



Tunga materials inverkan på värmelagring och innetemperatur

Eva-Lotta Kurkinen & Azar Neisari



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



Två av de sex kub-husen placerade utanför SP i Borås.

Tunga materials inverkan på värmelagring och innetemperatur

Eva-Lotta Kurkinen & Azar Neisari

Abstract

Influence from Thermal Mass on Heat Storage and Indoor Temperature

This project was involved with the study of how different kinds of concrete and structures affect the indoor temperature and energy use in small scale houses, which were named cubes in this article. Six different miniature houses (cubes) were built, each with an internal volume of 1 m³ and a different type of building envelope. These were interior concrete, exterior concrete, light concrete, heavy concrete, concrete which included PCM (Phase Change Material) and lightweight structure. Meanwhile, all of them were insulated with 100 mm polystyrene and placed outdoors in the external test area at SP, Borås. The cubes were fitted with heating equipment and thermometers and the temperature data was recorded every half hour.

Indoor temperature and energy use was measured for one year from the 1st of the Nov 2014 until the 31st of the Oct 2015. Unfortunately, it was detected that cube number 3 did not have the designed insulation; therefore, these measurements were not taken into account.

The results showed that the cube with exterior concrete and interior insulation has the lowest energy use and also required the lowest heating effect. However, the indoor temperature varied considerably more in this cube in relation to the corresponding cube with interior concrete.

The cube with PMC layer did not show any effect, either on the inside temperature or energy use. It is most likely that the content of PCM material in the cement was too low to have any effect.

Key words: thermal mass, concrete, indoor temperature, energy use, power

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2015:79
ISBN 978-91-88001-99-3
ISSN 0284-5172
Borås 2015

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord	5
Sammanfattning	6
1 Inledning	7
1.1 Syfte	8
1.2 Metod	8
1.3 Provobjekt	8
2 Mätresultat	11
2.1 Kubernas tidskonstanter	11
2.2 Innetemperaturens variation	13
2.2.1 Internlasters inverkan på innetemperaturen	15
2.3 Energianvändning	16
2.4 Effekten som värmesystemet behöver använda	17
3 Sammanfattning och resultat	18
4 Referenser	19
Bilaga 1 Samband mellan utstyringsprocent och effekt.	20

Förord

Föreliggande arbete har genomförts av SP i samarbete med Färdig Betong (Mats Karlsson), NCC (Stephen Burke), PEAB (Helena Eriksson), Wäst-Bygg (Rolf Jonsson) och FoU-Väst (Pär Åhman).

SP har ansvarat för provkuberna, mätutrustningen och själva uppföljningen samt rapporteringen. Färdig Betong, NCC, PEAB, Wäst-Bygg och FoU-västs samordnare Pär Åhman har bidragit med idéer och synpunkter runt projektets upplägg och analys av datan. Stefan Elfborg på SP har monterat mätsystemen och Anders Lindskog har ansvarat för mätsystemets funktion.

Projektet har finansierats av SP, CBI och SBUF.

FoU-väst har fungerat som referensgrupp med följande personer och företag representerade:

Rolf Jonsson, Wäst-Bygg;
Sune Almqvist, Borås Maskinhjälp AB;
Johan Alte, Veidekke;
Lars-Göran Dahlqvist Besab AB;
Kristina Gabriell, Peab Sverige AB;
Erik Lavehall, JM;
Patric Broddheimer, AF Bygg;
Helena Burstrand Knutsson, Skanska;
Mats Karlsson, Färdig Betong Göteborg AB;
Kristian Lundberg, F O Peterson & Söner Byggnads AB;
Niklas Sparw, NCC;
Andreas Brendinger, Sveriges Byggindustrier;
Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier.

Sammanfattning

Det här projektet har handlat om att studera hur olika betong sorter och konstruktioner påverkar innetemperatur och energianvändning i små miniatyrhus, i fortsättningen kallade kuber. Sex olika miniatyrhus med en invändig volym av 1 m³ har byggts upp. En med invändig betong, en med utvändig betong en med tunt betong skikt, en med PCM spackel, en med magnititbetong och en enbart av cellplast. Samtliga kuber är isolerade med 100 mm cellplast och placerade utomhus på SP område i Borås. Kuberna är försedda med uppvärmning och temperaturmätning som läses av varje halvtimme.

Under ett års tid från 1 nov 2014 till 31 okt 2015 har innetemperatur och energianvändning mätts. Tyvärr visade det sig att en av kuberna inte hade fullgod isolering (kub 3 med magnititbetong/tung ballast) och dessa mätvärden stämmer alltså inte. Mätningarna visat att kuben med utvändig betong och invändig isolering har den lägsta energianvändningen och även utnyttjat lägst effekter. Dock har innetemperaturen varierat betydligt mer i denna kuben än i motsvarande kuber med betong på insidan.

Det går inte att påvisa någon effekt av PCM skiktet som är spacklat i en av kuberna, varken för innetemperatur eller energianvändning. Troligen är det förliten andel PCM inblandat i cementpastan för att det ska ge någon effekt.

1 Inledning

Att tunga konstruktioner kan ha en viss värmelagrande effekt och på så sätt kan bidra till en jämnare komfort och lägre effekttoppar jämfört med en lättkonstruktion är både välkänt och omdiskuterat [1]. Skillnader är svåra att påvisa eftersom det är många omständigheter som påverkar resultaten. Bland annat är flera energibalansprogram alltför enkla för att kunna ta hänsyn till värmelagrande effekter på ett korrekt sätt, som exempel kan VIP + nämnas där det inte går att variera innetemperaturen, vilket nästan är en förutsättning för att värmelagring ska vara möjligt. För verkliga byggnader har man sällan eller aldrig något att jämföra mot. Internlast, reglersystem, klimat, täthet etc. är faktorer som påverkar utfallet och dessa varierar från byggnad till byggnad.

