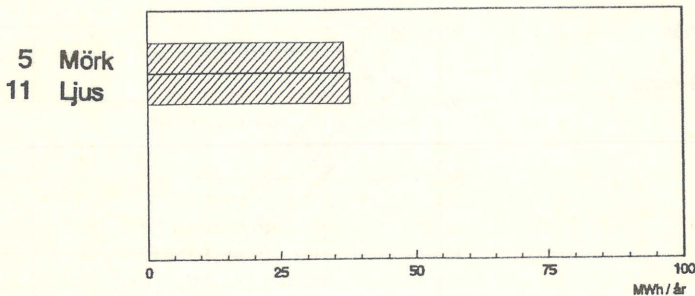
Det mörka taket absorberar mer solvärme, vilket minskar behovet av tillskottsvärme. Men det medför även att byggnaden blir varmare på sommaren, och om den skall kylas, blir kylbehovet större än om taket är ljust.

<u>Erforderlig tillskottsvärme</u>	<u>värme-</u>	<u>kylbehov</u>
Alt. 5 Plåt, mörkt tak	36 926	11 904 kWh/år
Alt. 11 Plåt, ljust tak	38 007	9 309 "

Kylbehovet för alternativ 11, plåthall med ljust tak, blir ungefär samma som för alternativ 1, lättbetonghall (med mörkt tak), 9 443 kWh/år.

Den operativa temperaturen på sommaren påverkas inte så mycket vid dessa goda isoleringsvärden. Vid byggnader med svagt isolerade tak har takfärgen stor betydelse för den operativa temperaturen.

Diagram F. Tillskottsvärme
Inverkan av takfärg



Referenser

Värmekapacitet i byggnadsstommar, Stommens tillgänglighet för energilagring, E. Isfält, D. Södergren, BFR, R76 : 1985

NR 1:88 , Nybyggnadsregler, Boverket, BFS 1988:18

Dataprogram BRIS, Programbeskrivning, 1982, Avdelningen för Installationsteknik, KTH, Stockholm

Dataprogram ENORM, Version 6.20, 1990, Karl Munther, Energiforskning AB, Stockholm

SUMMARY

ENERGY REQUIREMENT AND INDOOR THERMAL CLIMATE IN BUILDINGS WITH DIFFERENT THERMAL CAPACITY.

This study shows the influence of different factors on the annual energy requirement and on the indoor thermal climate in a building, designed as a typical single storey building for light industry or storage.

The results are shown with numerical values and with diagrams.

As expected, the "established" factors, eg those that should be considered following given standards, turn out to have appreciable influence. They are thermal insulation, window area, window type, sun shades, ventilation, air tightness and internal heat production.

The influence of thermal capacity is inferior in these studies.

Other factors, which in other studies have been found to have considerable influence, are the inhabitants behavior regarding window ventilation, opening of doors, use of electrical light etc and also local climate regarding wind and temperature. They are however not studied here.

It is important to point out, that the studies are made on ordinary, conventional buildings, without special systems for energy saving or control. Special systems, using heavy parts of the building for storage of heat and cold, might give other results. Also buildings with good thermal insulation and special control of the temperatures, can give differing results.

The factors studied on page 12 - 22 are

- A Thermal capacity and thermal insulation
- B Thermal capacity at different internal heat gain
- C Thermal capacity at different temperature intervals
- D Window size and window type
- E Studies of summer conditions
 - Thermal capacity, ventilation and sun shades
- F Colour of roof

Knowledge of the influence of materials and design is the foundation for designing good buildings and good systems for buildings. We hope that this study can add to this knowledge.

BILAGA

Temperaturens betydelse för vår arbetsprestation

I denna skrift redovisas de olika alternativens inverkan på bl.a. inne-klimatet. Men hur bör resultaten utvärderas? Ja, det brukar framföras många väsensskilda åsikter om detta. Vi vill därför komplettera rapporten med ett antal utdrag från forskares rapporter, samt ge en del förklarande kommentarer och slutligen redovisa ett system, som Byggnadsstyrelsen använder för bedömning av byggnader i detta avseende.

