

# **Energibesparing genom utnyttjande av tunga byggnaders termiska beteende baserat på nya material, konstruktioner och värmelagringsystem**

Slutrapport projekt inom Cerbof 2:2

14 november 2012

Projektet var ett samarbete mellan Lunds Tekniska Högskola, Luleå Tekniska Universitet, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, NCC och Cementa AB som bedrivits under åren 2009-2012 med finansiering från Cerbof, Interreg IV samt de deltagande företagen.

Projektets resultat ligger på hemsidan

[http://www.byggnadsmaterial.lth.se/forskning/cerbof\\_projekt/](http://www.byggnadsmaterial.lth.se/forskning/cerbof_projekt/)

Följande personer har arbetat aktivt med projektet:

Ronny Andersson, Cementa AB och Konstruktionsteknik LTH

Victoria Bonath, Byggkonstruktion och -produktion LTU

Mats Emborg, Byggkonstruktion och -produktion LTU

Jonathan Karlsson, Byggnadsmaterial LTH

Eva-Lotta Kurkinen, SP Borås

Ulf Ohlsson, Byggkonstruktion och -produktion LTU

Anders Rönneblad, Cementa AB

Lars Wadsö, Byggnadsmaterial LTH

Mats Öberg, NCC Construction AB och Byggnadsmaterial LTH

Lars-Olof Nilsson, Byggnadsmaterial LTH

Jonathan Karlsson, Byggnadsmaterial LTH

Anders Sjöberg, Byggnadsmaterial LTH

## **Sammanfattning**

Inom vårt projekt har vi försökt klargöra betydelsen av värmelagring i tunga byggnadsdelar vid både ombyggnad och nybyggnad idag. Eftersom modernt byggande i dessa aspekter mycket komplext och innefattar bl. a. pågående energieffektivisering, klimatförändring samt övergången till smarta energinät som en del i hållbara städer. Några av de faktorer som man måste ta hänsyn till när man diskuterar värmelagring i tunga byggnader är följande:

- Den traditionella passiva värmelagringen kompletteras ibland med aktiv värmelagring som innebär att stommen utnyttjas som en del av värmesystemet.
- Byggandet idag har andra krav på sig än tidigare och måste idag ses som en del i ett större energisystem. Pågående energieffektivisering, men framförallt pågående klimatförändring

samt utvecklingen av hållbara energisystem och städer, bl.a. med hjälp av smarta energinät gör att värmetröghet har fått allt större betydelse för det moderna byggandet.

- Smarta energinät inkluderar en helhetssyn kring ett system för uppvärmning, kylning och elförbrukning i hållbara städer. Exempel på pågående stadsdelar i våra tre största städer är Kvillebäcken, Hyllie samt Norra Djurgårdsstaden. Byggnader med hög värmetröghet minskar effekttoppar och förflyttar effektuttagen i tiden vilket framöver kan optimeras som en viktig del i smarta energinät.
- Att inte slösa bränsle i onödan genom att gasa och bromsa mer än nödvändigt kallas för eco-driving i bilsammanhang. En sparsam körteknik kan ge 10–20% lägre bränsleförbrukning än det körsätt som de flesta använder. Motsvarande tankesätt bör vara tillämplig för byggnader. En konsekvens av detta är att låta inomhustemperaturen styras av innetemperaturgivare, vilket flera företag redan har etablerade kommersiella system för.
- En genomgång av dagens kommersiella styr- och reglersystem visar att det finns både s.k. fasta paketlösningar och programmerbara s.k. referenskoncept. Flertalet av dessa system visar en tydlig nedgång i energianvändningen för uppvärmning samt en kraftigt minskad toppeffekt, vilket definitivt gör dessa system intressanta att använda vare sig det gäller nyproduktion eller ombyggnad.
- Även i befintliga byggnader med hög inomhuskomfort och styrning mot konstant inomhustemperatur varierar rumstemperaturerna över dygnet förvånansvärt mycket, tillräckligt mycket för att egenskapen värmetröghet har betydelse.
- Energieffektivare byggnader och pågående klimatförändring medför ökat antal timmar med höga inomhustemperaturer. Byggnadens värmetröghet har stor betydelse för när kylning måste installeras i framtiden.
- Om den installerade effekten för uppvärmning och kyla begränsas blir betydelsen av stommens värmetröghet betydligt större.

Det är helt klart att byggandet idag styrs av helt andra krav än bara för 10 år sedan och att värmetröghet är en egenskap som kommit allt mer i fokus. Samtidigt är de ovan beskrivna slutsatserna ännu inte alltid kvantifierade varför deras optimala utnyttjande – och betydelse – kopplat till bättre driftsekonomi, mindre användningen av fossila bränslen, ökad inomhuskomfort samt ökad robusthet för ändrat klimat, inte är känd.

## **Syftet**

Projektet syftade till att utveckla kunskap så att man kan tillgodogöra sig de möjligheter som värmelagring i tunga stommar och tunga material i klimatskalet ger beträffande energibesparing, minskad miljöpåverkan och termiskt inomhusklimat genom nya konstruktions- och materialtekniska lösningar

## **Mål**

Projektet hade följande mål:

- Kvantifiera effekterna av en tung stomme och tunga material i klimatskalet.
- Undersöka hur betydelsen av befintliga och nya byggnaders temperaturminne påverkar deras energi- och inomhusklimat kopplat till klimatförändring samt känslighet för köldbryggor och täthet.
- Genom optimering kunna ytterligare minska byggnadens energiprestanda och klimatpåverkan med oförändrade inomhusklimatkrav genom att utifrån beräkningar av temperaturminnen kunna utveckla nya material och konstruktioner samt robusta värmelagringssystem.
- Öka medvetenheten om värmelagringen och inslagen om detta i undervisningen på högskolorna.

## Måluppfyllelse

Siffrorna hänvisar till rapporter och artiklar i resultatredovisningen i slutat av denna slutrapport.

Mål: Kvantifiera effekterna av en tung stomme och tunga material i klimatskalet.

Projektresultat: Vi har tagit fram modeller med vars hjälp effekterna av en tung stomme och tunga material i klimatskalet kan kvantifieras ([7](#), [8](#), [9](#) och [16](#)).

Mål: Undersöka hur betydelsen av befintliga och nya byggnaders temperaturminne påverkar deras energi- och inomhusklimat kopplat till klimatförändring samt känslighet för köldbryggor och täthet.