För att råda bot på alla dessa osäkerhetsfaktorer har CBI framställt sex stycken miniatyrhus (kuber) uppförda med olika typer av klimatskal så som invändig betong, utvändig betong, ”tunn” invändig betong, ”tung” betong, betong med PCM-puts och lätt konstruktion. Alla med samma isoleringstjocklek.

I det här projektet har SP mätt energianvändning, effekttoppar samt innetemperatur i dessa kuber under ett helt år för att se hur det skiljer sig åt. Kuberna har också utsatts för olika stora internlast för att visa på eventuella skillnader i utdämpande förmåga. Provkuberna är placerade utomhus på SPs område i Borås.



Figur 1. Två av de tillverkade miniatyrhusen, till vänster betong utvändigt och till höger betong invändigt.

1.1 Syfte

Syftet är att med hjälp av kontrollerade fältmätningar i CBIs miniatyrhus (kuber) analysera effekten av värmelagring, energianvändning, effekttoppar och innetemperatur beroende på klimatskalens konstruktion och betongsort.

Projektet svarar på följande frågor:

1. Hur stora kan skillnaderna i innetemperatur och energianvändning vara mellan byggnader bestående av olika betongsorter och konstruktionstyper, så som betong invändigt eller utvändigt, tjockt eller tunt betonglager, betong med ”tung”ballast eller betong spacklad med PCM (fasförändringsmaterial)?
2. Hur påverkas innetemperatur och energianvändning i de olika konstruktionerna beroende på internlasternas storlek?

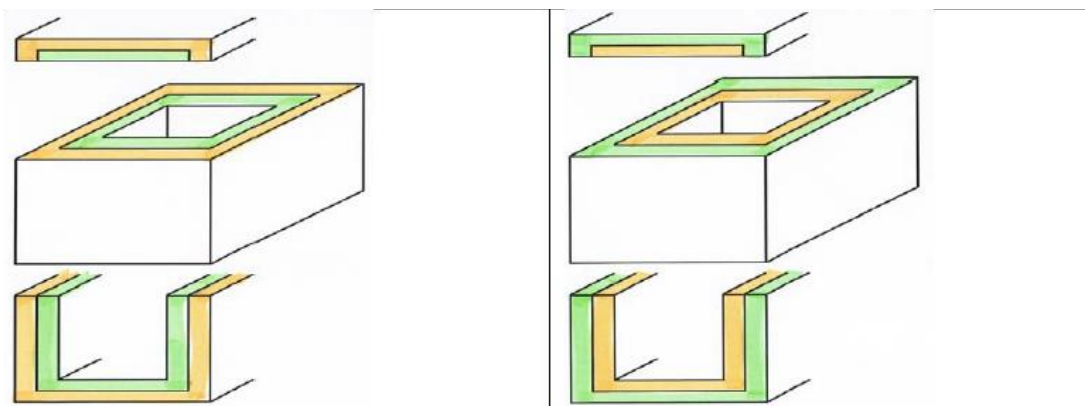
Målet är att projektet ska erhålla tydliga bevis på tunga materials inverkan på värmelagring och energianvändning.

1.2 Metod

Miniatyrhusen på SP förses med uppvärmning, internlast och temperaturmätare både inne och ute. Internlasten är kombinerad med uppvärmningen som består av en elektrisk doppvärmare. Både temperatur och tillförd energi loggas över tiden i samtliga kuber samtidigt under minst ett år. För att se betydelsen av internlasternas storlek kommer dessa att ändras under en tidsperiod. Kubernas U-medelvärden inklusive de geometriska köldbryggorna är beräknat i HEAT 3. Programmet valdes för att få med den tredimensionella effekten i hörnen som för dess små hus inte är försumbar.

1.3 Provobjekt

Sex olika miniatyrhus, i fortsättningen kallade kuber, har studerats. Samtliga kuber har invändigt mått $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$ och är uppbyggda enligt principskisserna i figur 2. Tanken var att alla kuber skulle ha identiska U-medelvärden men så är inte fallet eftersom de har olika stor andel köldbryggor. Kubernas uppbyggnad och ingående material redovisas i tabell 1 och 2.



Figur 2. Principskiss över betongkuberna. Till vänster betong invändigt och till höger betong utvändigt. Invändiga mått för samtliga kuber $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$.



Figur 3. Fotografi på en av kuberna med utvändigt cellplast isolering (vänster). För att skydda det yttre skiktet från fukt och ev. skadegörelse har samtliga kubertäcks in med USB skivor (höger).

Tabell 1. Uppbyggnad och beskrivning av de sex kuberna.

Kub-nr	Uppbyggnad och material insida / utsida	U-medel inkl. köldbryggor (W/m ² K)
1	100 mm isolering / 100 mm std.btg.	0,38
2	100 mm std.btg. / 100 mm isolering	0,52
3	100 mm btg. med tung ballast / 100 mm isolering	0,53
4	20 mm PCM-spackel, 80 mm std.btg / 100 mm isolering	0,52
5	Lätt stomme, enbart isolering 100	0,39
6	50 mm std.btg / 100 mm isolering	0,46

Tabell 2. Materialegenskaper.

Material	Densitet* (Kg/m ³)	Värme-konduktivitet** (W/m·K)
Cellplast (S80)	20	0,038
Std.btg.	2 400	1,7
Btg. med tung ballast	3 900	2,9
PCM-spackel	1 800	1,7

* Densiteten är uppmätt i samband med tillverkningen och kan tänkas förändras över tiden med tanke på fukttinhåll.

** Värdena för värmekonduktiviteten är deklarerade från tillverkaren. För den tunga betongen är värdet mätt av CBI med hjälp av en TPS [2].

