

# Teknik- och systemlösningar för lågenergihus. En översikt

Eva Sikander, Svein Ruud

## Abstract

The technical designs and systems evaluated in this feasibility study are intended to produce designs that require not more than 50 % of the quantity of energy specified in the Building Regulations as design values for apartment buildings. Those that are identified as having good prospects for meeting this 50 % target may be investigated and evaluated in more detail in a next stage of the work.

The technical designs and systems that have been identified by the project group as having an interesting potential, and which are not already being widely used, and for which there is a need of further investigation, evaluation and experience, include for example massive building envelopes and structures, with highly efficient heat recovery and preheating of ventilation supply air to the building.

Key words: Low energy buildings, passive houses, technical solutions, system design

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2011:68  
ISBN 978-91-87017-00-1  
ISSN 0284-5172  
Borås 2011

# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>4</b>
<b>Förord</b>	<b>6</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>7</b>
<b>1 Bakgrund</b>	<b>8</b>
<b>2 Syfte</b>	<b>9</b>
<b>3 Lågenergibyggnader och utmaningarna</b>	<b>10</b>
3.1 Allmänt	10
3.2 Lågenergibyggnader och utformning/arkitektur	10
3.3 Brukarbeteende	11
3.4 Ekonomi	11
3.5 Rationellt byggande	11
3.6 Kvalitetssäkring avgörande	12
<b>4 Byggnadstekniska lösningar</b>	<b>13</b>
4.1 Lätta klimatskal (trä eller stålreglar)	13
4.2 Tunga klimatskal – prefabricerat/sandwich eller platsgjuten betong	15
4.3 Lättklinkerblock kompletterad med isolering	18
4.4 Lättbetong kompletterad med isolering	20
4.5 Massiva trästommar – kompletterad med värmeisolering	21
4.6 Andra byggnadstekniska lösningar	23
4.7 Isolermaterial	24
4.8 Konstruktionstjocklek	25
4.9 Lösningar för lagring av värme/kyla i byggnadsstomme	26
4.10 Väggar – generellt	27
4.11 Tak – generellt	28
4.12 Grunder – generellt	28
4.13 Fönster	29
<b>5 Installationstekniska lösningar</b>	<b>32</b>
5.1 Luftväxling och värmeåtervinning	32
5.2 Värmedistribution	36
5.3 Varmvatten	37
5.4 Individuell mätning av varmvatten och energianvändning	38
<b>6 Tekniska lösningar för värmevärmelagring samt förvärmning/förkylning i mark</b>	<b>40</b>
6.1 Värmelagring utanför byggnaden	40
6.2 Förvärmning/förkylning i mark	40
<b>7 Tekniska lösningar för energiproduktion</b>	<b>42</b>
7.1 Solfångare och solceller	42
7.2 Vindkraft	42
7.3 Värmepumpar	42
7.4 Biobränslepannor	43
7.5 Kombinationer av lokal förnybar energiproduktion	43

<b>8</b>	<b>Intressanta systemlösningar</b>	<b>44</b>
8.1	Allmänt	44
8.2	Tungt klimatskal och stomme kombinerat med effektiv värmeåtervinning och integrerade solfångare/solceller	44
8.3	Mikroklimat med dubbla fasader eller överglasad innergård	46
8.4	Ytterligare kombinationer av tekniker	49
<b>9</b>	<b>Resultat</b>	<b>50</b>
<b>10</b>	<b>Att läsa mer - referenser</b>	<b>51</b>

## Förord

Denna rapport är redovisning av tekniska och systemlösningar som kan användas i mycket energieffektiva byggnader. Både installationstekniska och byggnadstekniska lösningar behandlas. Lösningarna som behandlas inom denna förstudie skall ge förutsättningar för att använda högst 50 % av BBRs krav för nyproducerade flerfamiljshus. De mest intressanta lösningarna kan komma att utvärderas ytterligare i en fortsättning av denna redovisning.

Förstudien fokuserar på alternativa tekniker för bygg- och installationsteknik inte på arkitektur/utformning och beteende i samma utsträckning, även om utformningen och beteende har en mycket stor inverkan på möjligheterna att nå en mycket låg energianvändning.

Projektgruppen som har arbetat inom denna förstudie består av:

Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier  
Rolf Jonsson, Väst-Bygg  
Kristina Gabrielli, Peab  
Anders Ahlquist, Bravida  
Mats Karlsson, Färdig Betong  
Svein Ruud, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut  
Eva Sikander, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (projektledare)

Den referensgrupp som varit knuten till projektet har bestått av Malin Svanberg (AF-gruppen), Hans Eek (Passivhuscentrum), Carl-Eric Hagentoft (Chalmers Tekniska Högskola) och Berth Olsson (Bengt Dahlgrens AB).

Denna rapport är en sammanslagning av två projekt som båda har finansierats av SBUF och företagen inom FoU-Väst.

Rapporten finns att hämta för egen utskrift på [www.sp.se](http://www.sp.se) eller att köpa som tryckt rapport från Sveriges Byggindustrier ([www.bygg.org](http://www.bygg.org)).

## Sammanfattning

De tekniska lösningar och systemlösningar som behandlas inom denna förstudie skall ge förutsättningar för att använda högst 50 % av BBRs krav för flerfamiljshus. Lösningar som identifierats som har en bra potential att uppfylla energimålet om 50 % av BBR kan komma att analyseras och utvärderas mer ingående i ett nästa steg.

Kartläggningen har visat på en rad olika tekniker som lämpar sig väl för att användas i mycket energieffektiva flerfamiljshus. Kartläggningen visar också att det kan vara olika komplicerat att kvalitetssäkra och nå de goda egenskaper som erfordras för lågenergihus (som tex lufttätethet, fuktsäkerhet). Inom projektgruppen har några tekniska lösningar identifierats som gruppen tror har mycket bra potential att nå så hög kvalitet som behövs för mycket energieffektiva byggnader och där det bedöms vara ”lätta att kvalitetssäkra” och ”lätta att bygga rätt”. Även systemlösningar för mycket energieffektiva byggnader föreslås för en fortsatt fördjupad analys.

Se vidare under kapitel ”Resultat”.

# 1 Bakgrund

I ett tidigare avslutat SBUF-finansierat projekt ”Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar” konstaterades det att produktionen av lågenergihus och passivhus måste utföras med rätt kunskap, noggrannhet och kvalitetstänkande i alla led i bygg- och förvaltningsprocessen för att byggnaderna skall bli energieffektiva, energieffektivt beständiga och med säkerställd god inomhusmiljö och beständighet. Detta gäller alla byggnader som uppförs idag, men är än viktigare i mycket energieffektiva byggnader. Mycket av kunskapen som behövs finns idag, även om det också finns vissa kunskapsluckor och erfarenhetsluckor. Det är angeläget att fylla dessa luckor eftersom efterfrågan och intresset för byggandet av lågenergihus och passivhus idag är stort, och för att byggsektorn skall kunna fortsätta sin utveckling.