Vad betyder höga temperaturer?

Sambandet mellan operativ temperatur och arbetsprestation är mycket osäkert inom det här aktuella intervallet.

David Wyon vid SIB studerade redan i slutet av 60-talet förhållandena för barn under skolarbete. Han fann att ansträngda barn hade svårigheter att hänga med vid en högre temperatur, medan någon nedsättning av prestationen inte kunde märkas för andra barn. Wyon har även tillsammans med Fredrik Norin, Volvo, 1991 studerat vakenheten under bilkörning vid 21 och 27°, och funnit att den är bättre vid 21°.

Ann Enander och Staffan Hygge hänvisar i en artikel med titeln "Thermal stress and human performance", 1990, till flera utredningar, som anger att vakenheten skulle vara störst vid temperaturer kring 27 – 32°.

I "Indoor Climate, Effects on human comfort, performance and health", O. Fanger och O. Valbjörn, 1979, finns på sidan 835 ett referat från en undersökning av Gunnar Langkilde, "The influence of thermal environment on office work". I sammanfattningen sägs: "Only a slight influence from ambient temperature was found. The subjects worked faster when they felt cool (18°C) and they worked less when they felt warm (30°C) than when they felt comfortable (24°C), but only for one of six tests was the impaired performance at 30°C statistically significant. The subjects made more errors, when their work rate was high." ... "Conclusion The performance of different types of task, simulating normal office work, was shown to be only slightly affected by the ambient temperature." Av redovisade diagram framgår att skillnaderna i arbetsprestationer mellan 24 och 30°C endast rör sig om några procent och att resultatet är starkt knutet till individen.

Resultaten av de olika studierna är således delvis motstridiga !

Hur bestäms systemkraven för att undvika höga temperaturer?

Vi hade som utgångspunkt valt, att lufttemperaturen inte skulle få överskrida 26° och att temperaturökningen skulle hejdas genom kylning. Det visade sig inte möjligt att göra detta med enbart fönstervädring.

För att under heta somrardagar kunna hålla lufttemperaturen vid max 26°, fordras ibland kylaggregat. Detta är sällan ekonomiskt motiverat. Man accepterar i allmänhet att temperaturen under kortare perioder går över denna gräns.

Önskar man minska risken för temperaturtoppar, kan även andra åtgärder än installation av kylaggregat vidtagas. Solskydd i form av markiser, persienner eller gardiner för fönstren, är effektiva. Ökad ventilation på nätterna kylar ned byggnaden, vilket även ger lägre operativ temperatur på dagarna. Denna effekt är något större i tunga än i lätta byggnader.

Men hur bestäms då kraven för olika byggnader?

När ett nytt kontorshus planeras, deltar ofta representanter för företagsledning och personal med önskemål och synpunkter.

Personalen kanske tycker att 23°C verkar bra, både sommar och vinter. Man vill ofta också själv kunna ändra temperaturen i sitt rum. Sådana krav kan emellertid endast uppfyllas av system med mycket stora kyl- och värmeeffekter. Båda systemen måste vara i drift samtidigt, om rumstemperaturen snabbt skall kunna ändras individuellt. Om individuell reglering över huvud taget skall vara möjlig, måste alla dörrar hållas stängda. Luftläckaget genom en öppen dörr mellan två rum blir kanske tio gånger större än ventilationsflödet redan vid temperaturskillnaden 1 K. Den "individuella" regleringen blir då helt saboterad. Både värme- och kylsystemen går för fullt samtidigt !

Denna typ av system var vanliga i USA och en del andra länder under 1960-talet. Energiförbehovet blir emellertid förödande stort, eftersom värme- och kylsystemen styrs från rumstermostater och tvingas kämpa mot varandra.