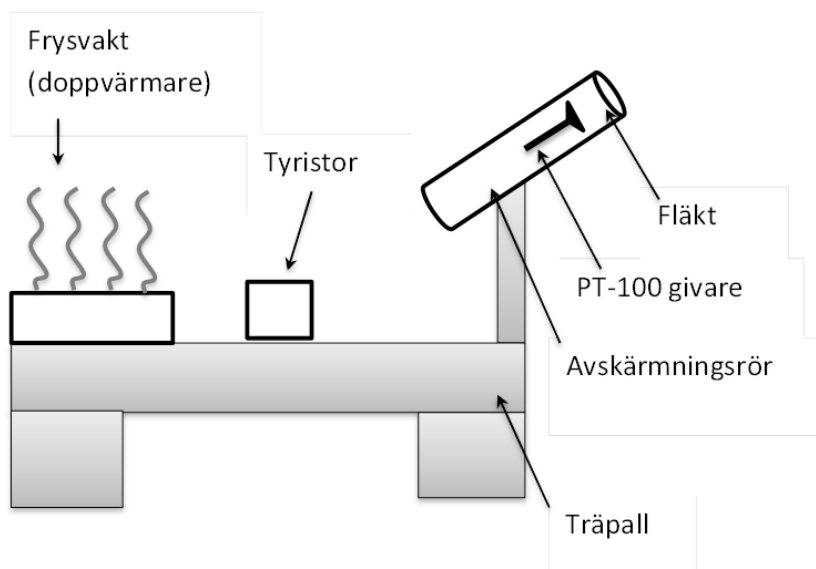
PCM-spacklet blandades av CBI och bestod av följande: byggcement PK Skövde (27 vikt%), vatten (19 vikt%), grus 0,5-8 mm (44 vikt%) och mikroinkapslad PCM (10 vikt%). PCMen är av typ

Micronal DS 5007 X med en diameter mindre än 0,5 mm och en fasförändringstemperatur (smältpunkt) på 23°C.

Kuberna tillverkades under året 2012 och har sedan stått utomhus placerade på lastpallar, se figur 3. En värmekabel är inbyggd i betongen för uttorkning, se figur 4. Denna stängdes av i början av 2014 och mätningarna startade hösten 2014. Varje kub är utrustad med ett värmelement med termostat, en fläkt och termoelement, se figur 5. Energianvändning och innetemperatur mäts separat för varje kub och loggas med ett tidsintervall på 30 min. Lufttemperaturen utanför kuberna loggas också. Kuberna är tillslutna med gummifog och tätningskum för att få dem helt lufttäta.



Figur 4. En värmekabel är inflätad i armeringsnätet för att påskynda uttorkningen av betongen. Foto CBInytt 1-2013 [4]



Figur 5. I varje kub finns en mätball av trä med frysvakt (vilket är värmeelementet), tyristor, fläkt och en PT-100 givare placerad i ett avskärningsrör.

2 Mätresultat

Kub 3 (tungballast/isolering)

Efter att ha erhållit mätvärden som tyder på ett alldeles för högt värmebehov i kub 3 (invändig tung ballast) öppnades kuben och då uppdagades det att cellplastisoleringen hade smält. Endast 3 cm av de 10 cm tjocka skivorna återstod. Detta har troligen skett under tiden som de injutna värmekablarna varit i drift. Isoleringen ersattes med ny den 13:e mars 2015. På grund av detta missöde saknas tillförlitliga data för denna kub under större delen av året.



Isoleringen har smält och blivit flera cm tunnare än sin ursprungliga tjocklek som var 10 cm

Figur 6. Isoleringen som endast var 3 cm tjock på sina ställen byttes ut den 13 mars 2015.

2.1 Kubernas tidskonstanter

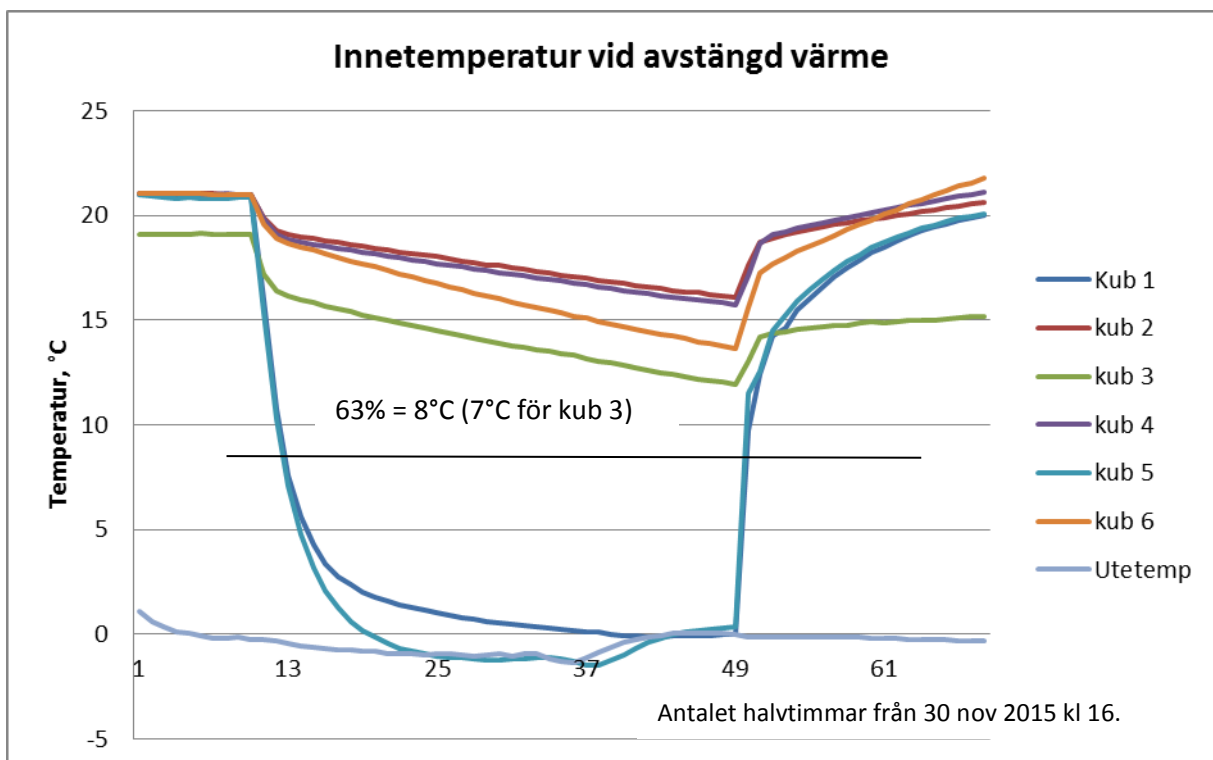
Värmetillförseln i kuberna stängdes av under nästa ett dygn (19,5 timar) vid månadsskiftet november-december 2014 för att studera deras tidskonstant. Perioden är vald för att utetemperaturen ska vara så stabil som möjligt. Tidskonstanten definieras som den tid det tar för en byggnad att avsvälta 63 % av den totala temperatursänkningen [3]. Genom att interpolera uppmätta värden exponentiellt och uppskatta avsvälningen av kuberna utifrån mätvärdena erhålls tidskonstanterna som redovisas i tabell 3.