Bland kommentarer och frågeställningar som lyftes från byggsektorns sida och där ytterligare kunskap behövs kan nämnas

- Behov av väl genomtänkta och utvärderade tekniska lösningar med systemsyn/helhetssyn i fokus där viktiga aspekter, förutom de direkt energipåverkande, är fuktsäkerhet, termiskt klimat och luftkvalitet.
- För att kunna tillämpa tekniken för lågenergihus i stor skala behöver tekniker för produktion utvecklas/industrialiseras.
- Erfarenhetsåterföringen från genomförda projekt behöver förbättras för att få en bra grund att stå på.
- Ett uttalat behov av att arbeta med färre, men väl fungerande lösningar som man kunnat utvärdera och visa att det fungerar. Man skulle då kunna jobba mer systematiskt och industrialiserat med processer som är lika från projekt till projekt – och ändå få den variation vi har idag i utseende.

För att kunna besvara byggsektorns frågeställningar och tillgodose deras behov av kunskap enligt ovan krävs en kartläggning av olika byggnadstekniska och installationstekniska lösningar och beaktar dessa tillsammans som en helhet. Kartläggningen behöver omfatta tekniker som används i Sverige, men även tekniker som finns i andra länder och som kan lämpa sig för Svenska förhållanden.



## 2 Syfte

Syftet med projektet i detta inledande steg är att kartlägga olika byggtkniska och installationstekniska lösningar som kan användas vid produktion av lågenergihus. Kartläggningen omfattar både de tekniker som används idag i lågenergihus och passivhus och annan teknik som vanligtvis inte använts i dessa sammanhang.

Denna inledande kartläggning (steg 1) kan komma att ligga till grund för nästa steg där en utvärdering av de tekniska lösningarna uppfyller de förväntningar man har i byggskedet och senare skeden vad avser energianvändning, inomhusmiljö (bl a luftkvalitet och termisk komfort), brandsäkerhet, produktionsanpassning, ekonomi m m. Det slutliga målet är att ge byggsektorns aktörer ett beslutsunderlag för val av några fåtal tekniska lösningar som kan användas i mycket energieffektiva byggnader, som över tiden är energieffektiva, har god inomhusmiljö, är beständiga och anpassade för en mer omfattande och kostnadseffektiv produktion än idag.

## 3 Lågenergibygnader och utmaningarna

### 3.1 Allmänt

Utmaningarna för att lyckas med lågenergibygnader med bra inomhusmiljö och nöjda brukare är bland annat

- Bra termisk komfort under sommar (undvika övertemperaturer)
- Bra termisk komfort under vinter (värmesystem som är korrekt dimensionerade för antalet boende)
- God ljudmiljö
- Väl projekterade och producerade byggnader för fuktsäkerhet
- God luftväxling
- Klimatskal med bra lufttäthet
- Minimering av köldbryggor och låga U-värden i klimatskal
- Väl fungerande värmeåtervinning
- Förutsättningar för låg energianvändning för varmvatten och fastighetsel
- Användarvänlighet

### 3.2 Lågenergibygnader och utformning/arkitektur

En byggnads form har betydelse för energianvändningen. Ju mindre klimatskalets yta är i förhållande till den invändiga volymen eller golvytan desto energieffektivare byggnad. Vanligen definierar man formfaktorn som omslutande yta dividerat med golvyta ( $A_{om}/A_{temp}$ ). I samband med utformningen av byggnaderna i tidiga skeden beaktas detta. Energibalansberäkningar ger hjälp vid val av byggnadens utformning. I ett flerfamiljshus är det ofta mycket lättare att uppnå en låg formfaktor jämfört med ett småhus. För ett flerbostadshus är det inte orimligt att uppnå en formfaktor kring 1,0 medan det för ett småhus i princip är omöjligt att komma under 2,2. Å andra sidan är det för flerbostadshus svårare att uppnå en mycket låg genomsnittlig värmegenomgångskoefficient ( $U_m$ ), detta beroende på att klimatskalets andel fönsteryta är mycket större. Orsaken är att även de bästa fönstren som finns att få tag i ändå har 5-8 gånger sämre isolerförmåga än en bra vägg.

En låg formfaktor vilket är att föredra indikerar att byggnaden har en förhållandevis liten omslutningsyta, byggnaden har troligen också få vinklar och burspråk vilket minskar andelen köldbryggor. Varje hörn och vinkel medför en köldbrygga oavsett om där finns extra regler eller pelare.

Tabell 1 Inverkan av utformning på transmissionsförlusten uttryckt såsom ”specifik transmissionsförlust”, d v s byggnadens totala transmissionsförlust fördelad på den uppvärmda ytan  $A_{temp}$  ( $A_{temp}$  130 m<sup>2</sup>)

”Specifik transmissionsförlust” (W/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )	”Formfaktor” $A_{om}/A_{temp}$ (-)	A <sub>om</sub> (m <sup>2</sup> )	U <sub>m</sub> (W/m <sup>2</sup> A <sub>om</sub> )	
Passivhus	<b>40,6</b>	2,23	290	0,14
Låg	<b>61,6</b>	2,23	290	0,22
Normal	<b>94,5</b>	2,69	350	0,27
Hög	<b>127,1</b>	3,11	410	0,32

Fönsterplaceringen har stor inverkan på den termiska komforten och därmed inomhusmiljön. Stora fönster i öster, väster och söder som inte är försedda med utvändigt solavskärmning

kan medföra klagomål på höga temperaturer. Detta är dock inget problem som är speciellt endast för lågenergihus.

### 3.3 Brukarbeteende

Brukarbeteendet får en allt större betydelse i takt med att byggnaderna använder mindre energi för uppvärmning och tekniska funktioner såsom fläktar och pumpar. Varmvattenanvändningen och hushållsel påverkas direkt av brukarna. Bland annat har man sett att i de fall hyresgäster debiteras för varmvattenanvändning eller energianvändning så minskar energianvändningen. En ökad medvetenhet med hjälp av visualisering av kan vara ytterligare en väg att gå. Brukarna påverkar även energianvändningen för uppvärmning genom att önska en viss inomhustemperatur.

Uppskattningar av sparpotentialen för individuell mätning av värme och varmvattenanvändning skiljer sig ganska mycket. Individuell mätning och debitering av elanvändningen i lägenheter bedöms minska elanvändningen med 10-15 % (Statens Offentliga Utredningar 2008).

Elanvändningen i flerfamiljshus ökar stadigt vilken till stor del beror på ökningen av antal produkter i hushållet samt den ökade användningen av produkterna. För att förbättra energianvändande produkters energieffektivitet har lagen om ekodesign trätt i kraft sedan 1 maj 2008. Ekodesigndirektivet kommer att innebära begränsningar för de flesta energianvändande produkter. Bland annat kommer krav att införas för vitvaror, hushållsapparater, TV, datorer, hemelektronik, belysning m m. Till exempel drar många produkter energi även om de står i stand-by läge. Enbart stand-by förluster i ett hushåll kan uppgå till 500 kWh per år. Beroende på livslängd och utbyteshastighet av produkter kan det ta flera år innan effekter av ekodesigndirektivet syns i energistatistiken.

### 3.4 Ekonomi

Ekonomi är en annan utmaning för att energieffektiva tekniska lösningar skall bli använda i byggsektorn. Investeringskostnaden värderas ibland (blir alltmer vanligt) tillsammans med den energibesparing som lösningen medför. Avgörande för besluten om energieffektiva lösningar är hur man väljer att räkna på detta, hur en LCC-beräkning utförs. Denna aspekt behandlas inte vidare inom denna förstudie.