Projektresultat: Genomfört i olika delstudier (temperaturminne: [7](#) och [24](#); klimatförändring: [17](#); köldbryggor och täthet: [24](#)).

Mål: Genom optimering kunna ytterligare minska byggnadens energiprestanda och klimatpåverkan med oförändrade inomhusklimatkrav genom att utifrån beräkningar av temperaturminnen kunna utveckla nya material och konstruktioner samt robusta värmelagringssystem.

Projektresultat: Frågan är lyft från den ursprungliga utgångspunkten där vi enbart diskuterade passiv värmelagring (i samspel med isolering, tätning och värmeåtervinning för att minska värmeanvändningen), till att även se möjligheterna med aktiv värmelagring och/eller med en optimerad styr- och reglerstrategi. Det vill säga, vi beskriver huset som ett värmedynamiskt system med en massa möjligheter att utnyttja tillgänglig gratisenergi under förutsättning att man gör detta på ett aktivt sätt. Vi har i ett flertal publikationer ([1](#), [2](#), [4](#), [5](#) och [23](#)) beskrivit byggnader som värmedynamiska system med till stor del ännu outnyttjade möjligheter att utnyttja både passiv och aktiv värmelagring, t ex för att utnyttja tillgänglig gratis-energi ([8](#) och [9](#)) eller för att dämpa förbrukningstoppar i fjärrvärmnät ([8](#), [9](#) och [23](#)). Vi har även beskrivit nya verktyg för att diskutera ([8](#) och [9](#)) och optimera ([11](#) och [16](#)) utnyttjandet av värmetröghet, samt diskuterat hur styr- och regler-system som tar hänsyn till värmetröghet ([4](#), [5](#), [20](#)) (vilken kommenteras i [14](#)) och [23](#)).

Mål: Öka medvetenheten om värmelagringen och inslagen om detta i undervisningen på högskolorna.

Projektet har ökat medvetenheten om värmelagringens betydelse bland oss och våra kollegor på LTH och LTU, bl a genom det seminarium som hölls i Lund i december 2011 ([18](#)).

Vid LTH har vi lagt in diskussioner om värmetröghet i våra egna kurser, och Lars Wadsö har erbjudit sig att gäst-föreläsa på olika kurser på LTH för att visa på hur värmetröghet i framtiden kan komplettera värmeisolering, täthet och värmeåtervinning (de idag använda metoderna för att sänka värmeanvändningen). Visst intresse har visats från Miljö- och Energisystem, men några gäst-föreläsningar har inte skett ännu.

Vid LTU har Victoria Bonath och Ulf Ohlsson i januari 2012 hållit ett föredrag om värmelagring i byggnader för lärare och doktorander i forskarämnet konstruktionsteknik. I föredraget presenterades resultat från CERBOF-projektet. I grundutbildningen vid LTU kommer ett avsnitt om materialens värmelagring och hur den kan utnyttjas att läggas in i kursen byggmaterial K0002b i åk 2, start sept 2013. Examinatorer i kurserna byggnadsfysik W0008B åk 3, start oktober 2013 och byggt teknik W7007B åk 3-4, start jan 2013 och Installationsteknik P7009B, start jan 2013, kommer att erbjudas att ta del av material från projektet och erbjudas gästföreläsningar för att visa på hur värmelagring i stommaterial kan utnyttjas för att förbättra byggnaders energiprestanda.

### **Genomförande**

Projektet har genomförts som ett samarbetsprojekt mellan LTH, LTU, SP och Cementa. Frågor rörande material och konceptuella modeller har hanterats av LTH; simuleringsstudier har utförts av LTU; dynamiska nätverksmodeller har utvecklats vid SP; frågor kring styr- och reglersystem har hanterats av Cementa.

Projektet har haft telefon-konferenser ca tre gånger per år. Vid dessa har protokoll förts så att man vid nästa möte har kunnat följa upp de olika delprojekten.

Från projektbeskrivningen utkristalliserades följande frågeställningar för projektet:

1. Vilka kvantitativa samband finns mellan energiförbrukning, inomhusklimat, energisystem samt klimatpåverkan för uppvärmning och kylning i olika typer av befintliga byggnader?
2. Hur stora potentialer finns i de olika fallen med optimalt utnyttjande av ingående stommaterials termiska egenskaper för en normalt utförd stomme?
3. Hur skulle ett optimalt temperaturminne utifrån energieffektivitet för olika typbyggnader och konstruktionsdelar vara med uppfyllande av det termiska inomhusklimatet och ett normalt energisystem?
4. Hur, och inom vilka gränser, kan man förändra temperaturminnena genom geometriska, ytmässiga, konstruktionstekniska samt materialtekniska lösningar var för sig?
5. Hur påverkas de olika alternativen ovan av köldbryggor, varierande lufttäthet samt olika energisystem?
6. Vilka kombinationer av parametrar är tekniskt och ekonomiskt genomförbara för att komma nära de olika optimala tekniska temperaturminnena från?
7. Vilka av de förutspådda klimatförändringarna kan hanteras med en tung stomme och ett tungt klimatskal?

Dessa frågeställningar ledde till nedanstående genomförandeplan (kommentarer till verkligt genomförande ges i kursiv text där siffror hänvisar till artiklar och rapporter i resultatredovisningen sist i denna slutrapport):