Resultaten av temperaturavstängningen visas i figur 4. Innetemperaturen sjönk för samtliga kuber då värmen stängdes av. Efter åtta timmar hade all värme försvunnit från kub 5 (lätta konstruktionen) medans temperaturen endast sunkigt 4 grader för kub 2 (100 invändig btg) under samma tidsperiod. Samtliga resultat visas i figur 7.

Tabell 3 Kubernas uppmätta tidskonstant. Värdena för kuberna 2, 3, 4 och 6 är interpolerade.

Kub	Tidskonstant (tim)	Tillämpad funktion för interpolering
1. isolering/ std.btg.	1,5	-
2. std.btg./isolering	173	$A \cdot e^{-005 \cdot x}$
3. tung ballast /isolering	103	$A \cdot e^{-008 \cdot x}$
4. PCM-spackel/ std.btg / isolering	171	$A \cdot e^{-005 \cdot x}$
5. isolering	1,5	-
6. std.btg /isolering	94	$A \cdot e^{-009 \cdot x}$

A=Startvärdet för kurvanpassningen som tillämpas för interpoleringen. I det här fallet har temperaturvärdet som uppmäts tre timmar efter att värmen stängts av används.



Figur 7. Innetemperaturen i samtliga kuber då temperaturen stängs av under 19,5 timmar 1 dec 2014.

Tidskonstanten för en byggnad kan också beräknas genom ekvation (1).

$$\tau = \frac{\sum c \cdot m}{\sum U \cdot A + Q_{vent}} \cdot \frac{1}{3600} \quad [\text{tim}] \quad (1)$$

c = specifik värmekapacitivitet för material innanför isoleringsskiktet [J/kgK]

m = vikten för morsvarande material [kg]

U = Byggnadsdelens U-värde [W/m²K]

A = Ytan som är kopplat till U-värdet [m²]

Q_{vent} = Värmeförluster orsakade av ventilation och luftläckning [W/K]

De uppmätta tidskonstanterna kontrolleras och jämför mot beräkningen enligt (1). Betongens specifika värmekapacitet antas till 840 J/kg K och ventilationen sätts till 0 eftersom kuberna är helt täta. Både de beräknade och uppmätta tidskonstanterna redovisas i tabell 4.

Tabell 4. Jämförelse mellan beräknade tidskonstanter och de uppmätta.

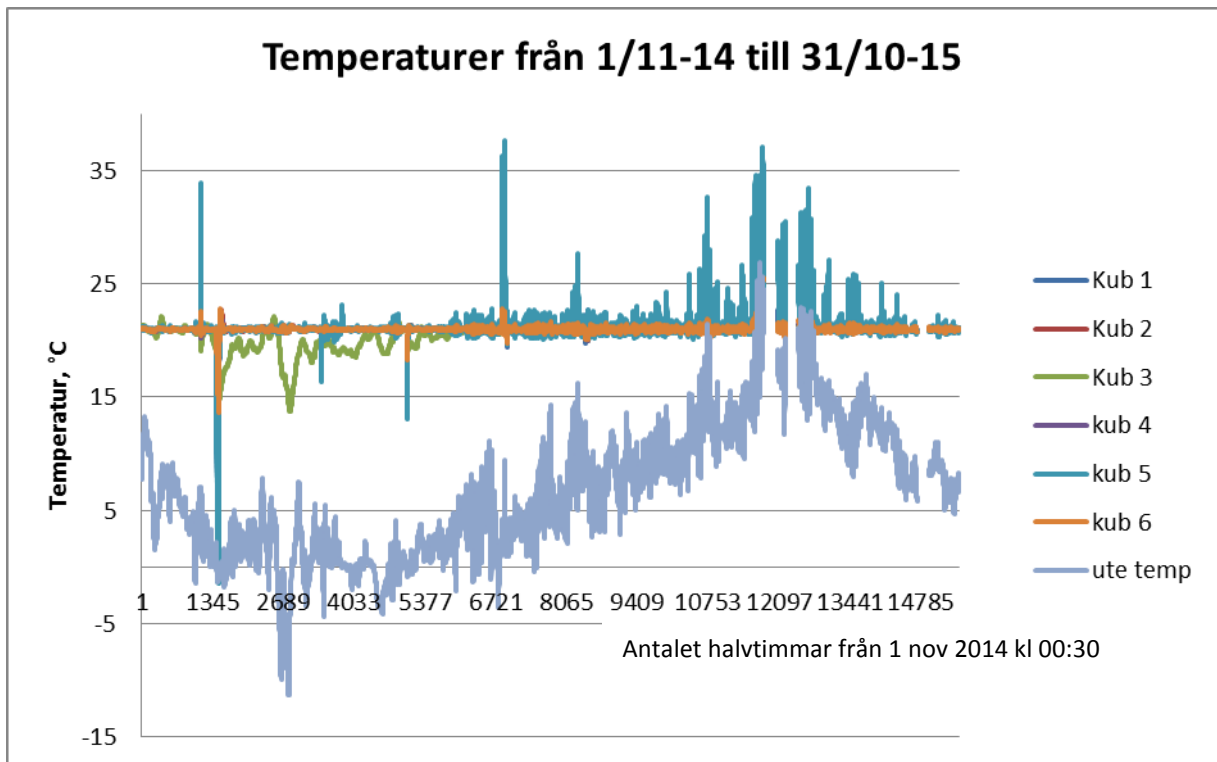
Kub	m (kg)	$U \cdot A$ (W/K)	τ -beräknad (tim)	τ -uppmätt (tim)
1. isolering/ std.btg.	0	2,28	0	1,5
2. std.btg./isolering	1 747	3,12	130	173
3. tung ballast /isolering	2 839	3,18	295	103
4. PCM-spackel/ std.btg / isolering	1 744	3,12	130	171
5. isolering	0	2,34	0	1,5
6. std.btg /isolering	816	2,76	69	94