Lågenergibygnader med tjocka ytterväggar kan påverka projektets ekonomi på så sätt att den uthyrningsbara ytan minskar. Även ytor för installationstekniska lösningar påverkar den yta som kan hyras ut. Detta värderas många gånger tillsammans med övriga faktorer som avgör valet av teknisk lösning.

### 3.5 Rationellt byggande

Dagens tillvägagångssätt vid produktion av lågenergihus bedöms ha mycket stor förbättringspotential för att vara helt rationellt. Flera tekniska lösningar som används idag kräver mycket kunskap, förståelse och stor noggrannhet för att resultatet skall bli bra - det är inte alltid lätt att bygga rätt. Idag genomförs också många verifieringar/uppföljningar under produktionstiden vilket kan innebära störningar om inte målen uppfylls. Ett mer rationellt sätt är att före produktionsstart ha lösningar som man redan har verifierat och som man vet att de kommer att uppfylla målen. Verifierade tekniska lösningar tillsammans med utbildning och korrekt information vid rätt tillfälle under produktionen kan vara en bra grund för ett rationellt byggande. Sedan kan stickprovsmässiga kontroller göras under produktionstiden.

Många företag formulerar nu ”teknikplattformar” som företaget använder och som utgör basen för ett mer rationellt byggande. Antalet tekniska lösningar som man inom ett företag tillämpar begränsas till förmån för ett mer rationellt byggande.

### **3.6 Kvalitetssäkring avgörande**

Kvalitetssäkring är viktig för all byggproduktion och i ännu större utsträckning är det viktig för lågenergihus där marginalerna är mindre. Exempelvis är många välisolerade konstruktioner känsligare för inbyggda fuktiga material. Det är en utmaning för byggsektorn att öka kompetensen för att alla delar skall bli så väl genomförda som det behövs för att nå målet.

Som stöd för byggsektorns arbete att säkra fuktsäkra byggnader har ByggaF ([www.fuktcentrum.lth.se](http://www.fuktcentrum.lth.se)) tagits fram, och på samma sätt finns ByggaL ([www.lufttathet.se](http://www.lufttathet.se)) som är en metod att nå lufttäta byggnader. Även stöd för att bygga energieffektiva byggnader håller på att tas fram, ByggaE.

När man väljer komponenter och tekniska lösningar bör man om möjligt välja sådana som har verifierade funktioner.

## 4 Byggnadstekniska lösningar

De lösningar som presenteras nedan kan användas både i väggar och tak, i vissa fall bjälklag.

De tekniska lösningar som presenteras ger inte en bild av alla lösningar som förekommer eller har möjlighet att användas för att producera lågenergihus. Lösningarna som behandlas är de som inom projektgruppen bedömts vara mest intressanta.

### 4.1 Lätta klimatskal (trä eller stålreglar)

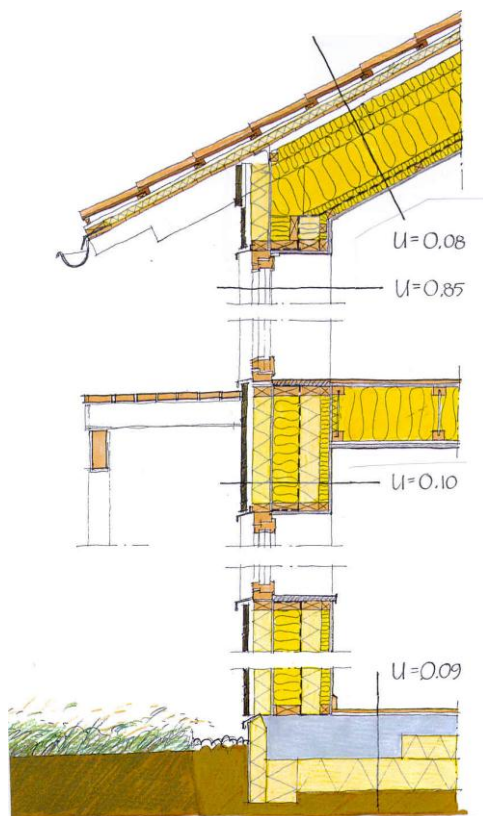
#### Referensprojekt och beskrivning

Bland de lågenergihus och passivhus som producerats hittills är lätta klimatskal och utfackningsväggar den vanligare lösningen. Dessa lätta klimatskal är uppbyggda med en inre diffusions- och lufttätning, värmeisolering mellan reglar (trä eller stål), vindskydd, luftspalt och fasadbeklädnad. Vindskyddet väljs ofta som värmeisolerande för att minska köldbryggor och öka fuktsäkerheten. Se principuppbyggnad nedan.

Några exempel på projekt med lätta klimatskal ses i tabell nedan:

Tabell 2 U-värden hos konstruktioner och fönster hos några lågenergihus och passivhus.

	U-värde väggar	U-värde tak	U-värde grund	U-värde fönster
Lindås (2 vån 20 lgh)	0,10	0,09	0,12	0,85
Frillesås (2 vån 12 lgh)	0,11	0,08	0,11	0,7
Värnamo (2 vån 40 lgh)	0,10	0,08	0,09	0,85
Växjö (8 vån 64 lgh)	0,10	0,08	0,09	<1,0
Hamnhuset (4 vån 115 lgh)	0,17	0,09		1,1
Brogården Alingsås (ombyggnad 3 vån 300 lgh)	0,12	0,11	0,25	0,85



Figur 1 Konstruktionsutformning i passivhusen i Lindås. Isolertjockleken i ytterväggen är 430 mm och i taket 480 mm.

### Låg energianvändning

U-värden ligger i många fall ner mot 0,1 W/m<sup>2</sup>K. Projekteringen och utförandet av konstruktionerna är ytterst viktig för att undvika köldbryggor och att åstadkomma god lufttäthet. Det mycket noggranna arbete som erfordras är nödvändiga för att energianvändningen skall bli tillräckligt låg. Det krävs god arbetsplanering, information och kontroll/uppföljning för att styra upp arbetet. Flera lager korslagda träreglar med mellanliggande isolering samt ett utvändigt isolerande vindskydd bidrar till att undvika genomgående köldbryggor.

Lätta klimatskal har inte samma värmekapacitet som tunga stommar av betong, även om den invändiga gipsen (enkel eller dubbel) bidrar till värmelagringsförmågan.

### Lufttäthet



Figur 2 Lufttätheten vid fönsteranslutning har i detta fall skapats genom att vika in plastfolien i fönstersmyg och täta i hörnen och mot fönsterkarm.

Lufttätheten skapas oftast med ett inre tätskikt av plastfolie som tejpas eller kläms i skarvar och anslutningar. För en skyddad placering väljs oftast en indragen plastfolie så att eldragningar och infästningar kan ske utan att tätskiktet punkteras. Beständigheten hos valda lösningar måste vara god. Om tejper, fogmassor eller dubbelhäftande band används skall beständigheten efterfrågas hos materialleverantören så att materialet fungerar väl tillsammans med det material som applikationen sker mot (såsom plastfolie, betong, trä eller annat).

Ett annat eller kompletterande alternativ att skapa lufttätet är att ha ett yttre lufttätande skikt där vindtätet och lufttätet kombineras. Tekniken har testats i Norge och USA. Det är en intressant lösning som bör undersökas för svenska förhållanden och produktionsmetoder.

Utbildning och noggrant arbetsutförande är viktig för att lufttäta konstruktioner skall uppnås. Se vidare [www.lufttathet.se](http://www.lufttathet.se).

