

Trög betongstomme minskar energianvändningen och möjliggör fördröjning av effektuttag

Att betong är värmetrögt innebär att materialet har hög inbyggd kapacitet att lagra överskottsvärme (gratisenergi), vilken sedan kan användas när det finns ett underskott och därmed minska energibehovet. Betongens värmetröghet minskar även effekttopparna och gör det möjligt att förflytta effektuttagen i tiden, vilket är positivt både miljömässigt och ekonomiskt. Värmetrögheten bidrar också till att minska antalet övergradstimmar och ger ett stabilt och bra inneklimat. Många av de positiva egenskaperna kan förstärkas ytterligare om man använder aktiv värmelagring och/eller en optimerad värmedynamisk styrstrategi.

Att minska energianvändningen är en av de allra viktigaste åtgärderna i strävan mot att skapa hus med lägre miljöpåverkan. Kravet på minskad energianvändning är också en viktig aspekt när det gäller miljöcertifiering av byggnader – något som i hög grad driver på utvecklingen mot energieffektiva byggnader.

Materialets egenskaper påverkar en byggnad på många sätt: till exempel inomhusklimat, brand, ljud och fukt där betong har goda egenskaper. När det gäller energieffektivitet är betongens värmelagrande förmåga helt unik. Förklaringen är ganska enkel: betong är ett tungt, värmetrögt material som kan lagra både värme och kyla och genom att utnyttja den egenskapen kan man uppnå betydande besparingar när det gäller energi. I kombination med ett tätt klimatskal kan luftläckage



Torsplan i Stockholm, där NCC som ett av de första projekten i Sverige satsar på betyget Excellent i miljöcertifieringssystemet Breeam.

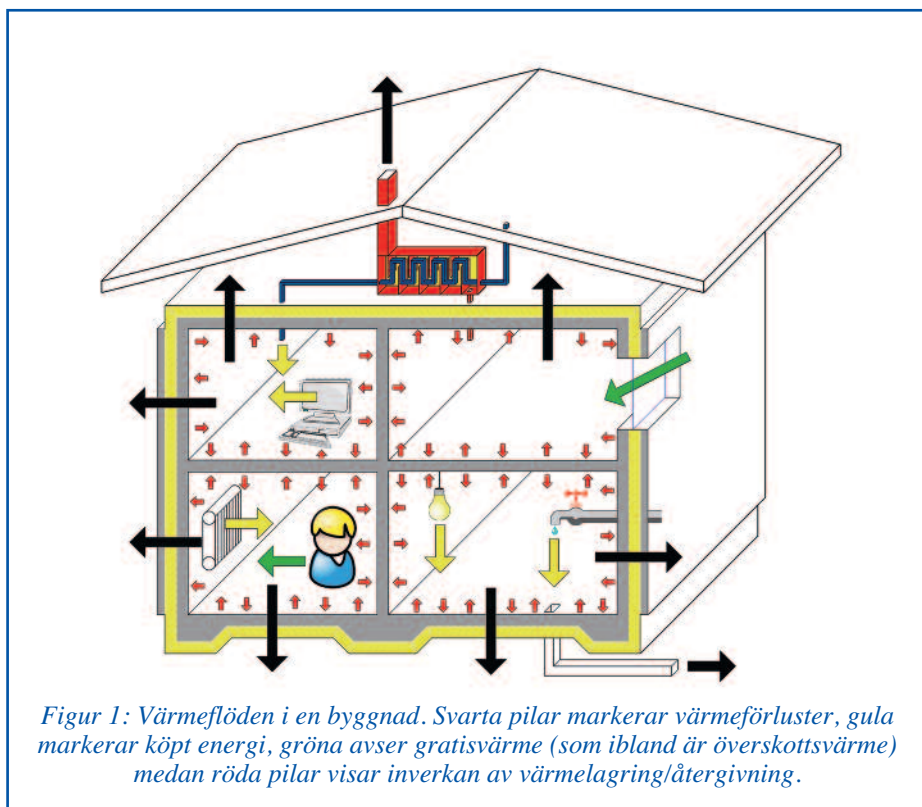
ILLUSTRATION: DIAKRIT

minimeras, vilket gör att byggnader kan göras mycket energieffektiva. Det är också anledningen till att man många gånger väljer betong som stommaterial i hus med mycket höga krav på energieffektivitet, till exempel i Torsplan i Stockholm där NCC som ett av de första projekten i Sve-