Det är tydligt att det är viss skillnad mellan de beräknade och uppmätta värdena vilket kanske inte är så konstigt med tanke på att formeln i ekvation (1) är något förenklad och endast tas hänsyn till den termiska massa som finns innanför isoleringsskiktet. Det finns också en osäkerhet i de uppmätta värdena med tanke på den långa interpolationen. Då tidskonstanten mättes hade inte isoleringen i Kub 3 åtgärdats, varför denna kub har ett betydligt högre U-värde än det som används för att beräkna tidskonstanten. Värdena har strukits eftersom de anses beräknade på felaktiga indata.

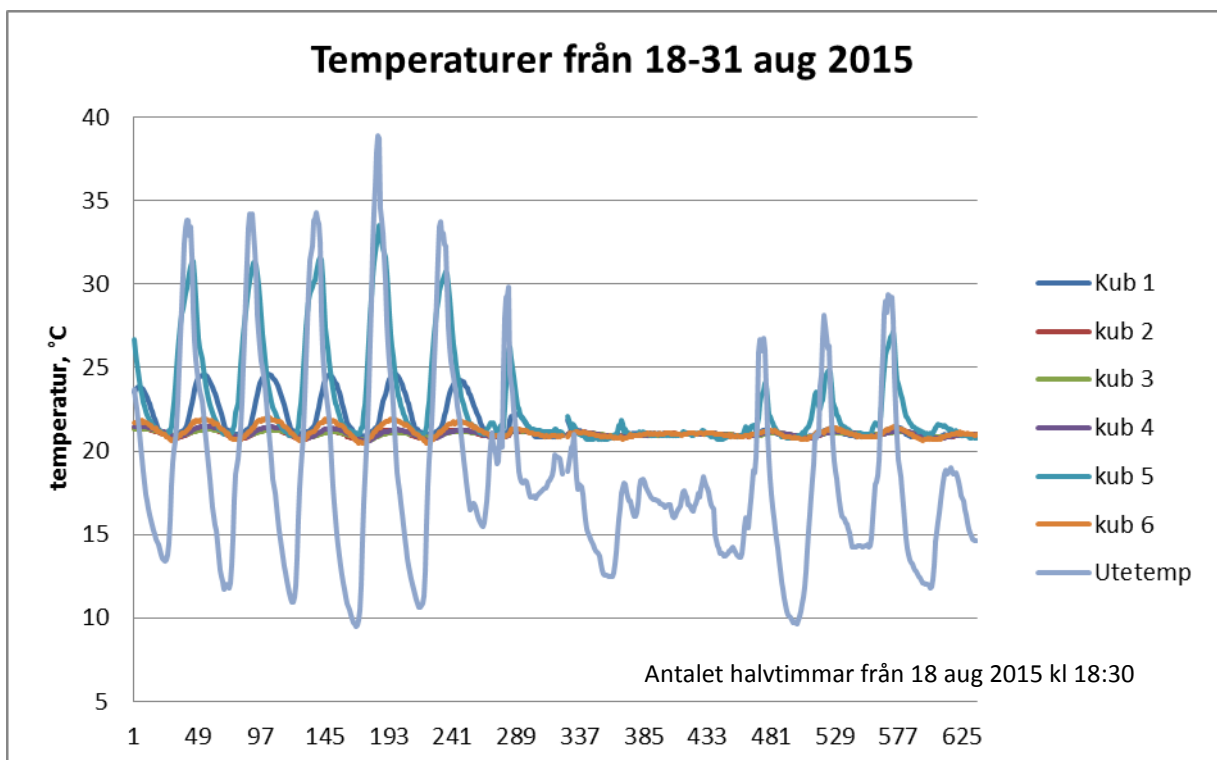
2.2 Innetemperaturens variation

Inomhustemperaturen är mätt kontinuerligt varje halvtimme under ett helt år med start första november 2014. Utomhustemperaturen är mätt på två ställen, i skuggan samt i direkt solljus. Vid jämförelse mellan inne och utetemperatur har vi använt antingen den ena eller andra utetemperaturen. Det framgår av diagramen vilken som visas. Figur 8 visar hur temperaturerna har varierat i de olika kuberna. Den turkosa linjen visar den lätta konstruktionen (kub 5). Det är tydligt att denna blir alldeles för varm sommar tid. Det syns också i figuren att den gröna linjen som visar kub 3 inte klarar att hålla värmen då det är kallt ute. Det var denna kuben som hade bortsmält isolering.

Figur 9 visar ett exempel på hur temperaturen ser ut i kuberna under augustimånad. Den lätta kuben (kub 5) följer utetemperaturen mycket väl då temperaturen stiger över 20 °C. Kub 1, den med invändig isolering har också en tendens att få övertemperaturer medans temperaturen i övriga kuber ligger mycket stabilt trots att utetemperaturen stiger upp mot 35 °C dagtid.