### **God innemiljö (med avseende på termisk komfort och luftkvalitet)**

Värmekapaciteten och värmelagringsförmågan är begränsad i lätta stommar och temperaturtoppar utjämnas inte i samma utsträckning som om det finns tunga stommar att tillgå. Ofta kan dock bjälklag vara av tung stomme även i de fall som har ett lätt klimatskal. Beräkningar av termisk massa behövs för att utvärdera hur långt man kommer med bara tunga bjälklag i jämförelse med om alla omslutande ytor är av tung stomme.

### **Fuktsäkerhet**

Konstruktionerna måste fuktsäkerhetsprojekteras och utföras väderskyddat om det ingår fuktkänsliga material i lösningen. Ett sätt att öka fuktsäkerheten i träregelkonstruktioner är att isolera dem på utsidan. Inom projektet Framtidens Trähus har man räknat på lämplig isolertjocklek för sådana isolerskikt utvändigt en träregelstomme [Hägerstedt, Harderup].

### **Beständighetsaspekter avseende energianvändning**

Isolering och lufttätet har god beständighet. Uppföljande mätningar av lufttätet i Lindås visar på samma goda lufttätet efter 10 år som när husen var nya. Det är av stor vikt att man planerar för lösningar och materialkombinationer som ger en beständigt god lufttätet under hela byggnadens livslängd eftersom det lufttätande skiktet är inbyggt och ej åtkomligt för komplettering i efterhand.

### **Underhållsbehov och driftkostnader**

Normalt underhåll som beror på val av fasadmaterial.

## **4.2 Tunga klimatskal – prefabricerat/sandwich eller platsgjuten betong**

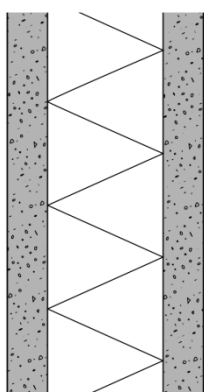
### **Beskrivning – referensobjekt**

Både i Sverige, men framförallt i övriga Europa, finns många exempel på lågenergibyggnader med tung stomme som är mycket energieffektiva. Några av exemplen med tung stomme som finns i Sverige är:

- Lärkträdet i Vara som är passivhus uppförda med fasadelement av sandwich-element av betong. Bjälklagen är utförda med TermoDeck-systemet. Lufttätheten underskrider  $0,3 \text{ l/m}^2\text{s}$ . Byggherre är Varabostäder och Tommy Byggare var huvudentreprenör.
- Kvarteret Klyvaren i Malmö som är ett passivhus uppfört med sandwichelement (betong) med 180 mm cellplastisolering. Entreprenör är NCC.
- Blå Jungfrun som är ett flerbostadshus uppfört i Stockholmstrakten av Svenska Bostäder. Byggnaden uppfyller enligt uppgift kraven för passivhus.

### Låg energianvändning

Den värmeisolerande förmågan hos betong är så låg att stommen behöver kompletteras med ett värmeisolerande material. Detta värmeisolerande material kan placeras på utsidan av betongen. Detta är en fördel för att undvika köldbryggor vid exempelvis bjälklagsanslutningar. En annan vanlig utformning är sandwichelement med isoleringen mellan två skikt av betong.



Figur 3 Principbild över ett sandwichelement. Teckning: Eric Werner.

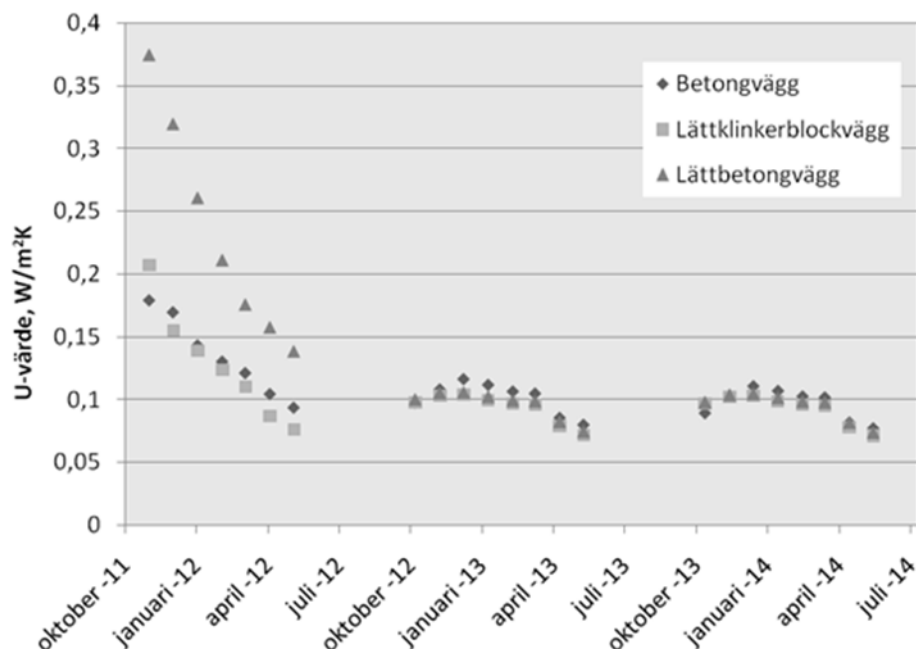
I dag används huvudsakligen mineralull och cellplast som isolermaterial för att komplettera båda lätta och tunga stommar. Båda materialgrupperna är välutvecklade och tillverkarna kan erbjuda produkter med en optimal isoleringsförmåga. Det kan också vara mycket värdefullt att använda högeffektiv isolering lokalt där man har behov av slanka/tunna konstruktioner osv.

Värmekapaciteten hos det tunga klimatskalet av betong bidrar till byggnadens termiska massa som inverkar till möjligheten att värme/kyla lagras i stommen och därmed minskar behovet av installerad eleffekt och det termiska klimatet blir jämnare då exempelvis temperaturtoppar/temperaturdalar kan undvikas/dämpas. Förutsättningen är att den termiska massan är exponerad mot innemiljön, dvs inga värmeisolerande material som avskärmar den tunga stommen mot innemiljön. Betongen förlänger byggnadens tidskonstant, som är ett mått på den tid det tar för en byggnad att reagera på en temperaturändring utomhus. Det påtalas även ibland att den värmelagringsförmågan även kan medföra att perioder med hög inomhustemperatur (övertemperatur) förlängs på ett oönskat sätt. Vidare studier av värmelagringens effekter på energianvändning och inomhustemperatur bör utföras för mycket energieffektiva byggnader. För normala byggnader har dock studier visat att energianvändningen påverkats marginellt av en tung stomme [Fredrik Ståhl].

Man kan använda en byggnads termiska massa aktivt eller passivt. Se vidare i avsnitt 4.8.



Betong och andra mineraliska tunga byggnadsmaterial kan innehålla en viss mängd byggfukt som torkar ut under de första åren. Detta fuktt innehåll ökar konstruktionens U-värde till viss del – se beräkningsexempel av U-värde nedan.