- A. Kvantifiera samband och ta fram befintliga normala konstruktioner för befintliga flerbostadshus. Litteraturstudie samt validerande workshop. *Inledande arbete med MKB gav olika typer av befintliga konstruktioner; publicerade mätningar gjorda på byggnader anslutna till Göteborgs Energi gav tidskonstanter som har använts i projektet. Resultaten från denna del användes i det fortsatta arbetet. En studie om värmelagringens betydelse vid energieffektivisering av befintliga flerbostadshus utförd av SP och Bengt Dahlgren AB utfördes inom detta projekt och redovisas i [13](#) och denna rapport kommenteras i [14](#).*
- B. Datorsimuleringar med VIP Energy samt beräkning av temperaturminne med Dynamiska Termiska Nätverk för befintliga byggnader. *Resultat redovisat i [7](#), [11](#) och [16](#).*
- C. Beräkning av optimalt temperaturminne för flerbostadshus utifrån energieffektivitet under beaktande av det termiska inomhusklimatet och värmesystem. Identifikation och kvantifiering av olika stomdelars/konstruktionsdelars påverkan på temperaturminnet med programmet Dynamiska Termiska Nätverk. *Resultat redovisat i [16](#) och [24](#).*
- D. Materialtekniska parametrars betydelse samt möjlighet att skraddarsy dem. Framtagning av provningsprogram. Litteraturstudie samt workshop. *Redovisat i [7](#), [10](#), [12](#), [16](#) och [18](#).*
- E. Materialtekniska undersökningar av de identifierade materialtekniska möjligheterna. *Redovisat i [10](#), [12](#) och [16](#).*
- F. Definiera beräkningsmatris för temperaturminnets variation vid olika geometriska, ytmässiga, konstruktionstekniska samt materialtekniska lösningar. Workshop för att definiera praktisk genomförbara alternativ. *Redovisat i [7](#), [16](#) och [24](#).*
- G. Optimering av temperaturminnet. Beräkning av hur temperaturminnet förändras enligt (F). *Redovisat i [16](#).*
- H. Känslighetsanalys av utvalda konstruktioner för variationer i köldbryggor samt täthet. Inverkan av klimatpåverkan. Definiera matris samt genomför beräkningar. *Redovisat i [24](#)*
- I. Litteraturstudier och pilotstudier av robusta värmelagringsystem. *Redovisat i [4](#), [5](#), [14](#), [20](#) och [23](#).*
- J. Högskolnätverk. *Se måluppfyllelse ovan.*
- K. Dokumentation, publicering och övrig implementering görs fortlöpande enligt implementeringsplan. *Se resultatredovisning sist i denna slutrapport.*

## **Inledning**

Med *passiv värmelagring* avses att byggnadsdelar med hög värmekapacitet kan ta upp och avge värme när temperaturen i omgivningen ändras. Det är en egenskap som alltid finns även om inga direkta åtgärder är gjorda för att utnyttja den fullt ut. *Aktiv värmelagring* är när stommen utnyttjas och blir en del av värmesystemet, exempelvis genom att låta tilluft passera genom hålrummen i bjälklagselement eller gjuta in värmesystemets rör i konstruktionen. Med dessa system ökar fördelarna med värmelagring, ibland nämns energibesparingar på upp till 20%.

Vid jämförelser mellan en tung och lätt byggnad brukar det rapporteras ca 4% energibesparing i genomsnitt, om övriga byggfysikaliska egenskaper förutom värmelagringskapaciteten är

identiska. Dessa siffror gäller för passiv lagring och då byggnaden värms/kyls proportionellt mot skillnaden mellan ute- och inne temperaturen. Dock bör man vara medveten om att hög värmetröghet ibland kan vara negativt, som i de fall då uppvärmning/kylning sker intermittent som i t ex fritidshus eller kyrkor. I takt med att vi bygger allt energieffektivare så brukar ovanstående skillnad i % kvarstå men den minskar dock i absoluta tal.

Ett sätt att kvantifiera värmetröghet är att beräkna eller mäta den så kallade tidskonstanten, vilken definieras som den tid det tar innan ett föremål (en byggnad i vårt fall) svalnat 63% av ett slutligt temperaturfall, dvs en slags reaktionstid på en plötslig temperaturförändring.

Smarta energinät omfattar produktion, distribution och användning av energi, vilka hanterar anslutna brukare, ibland begränsade till en lokal stadsdel, och deras behov att få tillgång till en hållbar och säker energileverans. Det omfattar en tvåvägs kommunikation från produktionsanläggningarna fram till anslutna enheter för att möjliggöra energihushållning. Smarta nät har sitt ursprung från elnäten men idag omfattas även andra typer av nät såsom fjärrvärmenät.

Ovanstående energibesparing är allmänt accepterad, däremot har kunskapen bara sparsamt utvecklats sedan 1970-talet varför giltigheten i olika specialfall numera diskuteras. Inom vårt projekt har vi försökt klargöra betydelsen av värmelagring vid både ombyggnad och nybyggnad. Resultaten visar att värmelagringen påverkar energianvändning i form av köpt energi, men även lägre effektoppar, bättre inneklimat och använd primärenergi. Detta är aspekter som vi ser kommer att få ökande betydelse i framtidens byggnader och samhälle. Samtidigt är detta ett mycket komplext ämnesområde och vi sammanfattar arbetet i ett antal slutsatser.

## **1. Modernt byggande och hållbara städer måste ses i ett helhetsperspektiv**

Byggandet idag har andra krav på sig än tidigare och måste idag ses som en del i ett större energisystem. Exempelvis har följande aspekter fått stor betydelse för dagens, och framtidens, byggnader;

- **Energieffektivisering.** Dagens byggnader har en stadigt minskad energiåtgång. Detta innebär dock samtidigt nya problem. Vi vet t.ex. att energieffektiviseringen till stor del bygger på en beständig och hög lufttäthet under hela sin användning. Vi vet samtidigt att en ökad värmeisolering ändrar fuktillståndet i klimatskalet vilket gör att beprövade konstruktioner kan bli riskkonstruktioner. Och vi får inte upprepa tidigare misstag och låta en energieffektivisering vara överordnat sämre inomhuskomfort. Specifikt har betydligt högre inomhustemperaturer lyfts upp internationellt som ett problem vid energieffektivt byggande.
- **Smarta energinät både på stadsdelnivå som på nationell nivå.**, Avser en helhetssyn för fjärrvärme, kyla samt el med hantering av systemets effektoppar liksom miljö- (bla CO<sub>2</sub>) och ekonomipåverkan vid val av energislag.
- **Klimatförändring** som ger högre inomhustemperaturer och därmed ytterligare ökar behovet av kylning.

## **2. Egenskapen ”värmetröghet” får allt större betydelse för det moderna byggandet**

De allra flesta byggnader använder mer energi än det var tänkt från början. Det beror generellt på att många byggfysikaliska egenskaper överskattas och det samma gäller också för byggnaders sårbarhet för fel i produktionsfasen. Det har dock visat sig att egenskapen ”värmetröghet” är en underskattad egenskap. Göteborg Energi har på byggnader, där värmeförseln temporärt stängts av, mätt temperatursänkingshastigheten och då konstaterat att husen i princip alltid är trögare än man först beräknade. Dock utnyttjas värmetrögheten ofta dåligt i många styrstrategier. Vårt arbete har visat att värmetrögheten kan påverka flera viktiga egenskaper för ett modernt byggande såsom inneklimatet, energianvändningen och effektopparna, samt vara en viktig komponent i framtidens smarta energinät.