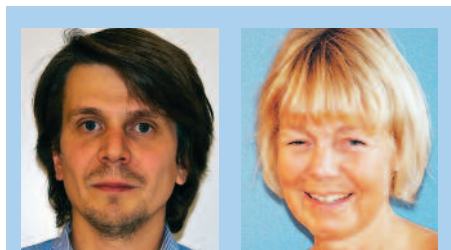
rige satsar på betyget Excellent i miljöcertifieringssystemet Breeam.

Värmetröghet – byggnadens värmodynamiska funktion

En värmetrög byggnad kan lagra överskottsvärme vid övertemperaturer, och



Figur 1: Värmeflöden i en byggnad. Svarta pilar markerar värmeförluster, gula markerar köpt energi, gröna avser gratisvärme (som ibland är överskottsvärme) medan röda pilar visar inverkan av värmelagring/återgivning.



Artikelförfattare är **Anders Rönneblad**, tekn lic, Cementa AB, Malmö, och **Kajsa Byfors**, projektledare, Svensk Betong, Stockholm.

avge värmen när temperaturen sjunker. *Figur 1 på föregående sida* illustrerar de vanligaste värmeflödena i en byggnad. Vi har värmeförluster genom klimatskalet, ventilation, otätheter och via bortspolat varmvatten. För att hålla en behaglig temperatur behöver byggnaden värmas med ett uppvärmningssystem under den kalla årstiden, och eventuellt kylas sommardid. Varmvatten och elektriska apparater tillför också värme. Samtliga dessa källor definierar vi som köpt energi och de är gulmarkerade i figuren. Utöver den köpta energin tillförs också värme från solen och brukarna bidrar med sin kroppsvärme. Dessa källor är grönmarkerade i figuren och definierade som gratisvärme. Gratisvärmen utnyttjas på bästa sätt med hjälp av husets värmetröghet. Vid ett överskott av gratisvärme kan huset lagra energi, som sedan används vid underskott. För att lyckas krävs att inomhus-temperaturen får variera något. Värmelagring (återgivning) illustreras av de röda pilarna i figuren.

Med passiv värmelagring avses den egenskap som alltid finns, även utan åtgärder för att utnyttja egenskapen fullt ut. Aktiv värmelagring är benämningen när stommen utnyttjas och blir en del av värmesystemet, till exempel genom att låta tilluft passera genom hållrummen i bjälklagselement eller att gjuta in värmesystemets rör i konstruktionen.

Stora möjligheter att fördröja effektuttaget

Förutom att energianvändningen (kWh/m², år) minskar genom värmetrögheten, påverkas även effekten (W/m²) i allra högsta grad. Utmärkande för värmetrögheten är förmågan att minska effekttopparna, och möjligheten att flytta effektuttagen i tiden. Ett värmetrögt hus ger fastighetsägaren eller energileverantören möjlighet att låna energi av stommen, som till exempel kan användas när behovet är stort i andra delar av fastigheten eller energinätet.

Smarta energinät

På senare tid har betydelsen av att minska en byggnads värme- och kyleffekt börjat diskuteras allt mer. Energileverantörerna använder ofta en mix av olika energislag. Vid låga effektuttag levereras främst energi som är framställt av bio- eller spillvärme, medan under perioder av höga effektuttag framställs oftast energin av fossila bränslen som blir både dyrare och sämre ur miljösynpunkt. Perioderna med högt effektuttag är inte bara årstidsberoende utan även stora dygnsvariationer förekommer. Effektbehov är alltså starkt kopplat till energislag. I dagsläget finns det få incitament för fastighetsäga-