Figur 4 I diagrammet visas beräknat U-värde för tre konstruktioner där vi utgått från att materialen innehåller byggfukt från starten av beräkningen. Alla konstruktionerna har ett dimensionerat U-värde på 0,1 W/m<sup>2</sup>K och är uppbyggda såsom sandwichkonstruktioner med en kärna av PUR (värmekonduktivitet 0,025W/mK) och med 100+100 mm av materialen enligt diagrammet. I utgångsläget har följande fuktkvoter antagits: betong 7 %, lättklinkerblock 15 %, lättbetong 33 %. Värdena för byggfukten som använts i beräkningarna kommer från Fraunhofer IBP's materialdatabas. Beräkningen har utförts för en byggnad placerad i Göteborg. Utförd av Carl-Magnus Capener, SP.

## Lufttätthet

Lufttättheten hos materialet betong är god, och förutsättningen är god för att nå lufttäta byggnader då klimatskalet utgörs av betong som isoleras på sin utsida. Exempelvis har täthetsprovning av referensprojekt med sandwichelement visat på luftläckage som understiger 0,2 l/m<sup>2</sup>s.

De ställen där luftläckage kan ske är enligt erfarenhet vid SP vid anslutningar mot fönster och dörrar och anslutning mot vindsbjälklag om detta inte utgörs av betong liksom vid eventuella otätade skarvar mellan block. De flesta av dessa läckageställen är överblickbara och exponerade så att de kan åtgärdas vid behov.

För att undvika onödiga ursparingar och håltagningar är det viktigt att placering av kanaler, rör mm planeras väl och att samgranskning sker.

## God innemiljö

Ett klimatskal med en invändig yta av betong har oftast en viss mängd byggfukt som behöver torka ut. Denna fukt kan påverka fuktsäkerheten hos konstruktioner (se nedan) och

fukt diffunderar även till inneluften. Denna mängd fukt är dock så pass liten i förhållande till den luftväxling vi har att den inte påverkar den relativa fuktigheten hos inomhusluften. Eventuella emissioner till inneluften beror sannolikt främst av om betongen tillförts några tillsatser.

Frågor om termisk komfort – se ovan.

### **Fuktsäkerhet**

Ta hänsyn till att byggfukt torkar både inåt och utåt. Beroende på fukttinnehåll i betongen kan det ibland vara olämpligt att montera fuktkänsliga material direkt mot betongen. En fuktsäkerhetsprojektering med hänsyn till byggfukt mm måste alltid utföras vid nyproduktion.

### **Beständighetsaspekter avseende energianvändning**

Ett klimatskal av betong med utvändigt isolering eller sandwichelement har mycket goda förutsättningar att ge en beständigt låg transmissionsförlust. Även lufttätheten torde vara god i det långa loppet om beständiga material används och som är anpassade för användning ihop. Vid behov av komplettering eller åtgärd av lufttätheten är insidan av konstruktionen lätt tillgänglig.

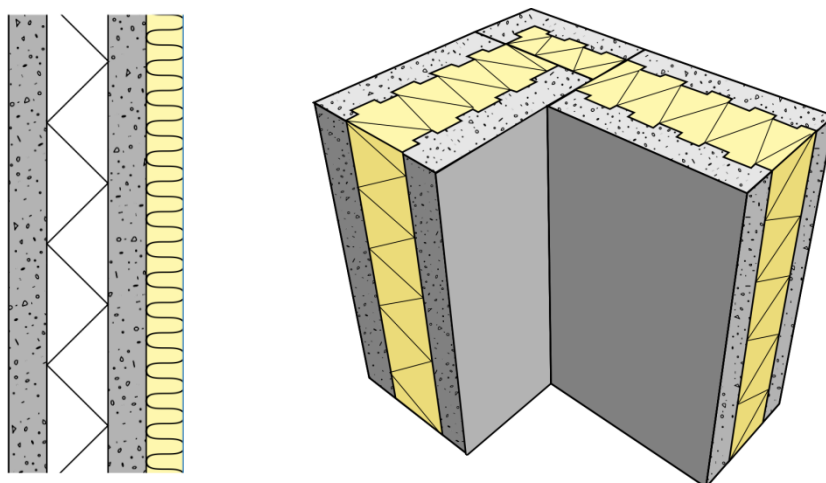
### **Underhållsbehov, brukarvänlighet, driftkostnader**

Underhållsbehovet för konstruktionen, liksom kostnaden för driften, beror av vilka invändiga ytor som väljs liksom hur konstruktionen kläs på utsidan.

## **4.3 Lättklinkerblock kompletterad med isolering**

### **Referensprojekt och beskrivning**

Ett exempel på lågenergihus med lättklinkerblock med en kärna av polyuretan är Öresund Green som är utvecklat av bl a Skanska (se [www.weber.se](http://www.weber.se), [www.skanska.se](http://www.skanska.se)).



Figur 5 I ett lågenergihus kan man använda väggblock med lättklinker och med en kärna av cellplast. På bilden till vänster har väggblocken kompletterats med utvändigt isolering. Teckning: Eric Werner Tecknaren.

## Låg energianvändning

Murblock av lättklinker behöver kompletteras med värmeisolering för att inte konstruktionerna skall bli alltför tjocka. Se produkter och utformning ovan.

Lättklinkerblock har viss förmåga att lagra värme och kyla, dock inte i lika stor utsträckning som betong eftersom materialet är mycket lättare. Lättklinkerblock kommer att putsas på sin insida för att skapa en yta och lufttätande skikt, och detta skikt bidrar också till den termiska massan som lagrar värme och kyla. En viss utjämning av temperaturen kan förväntas, men några studier kring detta har vi inte kunnat finna.

Lättklinkerblock kan innehålla en viss mängd byggfukt som torkar ut under de första åren. Detta fuktinnehåll påverkar konstruktionens U-värde till viss del – se beräknings-exempel av U-värde i Figur 4. Om lättklinkerblocket fuktas upp på annat sätt, t ex beroende på utformning/täthet hos fasad, kan påverkan ske på U-värdet beroende av hur mycket fukt som tillförs.

## Lufttäthet

Eftersom själva lättklinkerblocken är luftgenomsläppliga måste lufttätheten åstadkommas genom kompletterande skikt. Vägglinkerblocken putsas på sin insida, och många gånger även på sin utsida och lufttätheten beror därför till stora delar av hur lufttätt detta skikt blir liksom hur täta anslutningarna till bjälklag och genomföringar blir. Skiktet av polyuretan erbjuder också en lufttäthet, men lufttätheten beror av tätheten i skarvar och anslutningar.

En kritisk detalj är hur lufttätheten mot exempelvis ett lätt vindsbjälklag med lufttätande skikt av plastfolie ordnas.

## God innemiljö

Enligt tillverkarens hemsidor finns inga hälsopåverkande emissioner. Den termiska massan kan inverka på en jämnare inomhustemperatur enligt ovan.

## Fuktsäkerhet

Skydda fukt känsliga material och fuktsäkerhetsprojektera konstruktionerna, t ex med avseende på byggfukt, regnpåverkan, fuktdiffusion och fuktkonvektion. Putsarbete kommer att utföras inne och åtgärder för att skydda byggnad måste vidtas.

## Beständighetsaspekter avseende energianvändning

U-värdet hos isolerblocken har goda förutsättningar att behålla sina värden. Lufttätheten kan dock förändras om det uppstår rörelsesprickor i de putsade skikten och anslutningar.