## **3. Stor potential för styr- och reglersystem för ”eco-driving” av byggnader**

De flesta styr- och reglersystem som används i dag är i mångt och mycket uppbyggda för att ögonblickligen kompensera för minsta lilla avvikelse. Transmissions- och ventilationsförlusterna är direkt proportionella mot utetemperaturen, vilket har styrt ingenjörer i VVS-branschen att utveckla styrsystem som bygger på detta. Resultatet är system som söker en konstant innetemperatur baserad på utetemperaturen. Byggnadernas värmetröghet gör dock att värme- och/eller kylsystemen ofta ligger ur fas. Inställning med hänsyn till byggnadens dynamiska beteende sker endast hjälpligt via så kallade värmeregleringskurvor, men detta sker oftast empiriskt och sällan optimalt. Många befintliga styr- och reglersystem är dessutom komplicerade vilket kan leda till att de motverkar de värmedynamiska förloppen. I värsta fall värms och kyles fastigheten samtidigt.

Att styra byggnaden dynamiskt kan jämföras med eco-driving i bilsammanhang: att inte slösa bränsle i onödan genom att gasa och bromsa mer än nödvändigt. Man undviker t.ex. onödigt snabb acceleration och gaspådrag för att behålla hastighet i uppförsbackar. En sparsam körteknik kan ge 10–20 % lägre bränsleförbrukning än det körsätt som de flesta använder. Slöseriet skulle bli ännu större om man alltid tryckte ned gaspedalen proportionellt mot vägbanans lutning, oavsett hur lång en uppförs- eller nedförsbacke är. Det vill säga att man struntar i vad hastighetsmätaren visar. Dessvärre är det precis så man oftast ”kör” en byggnad idag, med ett traditionellt styrsystem.



Figur 1. Förklaring till liknelsen med bilkörning, där en term för bilen har en motsvarighet i byggnaden.

I och med att kunskapen om byggnaders värmedynamik har mognat samt att priset på hårdvara till nya styrsystem har minskat har vi nyligen fått en möjlighet att på ett enkelt sätt styra våra hus i samspel med den värmedynamiska grundlagen och därigenom minska både effektoppar och energianvändning. Vid en genomgång av kommersiella produkter som utnyttjar byggnaders värmetröghet har vi funnit två typer av system;

- Paketerade lösningar med ett styr och reglersystem där värmedynamiska algoritmer är själva kärnan i produkten.
- Referenskoncept som bland annat levereras av Siemens och Schneider Electric.

Referenskoncept är betydligt mer anpassningsbara jämfört med paketlösningarna. Dessa system är alltså programmerbara vilket alltså skjuter över stora delar av ansvaret till de personer som anpassar systemet till en specifik byggnad. Hur väl den värmedynamiska egenskapen utnyttjas kan alltså skilja kraftigt från fall till fall. Om man gör rätt finns det mycket att tjäna, men om man gör fel kan i värsta fall huset både värmas och kylas samtidigt.

Trots att många av företagen inte lever upp till sin egen marknadsföring visar flera en tydlig nedgång i energianvändningen för uppvärmning samt en kraftigt minskad toppeffekt, vilket definitivt gör dessa system intressanta att använda vare sig det gäller nyproduktion eller ombyggnad, se [14](#) och [20](#) för mer information.

#### 4. Inomhuskomforten måste styras bättre framöver

Tidigare undersökningar i traditionella byggnader har påvisat att det finns en stor outnyttjad potential för värmelagring i det befintliga byggnadsbeståndet. En av de internationellt mest intressanta studierna har gjorts på byggnader anslutna till Göteborgs Energis fjärrvärmenät.



Man gjorde då bl.a. mätningar av innetemperaturen i ett antal befintliga byggnader av olika typer (trähus, stenhus, låga hus, höga hus) för att kunna bedöma möjligheten att använda dessa som energilagrar (se Olsson Ingvarsson och Werner. *“Building mass used as short term heat storage”* in Proceedings of The 11th International Symposium on District Heating and Cooling. Reykjavik, Iceland, 2008). Baserade på faktiska, och i artikeln redovisade mätdata, konstaterades det att:

- Många byggnader har hög värmetröghet. Stenbyggnader kan ha tidskonstanter på 350 h, men även träbyggnader har tidskonstanter på ca 100 h.
- De flesta byggnader har förhållandevis stora temperaturvariationer vid normal drift (positivt ur värmelagrings synpunkt), både över dygnet och mellan olika delar inom fastigheten. Orsakerna till detta torde vara att byggnaders termostatventiler inte fungerar idealiskt samt att styr- och regler systemens återkoppling till verklig innetemperatur normalt saknas.
- Potentialen för fjärrvärmeleverantören att utnyttja byggnader som energilagrar är mycket stor.

Intentionen om att kyl- och värmesystemet ska ge en konstant inomhustemperatur misslyckas i praktiken. Det är alltså en myt att värmesystem måste konstrueras för att hålla en konstant inomhustemperatur och därmed undvika komfortproblem och genom detta resonemang diskvalificera egenskapen värmetröghet av komfortskäl.

Ett alternativ är att låta inomhusklimatet styras dynamiskt, med hjälp av aktuella inomhustemperaturer. På så sätt får man automatiskt med byggnadens värmedynamik i styrningen. Det viktiga är att variationerna i inomhustemperatur sker under kontrollerade förhållanden. Detta bekräftas av fastighetsägare som vittnar om ett förbättrat inomhusklimat vid övergång från traditionell till dynamiskt kontrollerad styrstrategi. Med små tillåtna temperaturvariationer, såsom en halv grad, kommer man riktigt långt. Dessutom öppnas möjligheten att sänka medeltemperaturen någon grad, eftersom inomhusklimatet styrs under kontrollerade former. Det bör ses som naturligt att temperaturen varierar något i en byggnad. Vid övergång till en dynamisk styr- och reglerstrategi måste man beakta att människors upplevelser av inneklimat påverkas av många fler faktorer än den mätbara innetemperaturen. Därför måste även fel i klimatskalet åtgärdas, såsom kallras vid fönster.