Med hjälp av datorsimuleringar har man kunnat visa att förenklad styrning och ett vidgat intervall i tillåten rumstemperatur, t.ex. 22 - 24°C kan reducera effektbehovet till kanske 25% och energiförbehovet till ungefär hälften.

En nyligen genomförd kontroll i ett nytt "high tech" eller "intelligent" kontorshus bekräftar teorierna. I en del rum var termostaterna ställda på full kyla (13°C), i andra på full värme (30°C). De flesta dörrarna stod öppna, och klimatet i byggnaden var acceptabelt. Vid studien ställdes samtliga termostater på den rådande temperaturen. Effektbehovet gick omedelbart ned till mindre än hälften, utan att klimatet märkbart ändrades.

Om byggnaden har mycket hög tidskonstant, d.v.s. är tät, välisolerad och tung, kan denna mildring i kraven, tillsammans med förbättrad (= förenklad) styrning, innebära att kylsystemet i vårt klimat helt kan undvaras, även för kontorshus. Projektering i dessa banor förutsätter att man accepterar att temperaturen under kortare perioder, vid extremt väder, får överstiga den angivna maxtemperaturen. De flesta människor accepterar detta utan problem.

Byggnadsstyrelsen följer dessa principer och anger i stället för en absolut övre temperaturgräns en övre temperatur, som ej får överskridas mer än under 10% av arbetstiden under juli månad.

Vi har valt att jämföra resultaten under E på sid. 19 med den kravformulering Byggnadsstyrelsen kallar p_{27} .

Vad innebär Byggnadsstyrelsens p_{27} ?

Byggnadsstyrelsen sätter temperaturen i kontor i relation till statistiska klimatdata, genom att beräkna sannolikheten för att en viss operativtemperatur (normalt 27°) skall överskridas under sommarförhållanden (efter en idé av Sven Mandorff). Man låter "sommarförhållanden" representeras av juli månad. Statistiska bearbetningar för ett stort antal orter har visat, att dygnsmedeltemperaturen i juli är normalfördelad med standardavvikelsen 3 K. Tillsammans med månadsmedelvärdet ger denna uppgift en fullständig bild av hur dygnsmedelvärdena fördelar sig.

I den fortsatta behandlingen intresserar man sig för de varma dygnen, som förutsätts vara klara. Man har funnit att utetemperaturen då svänger +/- 5 K kring medelvärdet.

Månadsmedelvärdet för (temperaturen + 3 K) benämns bastemperaturen, t_{bas} , och anges på en karta. För t_{bas} beräknas därefter med BRIS-programmet operativtemperaturens fördelning under arbetstid. Detta upprepas för ($t_{bas} - 3 K$) och ($t_{bas} + 3 K$). Eftersom man känner den sannolika förekomsten av dessa dygnsmedeltemperaturer, får man på detta sätt en statistisk fördelning av rumstemperaturen, och kan härur få fram sannolikheten för att en viss nivå (t.ex. 27°C) skall överskridas (p_{27}). Det har erfarenhetsmässigt visat sig lämpligt att sätta denna gräns vid 10% av arbetstiden.

Referenser

Indoor Climate, Effects on human comfort, performance and health in residential, commercial and light-industry buildings, P.O. Fanger, O. Valbjørn, Danish Building Research Institute, Köpenhamn, 1979

The influence of the thermal environment on office work, Gunnar Langkilde, Lab. of Heating and Air Conditioning, Technical University of Denmark.

The effects of moderate heat stress on the mental performance of children, D. P. Wyon, SBI, D8-69, 1969

The effects of moderate heat stress on driver vigilance in a moving vehicle, David Wyon, Fredrik Norin, Volvo, 1991

Thermal stress and human performance, Ann Enander och Staffan Hygge, Scand J Work Environ Health, 1990:16

Underlag för beräkning av termiskt inomhusklimat, Detaljråd 8, 1984-12-05, Byggnadsstyrelsen.