Figur 8. Innetemperaturen i samtliga kuber under ett helt år med start 1 nov 2014. Utetemperaturen visar skuggade värden.



Figur 9. Innetemperaturen i samtliga kuber under två veckor i augusti. Utetemperaturen visar det solbelysta värdet.

Uppvärmningssystemet i kuberna är satt till 21 °C. Tabell 5 visar hur medeltemperaturen i de olika kuberna varit samt standardavvikelsen.

Tabell 5. Medelvärde och standardavvikelse för kubernas innetemperatur.

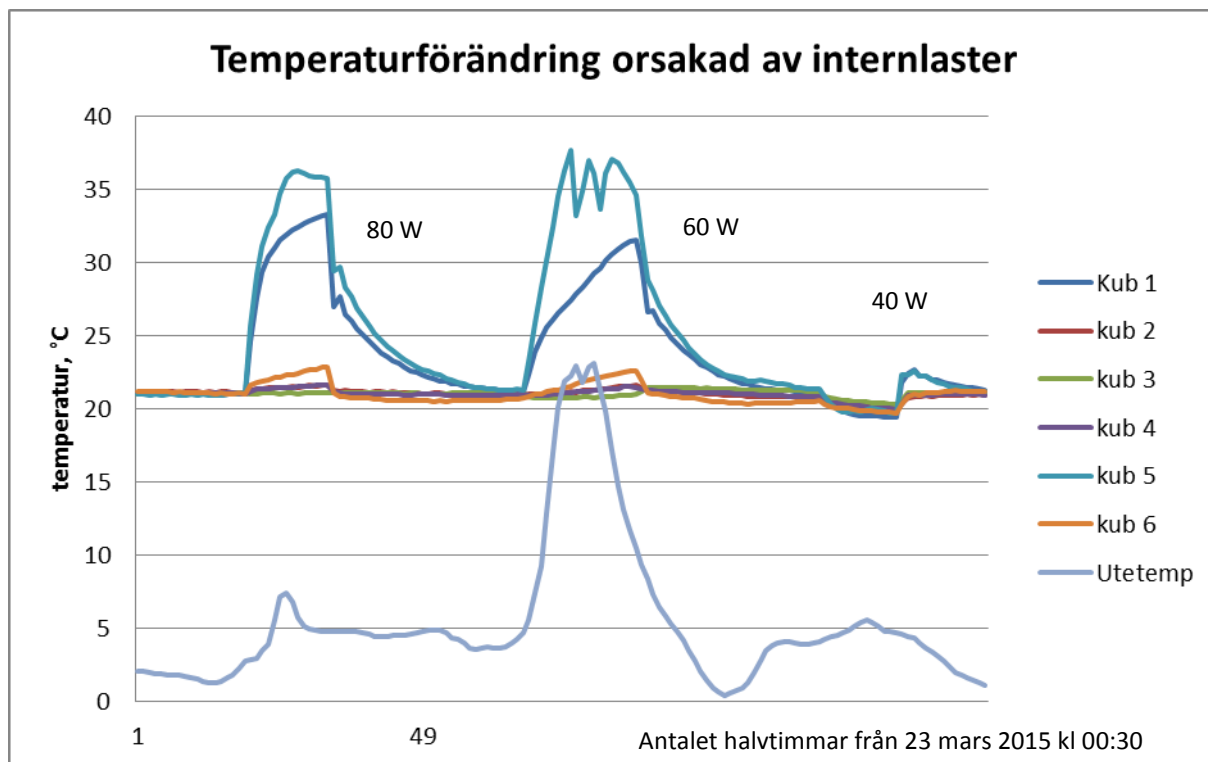
Kub	medeltemperatur (°C)	standardavvikelse (°C)
1. isolering/ std.btg.	21,1	1,3
2. std.btg./isolering	21,0	0,3
3. tung ballast /isolering	20,5*	1,1*
4. PCM-spackel/ std.btg / isolering	21,0	0,3
5. isolering	21,3	1,9
6. std.btg /isolering	21,0	0,4

* Isoleringen i denna kub har inte varit intakt.

2.2.1 Internlasters inverkan på innetemperaturen

Hur påverkas innetemperaturen i de olika kuberna av interlaster? För att svara denna fråga utfördes tre tester under mars-månad, efter det att kub 3 blivit åtgärdad. Ordinarie värmesystem i kuberna användes för att simulera olika internlaster. Under valda tider på dygnet låstes värmeförseln i kuberna till 80, 60 och 40 W för att reprecenera solstrålning och aktiviteter i byggnader. Hur styrningen av värmeförseln har gått till redovisas i bilaga 1. Figur 10 visar hur innetemperaturerna påverkas av de olika internlasterna. Internlasterna har varit aktiva i 7, 9 och 6 timmar. Då lasten var 60W inträffade samtidigt solstrålning vilket resulterade i en lika kraftig temperaturökning som då 60 W användes. Den lilla internlasten på 40 W visade sig vara för låg för att orsaka en temperaturhöjning. Istället sjönk temperaturen upp till nästan 2 °C i kub 1 och 5. När systemet sedan själv får reglera upp värme till ursprunglig nivå sker en liten översläng som syns i figur 10.

Det är tydligt att det bara är kuberna 1 och 5 (de med invändig isolering) som påverkas av internlasterna. Kub 6 som bara har hälften så tjockt betonglager som de övriga visar också en tendens till att påverkas av lasterna. Den kub som innehåller PCM-spackel (kub 4) beter sig lika dant som den utan (kub 2).