Det finns samtidigt en stor risk för ökat kylbehov i framtiden beroende på klimatförändringarna. I en artikel i tidskriften Energi & Miljö förespar konsultföretaget WSP att kylbehovet kommer att öka med 50 procent till år 2050. I vårt projekt har vi studerat skillnaden mellan en tung och lätt stomme med hänsyn på övertemperaturer. De klimatscenarier vi har använt är hämtade från Rosby Centre vilket är SMHIs klimatmodelleringsenhet. Projektet har påvisat stora skillnader på tidpunkt för när kyla måste installeras i en lätt byggnad (tidigt) jämfört med en tung byggnad (senare) när det är samma krav på inomhusklimatet. Detta är en anledning till att nyproducerande byggnader i Danmark som har många övergradstimmar i normerna ”straffas” även om kyla inte installeras initialt. I byggnader med hög värmetrögheten kan alltså framtida installation av kyla undvikas eller åtminstone kan skjutas på framtiden.

I en delstudie inom vårt projekt användes ett simuleringsverktyg där innetemperaturen tilläts variera något genom att begränsa den installerade effekten. Detta gav betydligt större skillnader i energianvändning mellan tung och lätt stomme än om innetemperaturen var konstant. Att styra ett hus enbart med att begränsa den installerade effekten är förstås ett trubbigt verktyg, även om Boverket använder metoden för nyproducerade byggnader som värms med direktverkande el. Detta ska därför endast ses som en indikation på betydelsen av temperaturvariationerna.

## 5. Effektuttag är viktigare än energianvändning

Förutom att energianvändningen (dvs köpt energi, kWh/m<sup>2</sup> och år) kan minskas något genom utnyttjande av byggnaders värmetröghet kan effektuttaget (W/m<sup>2</sup>) påverkas i allra högsta grad eftersom värmetrögheten kan runda av effekttopparna samt ge en möjlighet att flytta effektuttagen i tiden. Man kan säga att ett värmetrögt hus ger tillåtelse för fastighetsägaren, eller för energileverantören, att ”sätta in” eller ”låna” värme eller kyla av stommen istället för att alltid leverera värme eller kyla ”just-in-time”. Detta är framförallt viktigt när energibehovet är som allra störst i andra delar av fastigheten eller i energinätet. Detta är en av grundbultarna i det som kallas för framtidens Smarta energinät.

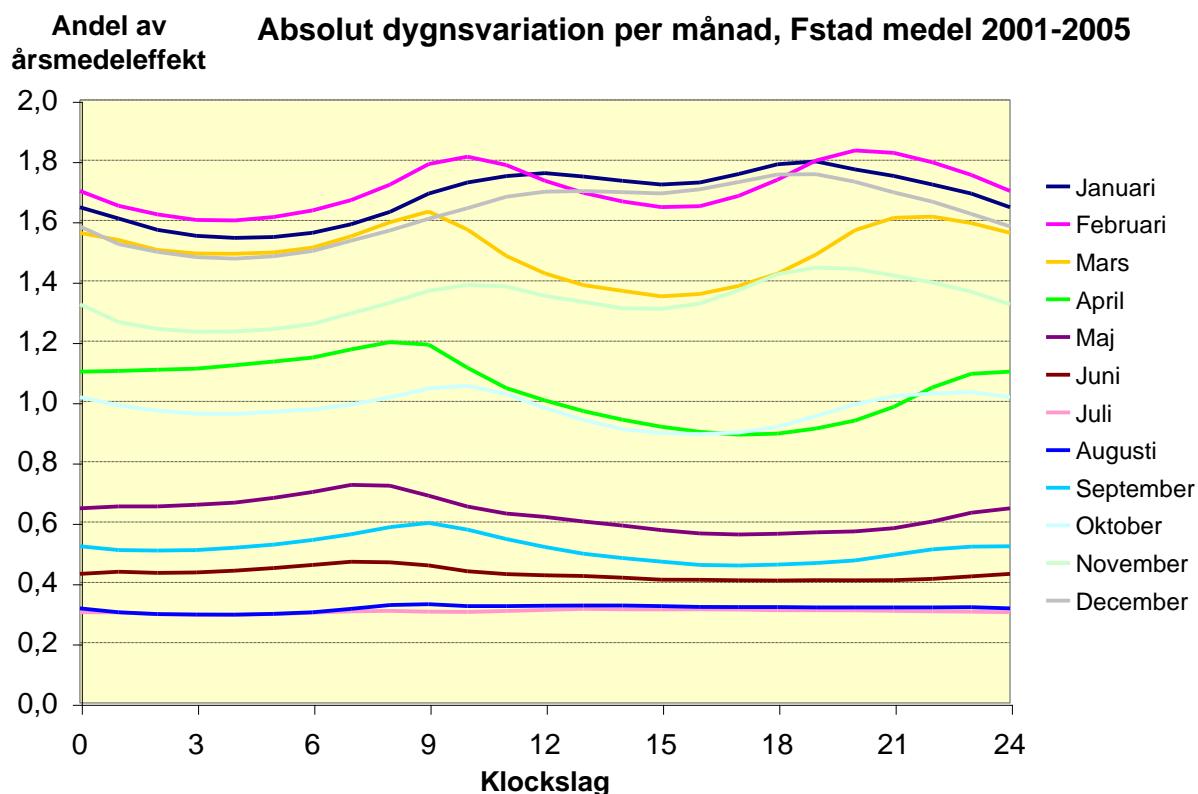
I ett större perspektiv ingår enskilda byggnader i energiförsörjningssystem av hela stadsdelar där energileverantören ofta växlar mellan produktion av fjärrvärme/kyla och el, beroende på aktuella effektuttag. I dessa energiförsörjningssystem finns därför ett stort behov av att kunna fördela effektuttaget över tid, timme för timme. Under vissa tider på dygnet vill man kunna ”låna” effekt från byggnadens uppvärmning/kylning och fördela detta till t.ex. uppvärmning av tappvatten och elanvändning. I nya stadsdelar planeras också en satsning på föresörjningssystem till elbilar och där uppkommer ett stort behov av att fördela energin optimalt så att man inte värmer byggnader och tappvarmvatten samtidigt som elbilarna laddas, särskilt inte under kalla perioder vintertid eller varma somrardagar, och under den tiden på dygnet då behovet av tappvarmvatten är som störst. Här kommer värmetrögheten att spela en stor roll i framtiden eftersom den skapar möjligheten att förskjuta effektuttag i tiden. Byggnadens värmetröghet är därför en viktig del utbyggnaden av det som brukar kallas för smarta energinät.