## Underhållsbehov, driftskostnader och brukarvänlighet

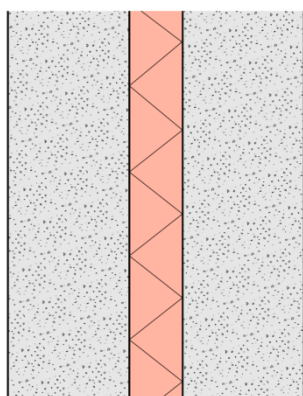
Underhållsbehovet för konstruktionen, liksom kostnaden för driften, beror av vilka invändiga ytor som väljs liksom hur konstruktionen kläs på utsidan. Eftersom det kan vara viktigt att det inre putsade skikten inte får sprickor och/eller hål kan detta ge ett visst underhållsbehov, men även begränsningar för brukaren att montera inredning som innebär håltätning i lufttätande skikt.

## 4.4 Lättbetong kompletterad med isolering

### Referensprojekt och Beskrivning

Energieffektiva byggnader med lättbetong i klimatskal kan kompletteras med värmeisolering på utsidan eller integrerat i blocket för att nå mycket låga U-värden. Det finns ett flertal produkter på marknaden.

Villa med passivhusstandard planeras vara färdigställt i Lomma under 2011. Ytterligare uppgifter saknas ännu. Byggnaden uppförs med 500 mm massiv lättbetongblock.



Figur 6 Lättbetongblocket med integrerad isolering.

### Låg energianvändning

Värmekonduktiviteten hos lättbetong är högre än för många andra isolermaterial och kompletteras lämpligen med en utvändig eller integrerad isolering för att erhålla U-värden på  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Massiva väggblock med bredd 500 mm ger en yttervägg som med slutbehandling har ett U-värde om  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$  enligt tillverkare ([www.aeroc.se](http://www.aeroc.se)). För att nå lägre U-värden bör väggen kompletteras med värmeisolering. Det finns produkter utformade som sandwichelement (integrerad isolering) där U-värdet uppges vara  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$  för ett 400 mm tjockt block.

Lättbetongblock kan innehålla relativt stor mängd byggfukt som torkar ut under de första åren. Detta fukttinnehåll påverkar konstruktionens U-värde – se beräkningsexempel av U-värde i Figur 4. I beräkningsexemplet är U-värdet betydligt större under första året. Om lättbetongblocket fuktas upp på annat sätt, t ex beroende på utformning av regnkappan utvändigt fasaden, kan påverkan ske på U-värdet beroende av hur mycket fukt som tillförs.

Lättklinker och lättbetong har mycket liknande termiska egenskaper. Lättbetong har också en viss förmåga att lagra värme och kyla (jämförbar med massivt trä), dock inte i lika stor utsträckning som betong. Lättbetong kommer att putsas på sin insida för att skapa en yta och lufttätande skikt, och detta skikt bidrar också till den termiska massan som lagrar värme och kyla. En viss utjämning av temperaturen kan förväntas, men några studier kring detta har vi inte kunnat finna.

### **Lufttäthet**

Lufttätheten hos byggnader med lättbetong i klimatskalet bedöms vara beroende av framförallt lufttätheten vid anslutningar, genomföringar m m. En kritisk detalj är hur lufttätheten mot exempelvis ett lätt vindsbjälklag med lufttätande skikt av plastfolie ordnas.

### **God innemiljö (med avseende på termisk komfort och luftkvalitet)**

Det finns inga uppgifter om emissioner som påverkar hälsan. Angående det termiska klimatet, se ovan.

### **Fuktsäkerhet**

Lättbetong innehåller stor mängd byggfukt som tar lång tid att torka ut. Uttorkningen bör projekteras för varje enskilt fall då förutsättningarna såsom regnpåverkan m m är olika från fall till fall. Beroende på vilken fukthalt man torkat materialet till före inredning kan man behöva fuktskydda skåpstommar m m så att de inte blir fuktskadade. Anvisningar kan också behöva lämnas till boende med anvisningar för inredning/möblering.

Då lättbetong är kapillärsugande beror fuktförhållandena i väggen på hur fasad utformas, t ex om man putsar direkt på lättbetongen eller om det är ett regnskydd på utsidan en luftspalt. Eftersom lättbetongens porer är små kan fukt från putsskiktets större porer transporteras vidare in i de mindre porerna i lättbetongen.

Konstruktionen skall alltid fuktsäkerhetsprojekteras.

### **Beständighetsaspekter avseende energianvändning**

U-värdet hos lättbetong kan betraktas som beständigt. Innan byggfukten är uttorkad kan U-värdet inledningsvis bedömas vara påverkat. Likaså påverkas det av tillförd fukt efter t ex regn.

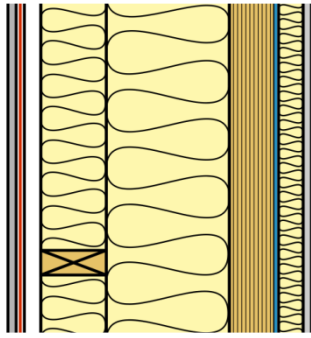
### **Underhållsbehov, driftkostnader och brukarvänlighet**

Underhållsbehovet för konstruktionen, liksom kostnaden för driften, beror av vilka invändiga ytor som väljs liksom hur konstruktionen kläs på utsidan.

## **4.5 Massiva trästommar – kompletterad med värmeisolering**

### **Referensprojekt och beskrivning**

Det finns lågenergibygnader uppförda med massivträ. För att erhålla de låga U-värden som behövs kompletteras massivträet med värmeisolering. I Figur 7 nedan är det massiva träelementet 83 mm tjockt (Portvakten i Växjö).



Figur 7 Denna konstruktion med en massiv träskiva med tjockleken 83 mm är kompletterad med en PE-folie som diffusions- och lufttätning. Lösningen har använts i Portvakten i Växjö som är ett 8-vånings flerbostadshus med element från Martinssons Byggsystem. Teckning: Eric Werner Tecknaren.

### Låg energianvändning

Beroende av hur mycket isolerings som används kan mycket lågt U-värde byggas. I Portvakten är U-värdet för ytterväggs konstruktionen beräknad 0,11 W/m<sup>2</sup>K. För en låg energianvändning måste även lufttätheten vara mycket god.

### Lufttäthet

För massiva träelement beror lufttätheten av hur den massiva trädelen fogats samman och hur olika byggnadselement ansluts. En laboriemätningar av lufttätheten med lösningar med skivor av trä (cross laminated timber) visar att lufttätheten även kan variera beroende av fuktrörelser då trä krymper då det torkar [Skogstad et al, 2011]. Anslutningar mellan olika byggelement och vid genomföringar är ett annat kritiskt område. I Portvakten valde man att komplettera lufttätheten med en lufttätt monterad plastfolie. Rekommendationen ges även i [Skogstad, 2011]. Lufttätheten i Portvakten uppmättes vara 0,225 l/m<sup>2</sup>s.

### Fuktsäkerhet

Konstruktionerna måste fuktsäkerhetsprojekteras då klimatskalet bland annat innehåller trä som har låg mögelresistens. Element med massivträ likt det som användes i Portvakten prefabriceras industriellt och monteras ihop på plats under väderskydd.

### God innemiljö

Förutsättningarna för god innemiljö är lika bra som för lätta konstruktioner.

### Beständighetsaspekter avseende energianvändning

De använda isolermaterialen är beständiga över tiden. Det man måste planera för är en beständigt god lufttäthet.

### Underhållsbehov och driftkostnader

Normalt underhåll som beror av val av fasadmaterial.