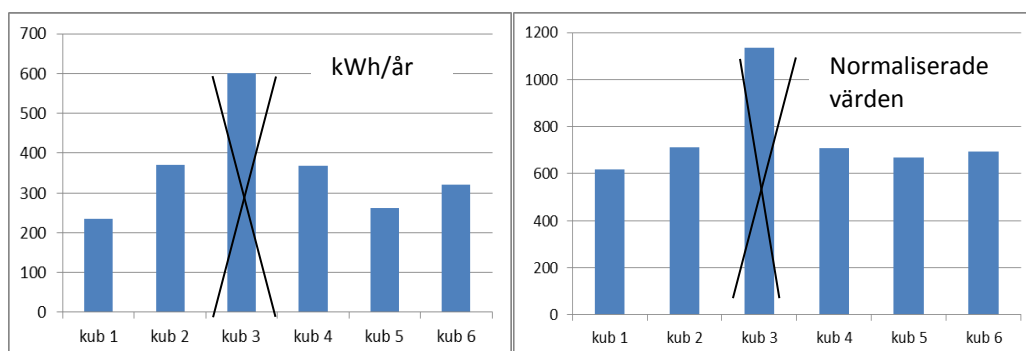


Figur 10. Temperaturförändring i kuberna orsakad av internlaster, 80 W, 60 W och 40 W under 7, 9 och 6 timmar. Utetemperaturen visar det solbelysta värdet.

2.3 Energianvändning

Kubernas totala energianvändning under ett helt år redovisas i figur 11. Eftersom dess U-medelvärden är olika så har värdena normaliserats. Detta har gjorts genom att energianvändningen dividerats med dess U-medelvärde. Observera att värdet för kub 3 inte är riktigt då dess isolering inte varit intakt. Lägst energianvändning erhålls i kub 1 (betong med invändig isolering) tätt följt av kub 5 (enbart isolering). Kuberna 2, 4 och 6 ligger mycket jämt. Det går inte att påvisa någon större skillnad mellan kuberna 2 och 4 vars enda skillnad är att kub 4 har ett 2 cm tjockt invändigt spackel innehållande PCM kulor.

Skillnaden i energianvändning mellan den lätta kuben (kub 5) och de med betong varierar mellan 4-7%.

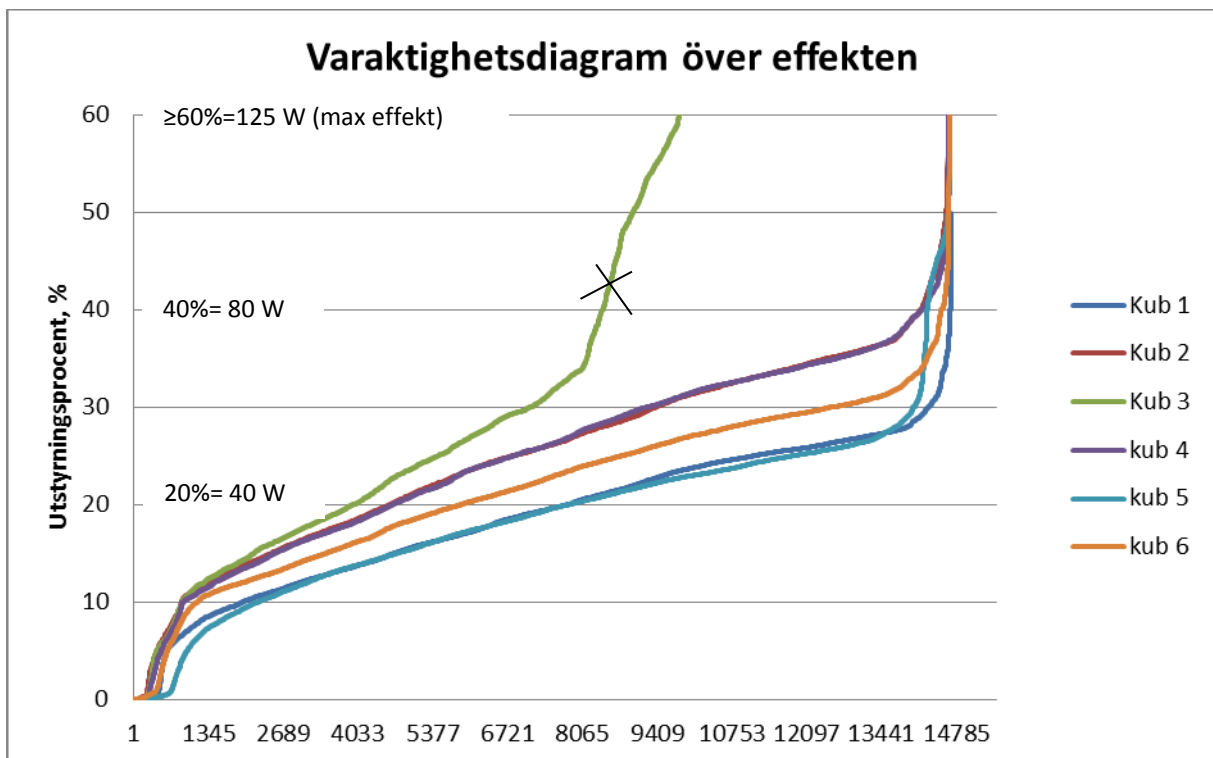


Figur 11. Kubernas årliga energianvändning. Värdet för kub 3 är överkryssat eftersom isoleringen inte varit intakt.

2.4 Effekten som värmesystemet behöver använda

Att studera hur höga effekter som värmesystemet använder är ett annat sätt att analysera kubernas termiska egenskaper. Figur 12 nedan visar ett varaktighetsdiagram över hur utstyringsprocenten ser ut. Utstyringsprocenten hänger ihop med effekten, ju högre %-sats desto högre effekt. 60% motsvarar max installerad effekt (125 W) i kuberna. Lägst effekter använder kub 1 (betong med invändig isolering), där värdet aldrig överstiger 40% vilket motsvarar 80W. Alla andra kuber använder maxeffekten vid åtminstone ett par tillfällen. Kub 3 som inte haft fullgod isolering använder max effekt mer än en tredjedel av året. Hur utstyringsprocenten är kopplad till effekten redovisas i bilaga 1.