ren att minska sitt maximala effektuttag. Med den nya lag om timmätning av el som trädde ikraft den 1 oktober öppnas möjligheten upp för fastighetsägarna att kunna betala för sin energi timme för timme, där priset kommer att variera beroende på den totala "efterfrågan". Då blir värmetrögheten i stommen ännu mer intressant både fastighetsekonomiskt och i miljöhänseende. Ett exempel där dessa frågor har kommit i fokus är utvecklingen av Malmös nya hållbara stadsdel Hyllie. Visionen för Hyllie finns undertecknat i det klimatkontrakt som ingicks mellan Malmö stad, VA Syd och Eon i februari 2011. I klimatkontraktet för Hyllie är målet att energiförsörjningen till hundra procent ska bestå av förnybar eller återvunnen energi senast 2020 [1]. Som en följd av detta beslutade Energimyndigheten att stödja Malmö stad och Eon i arbetet för att bygga smarta nät i Hyllie. Staten bidrar här med 47 miljoner kronor till intelligenta lösningar för styrning och lagring av energi i stadsdelen. Därmed tar Hyllie ytterligare ett steg mot att bli en global förebild för hållbar stadsutveckling [2].

Betongens byggfysikaliska egenskaper kommer här att ha en avgörande betydelse. Under punkt 2 (*Smarta hem ger nya möjligheter – Nya lösningar för styrning och optimering av energianvändning skapar förutsättningar för invånare att ta en mer aktiv roll i Hyllies energisystem* [2]), kommer betongens goda förmåga att vara självreglerande att utnytt-

jas, samtidigt som god innemiljö bibehålls. Under punkt 7 (*Energilagring med rätt byggt teknik – Genom att bygga hus med väggar som bevarar värmen längre blir energilagring en kostnadsbesparingsmöjlighet för invånarna i Hyllie* [2]) kommer betongens goda värmelagrande förmåga att utnyttjas på en helt annan nivå än vid traditionellt byggande. I klartext betyder det att byggnaden ska minimera användandet av energi när andelen fossila bränslen är som högst i energiproduktionen. För att klara denna utmaning måste byggnaden optimeras för att utnyttja sin värmelagrande förmåga maximalt. Fastighetsägarna i Hyllie har erbjudits en unik möjlighet att prova nya affärsmodeller beträffande debitering av energi. Det är högst troligt att detta kommer att få stort genomslag och ligga till grund för hur energinät och byggnader kommer att samspela i framtiden. Fastighetsägarna får då ytterligare ett incitament att använda sina tunga stommar på ett effektivare sätt, vilket är något som vi inom betongsektorn har väntat länge på. Liknande initiativ finns även i andra delar av landet, till exempel Norra Djurgårdsstaden i Stockholm.

Styr- och reglerstrategi

I dag är i princip alla nya betongbyggnader värmetröga till sin natur, under förutsättning att stora delar av den invändiga betongen exponerats mot inomhusmiljön. Stommen har då en självreglerande för-



Figur 2: Fokusområden i Hyllie [2]. Illustrationen är upprättad av Eon.

måga att hålla rätt temperatur. Det utnyttjas alltför sällan på ett optimalt sätt.

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 till exempel onödigt snabb acceleration och gaspådrag för att behålla hastighet i uppförbackar. En sparsam körteknik kan ge tio till tjugo procent lägre bränsleförbrukning än det körsätt som de flesta använder. Slöseriet skulle bli ännu större om man alltid tryckte ned gaspedalen proportionellt mot vägbansans 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.

I trafiken kan en "trög" bil påverka andra bilar negativt så att köbildning uppstår, vilket i sin tur ger upphov till ryckig körning för bakomliggande bilar. Detta är dock inte ett problem för byggnader eftersom dessa i regel fungerar helt fristående från varandra.

De flesta byggnader styrs för att genast kompensera för minsta lilla avvikelse. Transmissions- och ventilationsförlusterna är proportionella mot utomhustemperaturen, vilket ingenjörer i VVS-branschen har utvecklat styr- och reglerstrategier utifrån. Resultatet är system som söker en konstant inomhustemperatur baserad på utomhustemperaturen. Byggnadens värmetröghet gör dock att installationssystemet ofta ligger ur fas. Inställning med hänsyn till byggnadens dynamiska beteende sker endast hjälpligt via värmeregleringskurvor. I praktiken är det svårt att få till på ett bra sätt. Dessutom är många befintliga temperaturregleringsystem onödigt komplicerade, vilket kan leda till att de motverkar de värmedynamiska förloppen. Att en byggnad värms

och kyls samtidigt är en alltför vanlig konsekvens av en felaktig eller komplicerad styrstrategi. I artiklarna [3] och [4] finns mer information.