## 4.6 Andra byggnadstekniska lösningar

Förutom de hittills nämnda principlösningarna finns ett stort antal andra tekniska lösningar för att bygga upp energieffektiva klimatskal. Förstudien har inte möjlighet att kartlägga alla. Dock anges ytterligare några principer nedan.

### Massiva cellplaststommar

Det finns olika typer av massiva cellplaststommar. Ett exempel är sandwichelement med cellplastblock limmad mot skivor av magnesiumoxid och osb. Väggelementen är 40 cm. Källa Ziphouse. En annan är cellplastblock med kanaler som fylls med betong. Blocken är 50 cm tjocka som enligt tillverkaren ger ett U-värde för färdig vägg om 0,08 W/m<sup>2</sup>K. Källa Cellplast Direkt.

Cellplast erbjuder en god värmeisolering. Avgörande för den slutliga lösningens energieffektiv egenskaper är förutom isoleringens värmeisolerande förmåga att konstruktionen är lufttät, att det inte finns luftrörelser i spalter och att köldbryggor undviks (gäller alla konstruktioner).

Cellplast erbjuder olika lufttätethet beroende på vad det är för material och konstruktionens lufttätethet beror dessutom av den valda isolertjockleken. Skarvar, anslutningar och genomföringar är de mest kritiska delarna för att få en lufttät konstruktion.

Konstruktionerna bör dock alltid fuktsäkerhetsprojekteras för att undvika kondens eller hög relativ fuktighet. Cellplast har ett visst diffusionsmotstånd som kan utnyttjas på rätt sätt. De uppgifter som finns visar att cellplast har en god mögelresistens. Dock måste man alltid utvärdera eventuella material som finns i olika lösningar tillsammans med cellplasten.

Konstruktionslösningarnas utformning måste utföras med hänsyn till brandsäkerheten.

### Träullselement

Värmekonduktiviteten för träull är sämre än för mineralull eller cellplast – 600 mm träullit ger enligt uppgift U-värde på 0,1W/m<sup>2</sup>K. Värmekapaciteten anges motsvara en medeltung stomme. Träull är ett luftgenomsläppligt material. Lufttätetheten måste därför tillföras på ett annat sätt. I villa Ryckert har tätheten skapats med slamning och putsning. Detaljutförandet vid genomföringar och anslutningar är viktig för en god lufttätethet.

Konstruktionen måste alltid fuktsäkerhetsprojekteras. Element av träull kan också innehålla dragstag av trä vilket måste beaktas vid en fuktsäkerhetsprojektering. Byggfukt kan finnas i träullen beroende på förutsättningar i fabrik och på byggarbetsplats. Undersök behov av uttorkning.

### Cellglaselement

Det finns prefabricerade element med cellglas som är ett material med slutna celler. Materialet är ångtätt och uppges inte vara kapillärsugande. Värmekonduktiviteten uppges vara från 0,102 W/(mK). Lufttätetheten beror av utförandet vid anslutningar, skarvar och genomföringar.

## 4.7 Isolermaterial

Låga U-värden för väggar, golv och tak åstadkoms genom val av värmeisoleringsmaterial med olika  $\lambda$ -värde, val av isolertjocklek samt frånvaro av köldbryggor så långt som möjligt vilket kräver en mycket god projektering. För väl värmeisolerade konstruktioner utgör ofta köldbryggorna större procentuell andel av den totala värmeförlusten än för dåligt isolerade byggnader. Tänker man sig inte för under konstruktionsskedet visar överslagsberäkningar att köldbryggorna utgör så mycket som upp till en tredjedel av värmeförlusterna genom klimatskalet. För att resultatet skall bli bra har både projekteringen och arbetsutförandet stor betydelse.

En sammanställning av olika isolerprodukter har gjorts och finns redovisat i FoU-Väst rapport 1002. Nedan framgå endast några korta beskrivningar.

### Mineralull och cellplast

I dag används huvudsakligen mineralull och cellplast som isolermaterial för att komplettera båda lätta och tunga stommar. Båda materialgrupperna är välutvecklade och tillverkarna kan erbjuda produkter med en optimal isoleringsförmåga d v s lägsta möjliga värmekonduktivitet. En optimalt tillverkad cellplast eller mineralull har i regel ett värmekonduktivitet på ner till cirka  $0,03 \text{ W/(mK)}$ . För att nå lägre värden krävs åtgärder som att ersätta luften i isoleringen med en gas eller vakuum. Att använda sig av så kallad nanoteknik kan också öka isoleringsförmågan.

Det finns också en EPS-cellplast som innehåller grafit som hindrar infraröd strålning att ta sig igenom. Denna grafit cellplast har en något lägre värmekonduktivitet än vanlig EPS. Normalt brukar värdet  $0,031 \text{ W/(mK)}$  tillämpas för denna typ av isolering vilket är jämförbart med  $0,036$  för EPS utan grafit.

### PUR och PIR

Skivor av PUR (polyuretan) och PIR (polyisocyanurat) är skivor med samma användningsområde som tex EPS-cellplast. Materialet avger isocyanater vid tillverkning och upphettning. Det uppges av tillverkare att värmekonduktiviteten är cirka  $0,023-0,027 \text{ W/(mK)}$ .

### Vakuumisolering

Det finns vakuumisolering för byggnader med värmekonduktivitet ned under  $0,01 \text{ W/(mK)}$ . Tekniken är ännu ganska oprövad och ett stort problem är känsligheten för att panelerna blir perforerade så vakuumet försvinner. Vid användning av vakuumisolering får man heller inte glömma att räkna med effekten av alla köldbryggor som bildas mellan panelerna.

### Aerogeler

Aerogel är ett material med mycket låg densitet och materialet är fyllt av gas eller är vakuum. Värmekonduktiviteten uppges vara  $0,014 \text{ W/(mK)}$ . En tänkbar framtida användning, förutom som det byggnadsmaterial den finns som idag, skulle kunna vara i fönster mellan isolerglas i kombination med vakuum.



## Cellglas

Värmeisoleringen används många gånger i mark. Värmekonduktiviteten uppges vara från 0,102 W/(mK).

## Reflekterande isolering/skikt

Reflekterande isolering är ett tunt isolerskikt som innehåller ett eller flera lager reflekterande folie (aluminium) som skall förhindra värmestrålning. Den här isoleringen fungerar bara om den kombineras med en luftspalt. Generellt sett kan man säga att en tunn reflekterande folie aldrig kan ersätta mer än 4 cm mineralull och det är under förutsättning att den är monterad optimalt med luftspalter på båda sidor.

## Ekonomiska aspekter

En ökad mängd isolering innebär en ökad materialkostnad. Volymeffektiv isolering innebär även det en ökad investeringskostnad. En LCC-beräkning kan visa på vilken investeringskostnad i isolering som är ekonomiskt motiverad för varje enskild byggnad.

Kostnaden för isoleringsmaterialet är inte alltid den största posten, utan merarbetet med att få in isoleringen i väggen kan vara dominerande. Speciellt gäller detta om man måste gå från en enkel till en dubbelväggskonstruktion. Arbetet med att undvika köldbryggor och att bygga klimatskalet lufttätt innebär att resurser måste investeras under projektering och produktion.