För att belysa betydelsen av energislag används olika elmixar som exempel. Beroende på vilken typ av el som används blir CO<sub>2</sub> utsläppen olika (källa: [www.energiradgivningen.se](http://www.energiradgivningen.se), Energi- & klimatrådgivningen):

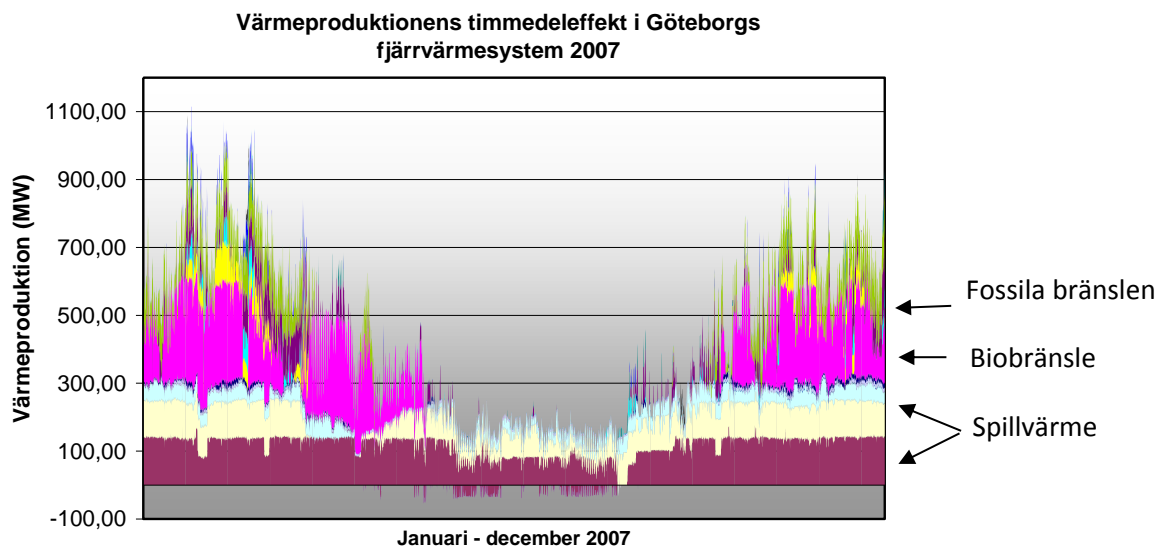
- Kraftleverantörernas elmix: 7,9 g CO<sub>2</sub>/kWh
- Nordisk elmix: 100 g CO<sub>2</sub>/kWh
- Marginalel: 1000 g CO<sub>2</sub>/kWh

Genom att uppvärmningen under köldknäppar till stor del består av marginalel finns det stora CO<sub>2</sub>-besparingar att göra genom att skjuta kunna justera effektuttagen i tiden. På så sätt har tunga konstruktioner en större potential att ge lägre CO<sub>2</sub> utsläpp än motsvarande lätta konstruktioner.

På ett liknande sätt som för ovanstående elmixar ser det också olika ut för hur fjärrvärmens är producerad. Ett exempel på detta har vi hämtat från Göteborg Energi, se figur 2 och 3.



Figur 2. Diagrammet visar på variationer i effektuttag över dygnet i Göteborgs fjärrvärmenät. Det finns två stycken effekttoppar per dygn, en på morgonen och en på kvällen. Dessa beror på ett ökat uttag av varmt tappvarmvatten. Skillnaderna mellan effektbottnarna och effekttopparna är ca 20%. Dessa skillnader i effektuttag vill energileverantörerna eliminera. I figuren syns att dygnsvariationerna är störst under mars och april, då skillnaden i utetemperatur mellan natt och dag är stora. Källa: Göteborg Energi.



*Figur 3. Variationer i värmebehovet under ett år i Göteborgs fjärrvärmesystem. Diagrammet visar genomsnittliga timvärden av effektuttaget. Inom ett par dygn kan värdena variera över 100 megawatt beroende på hur kallt det är ute och vilken tid på dygnet det är. Källa: Göteborg Energi.*

Det handlar både om kostnadsfördelar och miljömässiga fördelar, eftersom mängden fossila bränslen för hetvattenproduktion kan minska. Som det nu är tvingas man under värmebehovstopparna ofta använda rena hetvattenpannor, det vill säga sådana som inte samtidigt genererar elkraft.

En förutsättning för att effektuttagsbesparingar skall kunna göras är att det finns många byggnader att ansluta till systemet. Ett enskilt hus ger ingen lagringseffekt att tala om, men om tusentals fastigheter tillsammans ingår i ett energilager så kan den sammanlagda nyttan bli lika stor som av en gigantisk hetvattentank. Enligt Göteborg Energi är deras utvecklingsprojekt med att använda byggnader som energilager mycket lovande och de arbetar med att dämpa ut hela dygnsvariationen på sikt. I ett första steg provas teknik i Göteborgs nya stadsdel Kvillebäcken. Liknade idéer om Smarta energinät pågår för närvarande t.ex. i den nya stadsdelen Hyllie i Malmö, vilket är ett samarbete mellan Malmö stad, E.ON (se [14](#) och [23](#) för mera information) och VA SYD samt i stadsdelen Norra Djurgårdsstaden i Stockholm i ett samarbete med Fortum.

Det saknas det dock fortfarande en samsyn mellan energileverantörer och fastighetsbranschen. Medan energileverantörer talar om primärenergi och effektbegränsningar ( $W/m^2$ ) talar fastighetsbranschen ensidigt om energianvändning av köpt energi ( $kWh/m^2$ ) och inomhusmiljö. Denna barriär är inte fysisk utan enbart mental. Därför behövs det incitament för fastighetsägare att även tänka på primärenergi och effektbegränsningar. Eftersom begreppet ”köpt energi” inte speglar utsläppen av växthusgaser diskuteras nu begreppet ”primärenergi” alltmer. Även marginalanvändning av fossila bränslen i energiproduktionen har stor betydelse, därför måste vi även radera effekttopparna i våra nät. Detta ingår som en av grundbultarna inom det som kallas för smarta energinät (”smart energy grids”). Begreppet ”köpt energi” kommer att leva kvar även

i framtiden, som en ”skamgräns” för byggnader, dock bör ”primärenergi” och ”begränsat effektuttag” bli minst lika betydelsefulla även inom fastighetsbranschen.