Undersökningar i traditionella hus visar stora temperaturvariationer, både över dygnet och mellan olika delar i fastigheten, även i hus med hög inomhuskomfort. 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.

En värmedynamisk styrstrategi kräver sin styrutrustning. Man kan antingen välja en paketlösning med detta som en av grundbultarna, eller en mer öppen lösning.

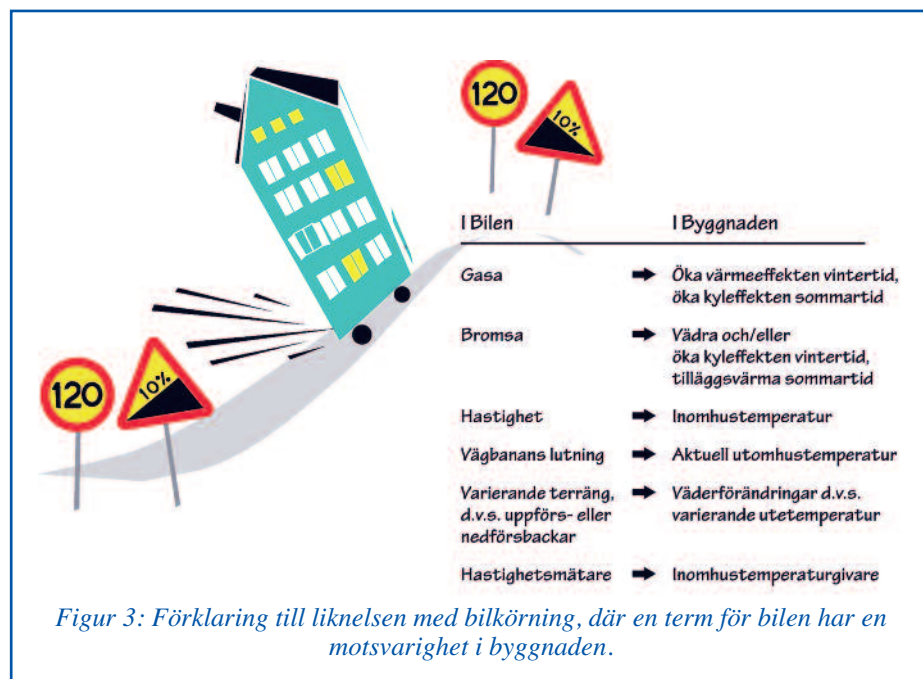
Det finns ett antal nya paketlösningar på marknaden. De flesta är utvecklade i Sverige. Till exempel Ecopilot som utvecklas av Kabona i Borås och Uppsala-företaget Enreduces produkter.

Ecopilot hanterar både värmesystem, ventilation och kyla. Sedan starten 2001

har företaget cirka 1400 installationer i drift i Sverige och ytterligare cirka 300 i Europa. Enligt företaget är medelbesparingen med Ecopilot 25 procent för värme, 15 procent för el och 30 procent för kyla, sedan 2008 (normalårskorrigerade värden). Vid drifttagande tecknas normalt ett tvåårsavtal för injustering och utbildning. Uppföljningsarbetet av energi och komfort underlättas av ett integrerat analysverktyg. Utöver energibesparingar kan systemet även ge ett jämnare inomhusklimat [5].

Enreduces styr enbart via inomhustemperaturen. Enligt företaget minskar energianvändningen med 15 till 25 procent (normalårskorrigerat) med deras system. Besparingar genom åtgärder såsom ventilation och injustering är då inte inräknade. Med dessa i beräkningen är besparingen 30 till 40 procent. Utöver energibesparingen sägs systemet även ge ett jämnare inomhusklimat. I dag är systemet installerat i cirka 50 000 lägenheter [6].