Använd effekt hänger samman med kubernas U-värden. Ju lägre U-värde desto lägre effekter behövs.



Figur 12 Varaktighetsdiagram över värmesystemets utstyringsprocent. Kurvan för kub 3 är överkryssade eftersom isoleringen inte varit intakt.

3 Sammanfattning och resultat

Följande slutsatser har dragits av mätresultaten:

- Innetemperaturen är betydligt jämnare ju längre tidskonstant kuberna har, dvs mer termisk massa ger stabilare innetemperatur.
- Det går inte att påvisa någon effekt av PCM spacklet vare sig på komfort, energi eller effektanvändning.
- Lägst energianvändning och även lägst utnyttjad effekt har kuben med utvändig betong (kub 1). Näst lägst energianvändning har den lätta konstruktionen som helt saknar betong (kub 5). Dessa båda konstruktioner har dock en betydligt högre temperaturvariation med fler övertemperaturer än motsvarande kuber med invändig betong.

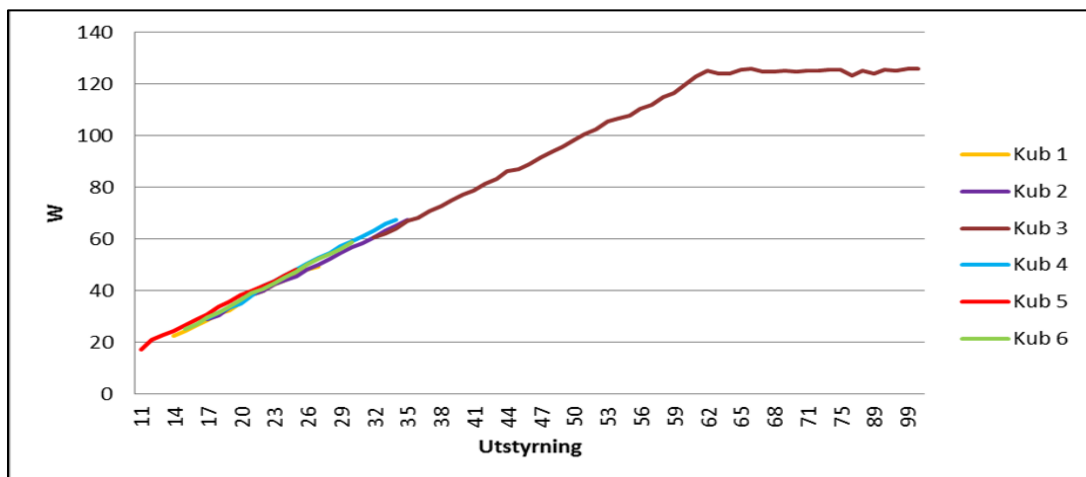
I byggnadssammanhang brukar man nämna att tunga konstruktioner är bättre på att utnyttja gratisvärme i form av aktiviteter och solstrålning än vad lätta konstruktioner är där det istället är större risk för övertemperaturer. Det här projektet kan inte visa på några sådana möjligheter eftersom kuberna helt har saknat fönster för solinstrålning. Solvärmens har istället endast kunnat absorberas i de yttre materialskikten som i fem fall har bestått av cellplastisolering med mycket låg värmekapacitet. Endast en kub (kub 1) har haft utvändig betong och absorption av solvärme i det yttre skiktet kan vara en förklaring till att den kuben har lägst energianvändning.

4 Referenser

- [1] Energibesparing genom utnyttjande av tunga byggnaders termiska beteende baserat på nya material, konstruktioner och värmelagringssystem (2012). Av: Lars Wadsö, Jonathan Karlsson, Anders Rönneblad, Ronny Andersson, Eva-Lotta Kurkinen, Mats Emborg, Mats Öberg, Ulf Ohlsson
- [2] En studie av möjligheten att öka den värmelagrande förmågan hos betong (2011). Av Gabriel Johansson och Alexander Herlin. TVBM-5080 Lund 2011.
- [3] Projektioner av VVS- installationer (2010). Av: Dalhlbom, M & Warfvinge, C. Lund: Studentlitter AB.
- [4] Mätning av energi- och effektbehov i minihus (2013). Av Alexander Herlin, *CBI*nytt 1-2013

Bilaga 1 Samband mellan utstyringsprocent och effekt.

För att simulera en internlast sattes utstyringsprocenten till samtliga kubers värmesystem på ett konstant värde. Den 23:e mars sätts utstyrningen till 40 % under 7 timmar. Proceduren upprepades den 24 och 25:e mars med 30% respektive 20% utstyringsprocent under 10 respektive 6 timmar. Procentsattserna 40, 30 och 20 motsvarar en internlast på 80, 60 och 40 W, se figur 1.1 som visar vilken effekt respektive utstyringsprocent motsvarar.



Figur 1.1

Sambandet mellan värmesystemets utstyringsprocent (x-axel) och erhållen effekt (y-axel).

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

SP-koncernens vision är att vara en internationellt ledande innovationspartner. Våra 1 400 medarbetare, varav över hälften akademiker och cirka 380 med forskarutbildning, utgör en betydande kunskapsresurs. Vi utför årligen uppdrag åt fler än 10 000 kunder för att öka deras konkurrenskraft och bidra till hållbar utveckling. Uppdragen omfattar såväl tvärtekniska forsknings- och innovationsprojekt som marknadsnära insatser inom provning och certifiering. Våra sex affärsområden (IKT, Risk och Säkerhet, Energi, Transport, Samhällsbyggnad och Life Science) svarar mot samhällets och näringslivets behov och knyter samman koncernens tekniska enheter och dotterbolag. SP-koncernen omsätter ca 1,5 miljarder kronor och ägs av svenska staten via RISE Research Institutes of Sweden AB.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

SP Rapport 2015:79

ISBN 978-91-88001-99-3

ISSN 0284-5172

PART OF **RISE**