## 6. Det är möjligt att förbättra de värmetekniska egenskaperna hos betong

Betong är det termiskt tunga material vi huvudsakligen tänker oss i byggnader, men även t ex tegel och sten har hög värmekapacitet. Vi har i projektet visat att det finns stora möjligheter att förbättra betongs termiska egenskaper genom att använda fasändringsmaterial (PCM) och ballast med hög värmekapacitet och eller hög värmeledningsförmåga. Dock blir sådana produkter betydligt dyrare än standardbetong, så det är troligt att normal betong även i framtiden kommer att vara det material som ger termiskt tunga byggnader deras ”tyngd”.

Det är viktigt att tunga material i en byggnad exponeras så att värmeutbyte kan ske. De bör placeras så att de har kontakt med inomhusluften om de skall dämpa temperaturvariationer och direkt utsätts för solstrålning om de skall lagra gratisvärme från solen. De bör därför inte täckas av tapeter, mattor etc.

För att få en känsla för hur tunga byggnadsmaterial inverkar på värmeanvändning, effektuttag och komfort kan man till viss del använda mycket enkla modeller. Sådana modeller kan vara mycket användbara i t ex konceptuella diskussioner kring energisystem i byggnader.

## Konklusion

Det är viktigt att utnyttja den termiska massan på rätt sätt. Det är inte säkert att energiförbrukningen minskar för att man har en tung stomme, men möjligheterna för att åstadkomma en lägre energiförbrukning, lägre effektbehov samt bättre komfort är större då man har en tung stomme att använda.

## Resultatredovisning

Nedanstående skrifter utgör resultatredovisningen av projektet. När inte annat är noterat är skrifterna helt tillkomna inom Cerbof-projektet. Samtliga dessa rapporter finns på [http://www.byggnadsmaterial.lth.se/forskning/cerbof\\_projekt/](http://www.byggnadsmaterial.lth.se/forskning/cerbof_projekt/).

## Populärvetenskapliga

	Namn	Status		
		planerad	pågående	slutförd
1	<a href="#"><u>Nyttan med värmetröga konstruktioner</u></a> Av: Jonathan Karlsson, Eva-Lotta Kurkinen, Anders Rönneblad, Lars Wadsö. Samhällsbyggaren 5 2010			Sep 2010

2	<a href="#"><u>Betydelsen av värmetröga konstruktioner</u></a> Av: Jonathan Karlsson Bygg & Teknik 2010 Nr 5			Aug 2010
3	<i>Byggnadsmaterialens påverkan på termisk komfort, energiförbrukning och effekttoppar i bostäder.</i> (populärvetenskaplig slutrapport) Av: Alla projektdeltagare (ansvar: Lars Wadsö) Bygg & Teknik (kommentar 2012-11-14: görs efter att slutrapporten är godkänd. Slutrapporten, se nedan, ska ses som manus till denna artikel)		Inväntar godkännande av slutrapport	
4	<a href="#"><u>Byt styrstrategi i miljonprogrammets fastigheter*</u></a> Av: Anders Rönneblad, Jan Forslund, Ronny Andersson. Samhällsbyggaren 5 2011			Nov 2011
5	<a href="#"><u>Värmedynamiska vinster att hämta*</u></a> Av: Anders Rönneblad Cementas tidning nr 2 2011			Aug 2011
6	<i>The influence of the thermal mass of a building on thermal comfort, energy use, and peak power needs</i> (Populärvetenskaplig slutrapport på engelska) Av: Alla projektdeltagare (ansvar: Lars Wadsö) Publiceras till att börja med på hemsidan (kommentar 2012-11-14: görs efter att slutrapporten är godkänd. Engelsk version av slutrapporten, se nedan, ska ses som manus till denna artikel)		Inväntar godkännande av slutrapport	
23	<a href="#"><u>Trög betongstomme minskar energianvändningen och möjliggör fördröjning av effektuttag*</u></a> Av: Anders Rönneblad, Kajsa Byfors Bygg & Teknik 7 2012 (kommentar 2012-11-14: ny, var ej planerad och skriven när slutrapporten lämnades in för första gången)			Okt 2012

\*Finansierad av Cementa.

### Vetenskapliga granskade

	Namn	Status		
		planerad	pågående	slutförd
7	<a href="#"><u>Different Materials with High Thermal Mass and its influence on a Buildings Heat Loss. – An Analysis Based on the Theory of Dynamic Thermal</u></a>			Feb 2012

	<a href="#"><u>Networks</u></a> Av: Eva-Lotta Kurkinen, Jonathan Karlsson Konferensbidrag till IBPC Kyoto, Japan, 28-31 Maj 2012			
8	<a href="#"><u>A conceptual model that simulates the influence of thermal inertia in building structures</u></a> Av Jonathan Karlsson, Lars Wadsö, Mats Öberg Konferensbidrag till fib Symposium Concrete Structures for Sustainable Community, Stockholm, 11-14 juni 2012 I samarbete med Interreg IV-projektet ”Integrering av hållbara byggprocesser”.			Nov 2011
9	<a href="#"><u>A conceptual model that simulates the influence of thermal inertia in building structures</u></a> Av Jonathan Karlsson, Lars Wadsö, Mats Öberg Inskickad till Energy and Buildings I samarbete med Interreg IV-projektet ”Integrering av hållbara byggprocesser”.			Dec 2011
10	<a href="#"><u>Thermal properties of concrete with various aggregates</u></a> Av: Jonathan Karlsson, Lars Wadsö, Kristian Tammo Inskickad till Cement and Concrete Research			Mar 2012
11	<a href="#"><u>A comparison between a commercial energy calculation tool for buildings with calculations using a response model</u></a> Av: Ulf Ohlsson, Mats Emborg, Viktoria Bonath, Eva-Lotta Kurkinen			Nov 2012
12	<a href="#"><u>Possibilities of using thermal mass in buildings to save energy, cut power consumption peaks and increase the thermal comfort</u></a> Av: Jonathan Karlsson Licentiatavhandling Byggnadsmaterial LTH (TVBM-3164)			Apr 2012

### Arbetsrapporter

	Namn	Status		
		planerad	pågående	slutförd
13	<a href="#"><u>Energieffektivisering av flerbostadshus - Status och hänsyn till värmetröghet*</u></a> Av: Linda Wisell, Peter Ylmén, Catarina Warfvinge, Eva-Lotta Kurkinen			Nov 2010