Fem svenska paketlösningar har analyserats i ett examensarbete på avdelningen för Installationsteknik på Lunds tekniska högskola [7]. Bland annat för att kontrollera riktigheten i de besparingar som företagen presenterar. Eftersom endast ett husprojekt per system har utvärderats kan siffrorna inte analyseras fullt ut, men företagets marknadsföring förefaller lite för optimistisk i jämförelse med studierna. Trots att företagen inte riktigt lever upp till sin marknadsföring visar flera en



tydlig nedgång i energianvändningen för uppvärmning, och en kraftigt minskad toppeffekt. Det gör systemen intressanta både för nyproduktion och ombyggnad.

Siemens [8] och Schneider Electric [9] står för exempel på mer öppna lösningar, som är betydligt mer anpassningsbara än paketlösningarna. Att de är programmerbara gör att stora delar av ansvaret skjuts över till de som anpassar systemet för en specifik byggnad. Hur väl den värmedynamiska egenskapen utnyttjas kan därför skilja kraftigt från fall till fall. Om man gör rätt finns det mycket att tjäna, om man gör fel kan huset i värsta fall värmas och kylas samtidigt.

Hur mycket kan man spara?

Många utredningar om nyttan med värmetröghet har gjorts genom åren. Sammanfattningsvis brukar en tung byggnad använda mellan två till femton procent mindre energi än en lätt, om övriga värmefysikaliska egenskaper är de samma. Om siffran verkar låg ska man ha i åtanke att den nästan uteslutande bygger på att endast passiv värmelagring utnyttjas, och att värmesystemet förutsätts hålla en exakt och konstant inomhustemperatur under höst, vinter och vår. I de utredningar som behandlar klimatpåverkan genom att räkna med primärenergifaktorer beaktas oftast inte heller betydelsen av effektopparnas storlek och vilken tid på dygnet dessa inträffar.

Genom att tillåta små temperaturvariationer på ca en halv till en grad, och samtidigt med hjälp av ny styr- och reglerteknik utnyttja byggnadens värmedynamik blir besparingspotentialen betydligt större. Aktiv värmelagring är ytterligare en möjlighet att öka besparingen. Att minska energianvändningen i flerbostadshus mellan 30 och 40 procent är ingen omöjlighet. För kontor är denna siffra ännu högre. Dessutom finns en potential i betongens förmåga att runda av effektopparna och förflytta effekttaggen i tiden och på så sätt ha möjlighet att använda fördelaktiga energislag. Vi kan konstatera att genom att utnyttja betongens unika värmelagrande egenskaper som stommaterial finns mycket att vinna både ur ekonomisk- och hållbarhetssynpunkt. Betonghus ger dessutom goda förutsättningar för ett minimalt luftläckage genom klimatskalet. Betongens byggfysikaliska egenskaper försämras inte heller med tiden.

Sju tips för ett energieffektivt betonghus

Nedan ges sju tips för att säkerställa att betonghuset blir energieffektivt.

Välj lämplig värmeisolering i byggnadens klimatskal. Ta reda på vilken isoleringsgrad och vilket isoleringsmaterial som är optimalt i ditt fall. Lösningar beskrivs i Isolerguiden [10]. Information om de nya högpresterande isoleringsmaterialen finns i FoU-Västs Rapport [11].

Var noggrann med utformning och utförande. Det är viktigt med noggrannhet vid både konstruktion och utförande av anslutningsdetaljer och genomföringar, så att luftläckage och köldbryggor minimeras. Exempel på lufttäta konstruktionslösningar ges i SP-rapporten 2010:09 [12]. Allmän information om lufttätethet finns på ByggaL:s webbplats [13]. Köldbryggor beskrivs i Isolerguiden Bygg 06 [10].

Använd nattventilation. Ökad ventilation är ett bra sätt att kyla byggnaden när det är varmt utomhus. Med hjälp av nattventilation som kyler med kall utomhusluft nattetid, kan man slippa höga temperaturer dagtid. Den termiska komforten blir bättre och minimal energi går åt för att kyla byggnaden [14].

Välj en värmedynamisk styrstrategi. Tillämpa en styr- och reglerstrategi som tar hänsyn till värmedynamiken, och som i huvudsak styrs via inomhustemperaturen.

Använd simuleringsverktyg. Använd alltid simuleringsprogram som använder klimatdata med timvärden. Till exempel VIP Energy eller IDA ICE. Det senare ger möjlighet att simulera en värmedynamisk styr- och reglerstrategi. Tidigare nämnda paketlösningar är sällan transparenta. Vid användning av dessa kan det därför vara svårt att hitta tillräckligt med data för en fullständig simulering av värme- och kylsystemet. Kontakta i så fall leverantören för en bättre uppfattning om hur effektivt det fungerar i ett specifikt fall.

Exponera betongytorna. Dra större nytta av den värmelagrande egenskapen genom att exponera betongytorna. Undvik att klä den invändiga stommen med värmeisoleringsmaterial som till exempel träull, glasfiber och cellplast. En målad betongyta räknas som exponerad. Trägolvet på betongen försämrar värmetrögheten, men värmeledningen genom trä materialet är tillräckligt stor för att få betongen verksam för dygnstemperatursvängningar. Alla vanliga ljudabsorbenter är mer eller mindre värmeisolerande. Därför bör heltäckande undertak undvikas. Det finns bra lösningar för undertak och effektiv ljudabsorption, ur såväl estetisk som akustisk synpunkt. De hittas under Ljud/Rumsakustik på "Bygga med Prefab" [15].

Använd aktiv värmelagring. Ett exempel på aktiv värmelagring är TermoDeck – ett klimatsystem som tar vara på byggnadens värmekapacitet samt minskar behovet av installationsutrustning. Tilluften passerar ett labyrintsystem i betongbjälklaget innan den når rummet. Styrning sker via återkoppling till inomhustemperaturen. Beroende på utomhustemperatur och intern värmelast, används kyld eller värmd tilluft, som anpassar temperaturen i tak och golvytor för en stabil och behaglig inomhustemperatur. Efter att ha passerat

bjälklaget ligger tilluftens temperatur nära rumsluftens, vilket ger en dragfri inblåsning. Labyrintsystemet dämpar ventilationsljudet och inblåsningen är ljudlös. ■

Referenser

- [1]. Malmö stad (2011). *Klimatkontrakt för Hyllie*. <http://www.malmo.se>.
- [2]. Malmö stad (2011). *Hyllie får 47 miljoner till smarta nät*. <http://www.malmo.se/Medborgare/Stadsplanering--trafik/Stadsplanering--visioner/Utbyggnad-somraden/Hyllie/Nyheter/47-miljoner-till-smarta-nat.html>.
- [3]. Rönneblad A et al (2011) *Byt styrstrategi i miljonprogrammets fastigheter*.
- [4]. Wiman U (2011). *Värmedynamiska vinster att hämta – Intelligent betong*. Tidskriften Cementa #2-2011.
- [5]. Kabona. <http://www.kabona.se/>.
- [6]. Enreduce. <http://www.enreduce.se/>.
- [7]. Persson D & Vogel J (2011). *Utnyttjande av byggnaders värmetröghet – Utvärdering av kommersiella systemlösningar*. <http://www.hvac.lth.se/fileadmin/hvac/files/TVIT-5000/TVIT-5030JPDV-web.pdf>.
- [8]. Siemens (2012). *Fastighetsautomationssystem*. <http://www.industry.siemens.se>.
- [9]. Schneider Electric (2012). *Fastighetssystem*. <http://www.schneider-electric.se>.
- [10]. Swedisol (2006), *Isolerguiden Bygg 06*.
- [11]. Clase M & Lindén E (2010). *Inventering och Utvärdering av Högpresterande Isolering*. FoU-Väst Rapport, 1402-7410; 1002.
- [12]. Wahlgren P (2010). *Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar*. SP Rapport 2010:09.
- [13]. ByggaL. <http://www.lufttathet.se/sv/ByggaL/>.
- [14]. Betongforum (2008). *Betong för energieffektiva byggnader – Fördelarna med termisk massa*.
- [15]. Bygga med Prefab (2012), *Ljud/Rumsakustik*, <http://www.svenskbetong.se/ljud/rumsakustik.html>.