	SP Rapport 2012:35			
14	<p><a href="#"><u>Sambandet mellan byggnadens stommaterial, värmodynamiska funktion och styr- &amp; reglerstrategi – Sammanställning av bakgrundsmaterial och kommentarer</u></a></p> <p>(denna rapport innehåller sammanfattande bakgrundsmaterial om värmetröghet, sammanfattning av examensarbetet "Utnyttjande av byggnaders värmetröghet - Utvärdering av kommersiella systemlösningar", kommentarer till rapporten "Energieffektivisering av flerbostadshus - Status och hänsyn till värmetröghet samt en kortare beskrivning av betydelsen av byggnaders värmetröghet i framtidens smarta energinät")</p> <p>Rapport Installationsteknik (ISRN LUTVDG/TVIT--12/7075)</p> <p>Av: Anders Rönneblad</p>			Jun 2012
15	<p><a href="#"><u>Energianvändning i studentlägenheter. Parameterstudie av olika betong- och driftsegenskaper</u></a></p> <p>Skrift 2012:01, Byggkonstruktion, LTU.</p> <p>Av: Ulf Ohlsson, Victoria Bonath</p>			Jun 2012 utkast
16	<p><a href="#"><u>Inverkan av temperaturvariationens utseende för värmelagring och värmeförlust för en byggnad</u></a></p> <p>Av: Eva-Lotta Kurkinen</p> <p>SP Arbetsrapport 2012:12</p>			Jun 2012
24	<p><a href="#"><u>Optimering av byggnadsstommen med avseende på minimal uppvärmning under köldknäppar</u></a></p> <p>Av: Eva-Lotta Kurkinen</p> <p>SP Arbetsrapport 2012:13</p> <p>(kommentar 2012-11-14: publicering 16 delades slutligen upp i två separata rapporter 16 och 24)</p>			Jul 2012
17	<p><a href="#"><u>Stommaterialets betydelse för komforten i en byggnad vid ett framtida varmare klimat</u></a></p> <p>Skrift 2012:02, Byggkonstruktion, LTU.</p> <p>Av: Ulf Ohlsson, Victoria Bonath, Mats Emborg</p>			Jun 2012 utkast
18	<p><a href="#"><u>Värmetröghet – så mycket mer än energi. Referat från en workshop i Lund i december 2011</u></a></p> <p>Av: Ronny Andersson och Lars Wadsö</p> <p>Rapport Byggnadsmaterial LTH TVBM-7212</p> <p>I samarbete med Interreg IV-projektet "Integrering av hållbara byggprocesser".</p> <p><a href="#"><u>Hemsida med bakgrundsmaterial för workshop</u></a></p>			Mars 2012

\*Finansierad av Cementa.



## Examensarbeten

	Namn	Status		
		planerad	pågående	slutförd
19	<p><a href="#"><u>En studie av möjligheten att öka den värmelagrande förmågan hos betong</u></a></p> <p>Av: Alexander Herlin, Gabriel Johansson</p> <p>Byggnadsmaterial LTH (ISSN 0348-7911 TVBM-5080)</p>			April 2011
20	<p><a href="#"><u>Utnyttjande av byggnaders värmetröghet – utvärdering av kommersiella systemlösningar</u></a></p> <p>Av: Daniel Vogel, Jens Persson</p> <p>Installationsteknik LTH (TVIT-5030)</p>			Okt 2011

## Slutrapport

	Namn	Status		
		planerad	pågående	slutförd
21	<p><a href="#"><u>Energibesparing genom utnyttjande av tunga byggnaders termiska beteende baserat på nya material, konstruktioner och värmelagringssystem</u></a></p> <p>Av: Lars Wadsö, Jonathan Karlsson, Anders Rönneblad, Ronny Andersson, Eva-Lotta Kurkinen, Mats Emborg, Mats Öberg, Ulf Ohlsson.</p> <p>Denna rapport (kommentar 2012-11-14: reviderat dokument)</p>			Jun 2012 Rev Nov 2012
22	<p><a href="#"><u>Energy saving through the utilization of the thermal behavior of heavy buildings, based on new materials, building frameworks and heat storage systems</u></a></p> <p>Av: Lars Wadsö, Jonathan Karlsson, Anders Rönneblad, Ronny Andersson, Eva-Lotta Kurkinen, Mats Emborg, Mats Öberg, Ulf Ohlsson.</p> <p>Engelsk översättning av delar av slutrapporten (kommentar 2012-11-14: nytt dokument)</p>			Nov 2012

Titel på projektet – svenska	Energibesparing genom utnyttjande av tunga byggnaders termiska beteende baserat på nya material, konstruktioner och värmelagringsystem
Titel på projektet – engelska	Energy savings by using heavy buildings thermal behavior based on new materials, new structures, and new heat storage systems
Energimyndighetens program	CERBOF
Total projektkostnad	3 125 000
Ev. rapporttitel hos stödmottagaren	
Universitet/högskola/företag	Lunds Universitet
Adress	Byggnadsmaterial LTH, Box 118, 221 00 Lund
Namn och e-post - projektledare	Lars Wadsö ( <a href="mailto:lars.wadso@byggtek.lth.se">lars.wadso@byggtek.lth.se</a> ) (ersatte Lars-Olof Nilsson under projektets gång)
Namn och e-post – Huvudförfattare/ medförfattare/projektdeltagare/doktorander	Ronny Andersson, <a href="mailto:ronny.andersson@cementa.se">ronny.andersson@cementa.se</a> Victoria Bonath, <a href="mailto:victoria.bonath@ltu.se">victoria.bonath@ltu.se</a> Mats Emborg, <a href="mailto:mats.emborg@ltu.se">mats.emborg@ltu.se</a> Jonathan Karlsson, <a href="mailto:jonathan.karlsson@karlssonclimate.se">jonathan.karlsson@karlssonclimate.se</a> Eva-Lotta Kurkinen, <a href="mailto:eva-lotta.kurkinen@sp.se">eva-lotta.kurkinen@sp.se</a> Ulf Ohlsson, <a href="mailto:ulf.ohlsson@ltu.se">ulf.ohlsson@ltu.se</a> Anders Rönneblad, <a href="mailto:anders.ronneblad@cementa.se">anders.ronneblad@cementa.se</a> Lars Wadsö, <a href="mailto:lars.wadso@byggtek.lth.se">lars.wadso@byggtek.lth.se</a> Mats Öberg, <a href="mailto:mats.oberg@ncc.se">mats.oberg@ncc.se</a> Lars-Olof Nilsson, <a href="mailto:lars-olof.nilsson@byggtek.lth.se">lars-olof.nilsson@byggtek.lth.se</a>
Nyckelord: 5-7 st	Tungt byggande, värmekapacitet, betong, styrsystem, värmeeffekt