I fallet passivhus måste man vid en korrekt LCC-beräkning också ta hänsyn till ifall man samtidigt kan minska andra kostnader, vanligtvis genom att gå från ett radiatorsystem till ett luftvärmesystem.

I det fall att en ökad vägg tjocklek skall rymmas inom den tillåtna byggarean anser byggherrar att den ”förlorade” ytan innebär en kostnad så den inte är inkomstbringande/inverkar på den uthyrningsbara ytan. Vissa kommuner tillåter därför att den tillkommande vägg tjockleken inte behöver räknas in i den byggrätt man har.

Här finns en utvecklingspotential då det ur energibesparingssynpunkt skulle vara ett stort steg framåt att få fram alternativa isoleringsmaterial med lägre värmekonduktivitet till ett rimligt pris.

## 4.8 Konstruktionstjocklek

Beroende på materialval i en konstruktion blir konstruktionens tjocklek olika stor beroende på de ingående materialens värmeisoleringsförmåga. I tabellen nedan har några konstruktionsutformningar antagits och tjockleken beräknats med förutsättningen att samtliga lösningar skall ge ett U-värde om cirka 0,1 W/m<sup>2</sup>K.

Tabell 3 Konstruktion och U-värde för olika väggtyper. Vid beräkningar har det lagt till övergångsmotstånd på 0,13 och 0,04 m<sup>2</sup>,K/W invändigt respektive utvändigt. Material i och utanför luftspalten har ej medräknats. Beräkningen har utförts av Peter Ylmén, SP.

Namn	Konstruktion utifrån och in	Total tjocklek [mm]	U-värde [W/m <sup>2</sup> ,K]
Träregelevägg	- 90 mm mineralullsboard - Stående 195 mm reglar med mineralull - Liggande 70 mm reglar - Gipsplatta 20 mm	375	0,101
Armerad betongvägg (12 cm) med utvändig isolering mineralull	- Mineralull 320 mm - Betong 120 mm	440	0,101
Armerad betongvägg (20 cm) med utvändig isolering mineralull	- Mineralull 320 mm - Betong 200 mm	520	0,101
Torr lättbetong (20 cm) med utvändig isolering mineralull	- Mineralull 260 mm - Lättbetong 200 mm	460	0,100
Torr lättbetong (30 cm) med utvändig isolering mineralull	- Mineralull 230 mm - Lättbetong 300 mm	530	0,099
Fuktig lättbetong (20 cm) med utvändig isolering mineralull	- Mineralull 290 mm - Lättbetong 200 mm	490	0,101
Fuktig lättbetong (30 cm) med utvändig isolering mineralull	- Mineralull 280 mm - Lättbetong 300 mm	580	0,099
Lättklinkerblock (20 cm) med utvändig isolering mineralull	- Mineralull 290 mm - Lättklinker 200 mm	490	0,101
Lättklinkerblock (30 cm) med utvändig isolering mineralull	- Mineralull 280 mm - Lättklinker 300 mm	580	0,099

## 4.9 Lösningar för lagring av värme/kyla i byggnadsstomme

I detta avsnitt behandlas byggnadsdelar och deras förmåga att lagra värme och/eller kyla i den termiska massan från en period till en annan och på så sätt minska behovet av tillförd värme eller kyla.

### Tunga stommar

Man kan använda en byggnads termiska massa aktivt eller passivt. Passiv värmelagring sker i den termiska massan hos alla byggnadsdelar (men också inredning m m). Värme- och kylförmågan är relativt god i vanliga byggnadsmaterial, men övergångsmotståndet mellan luft och material minskar åtkomsten av lagringspotentialen drastiskt. Tekniken är ofta lämpligast i klimat med stora dygnsvisa temperatursvängningar. Om brukare kan acceptera viss svängning i inomhustemperatur är det en fördel (svängningen brukar upplevas som negativ). De exponerade ytan hos de termiska massorna måste vara tillräcklig.

I byggnader med normal energianvändning har studier visat att den termiska massans inverkan på den totala energianvändningen är marginell. I mycket energieffektiva byggnader är den termiska massans betydelse för den totala energianvändningen ännu inte helt klarlagd. Se vidare [Ståhl, 2009]. Här behöver ytterligare studier utföras. Det finns exempelvis ett behov av att visa på hur mycket termisk massa som ger in positiv inverkan på innemiljön respektive på energianvändningen. Man behöver även visa på om det finns några negativ effekter som t ex om det vid speciella förhållanden blir så att övertemperaturer lagras då så inte önskas. Ytterligare en aspekt är att om byggnaden av någon anledning blir kraftigt nedkyld kan det ta väldigt lång tid att komma upp i normal temperatur igen.

Genom att låta vatten eller luft passera i kanaler eller rör i den termiska massan utnyttjas den termiska massan aktivt och mer effektivt och benämns aktiv värmelagring. Det finns idag olika system för detta. System för att utnyttja den termiska massan aktivt finns idag och som exempel omnämns i det pågående Annex 44 arbetet systemet Thermodeck som är ett system med tilluftskanaler i mellanbjälklag av betong.

### PCM (Phase Change Materials)

Då ett material övergår från flytande till fast form frigörs energi. På samma sätt upptas energi då ett material går från fast form till flytande. Denna energi frigörs respektive upptas utan att temperaturen förändras hos materialet. På detta sätt får så kallade fasomvandlande material (PCM) bättre värmelagrande egenskaper än traditionella byggnadsmaterial. Genom att välja material som har sin fasomvandling vid rumstemperatur kan denna energi utnyttjas som värmelagring. Vanligtvis används salter (oorganiska) eller parafiner (organiska). Hur mycket energi som kan tas upp respektive avges bestäms av materialets smält- och ångbildningsentalpi. Mängden energi ligger i regel som mest på runt 100 Wh/kg material.

Det finns idag exempelvis skivmaterial och inomhusputs med PCM inblandat, men det finns även i form av granulär. PCM kan också användas som kompakta värmelager i väggar, golv och tak. I ytterväggar kan det placeras både på insidan av och utsidan av väggens isolering. Placeras det fasomvandlande materialet på insida av isoleringen lagras ett värmeöverskott inomhus från en period till en annan. På marknaden finns det färdiga byggelement med PCM i.

Ett fasförändringsmaterial är inte helt reversibelt vilket gör att applikationen har en livslängd och en verkningsgrad som hela tiden minskar för varje fasövergång som äger rum.

Exjobb har påvisat att hållfastheten bör beaktas vid inblandning av vissa PCM-material. Se vidare [Herlin et al].

Arbete pågår inom IEA ECBCS Annex 44 där PCM är en teknik som beaktas. Olsson M, Linder Kristofer, 2009. *Latent värmelagring i väggar*. Umeå Universitet

## 4.10 Väggar – generellt

Stommen och isolermaterial i väggar kan utgöras av lösningarna i kapitel 4.1-4.8. En aktuell och viktig frågeställning är att utforma ytterväggarna fuktsäkra med väl utformade detaljer så att fukt utifrån inte tränger in i väggen eller att byggfukt stängs inne och ger upphov till skador. I övrigt se kommentarer under fukt i tidigare avsnitt.

## 4.11 Tak – generellt

Stommen och isolermaterial i tak kan utgöras av lösningarna i kapitel 4.1-4.8. Vid utformning av tak måste man dessutom beakta de speciella frågeställningar som finns för takkonstruktioner. En av de viktigaste frågorna för takkonstruktioner är att de skall vara fuktsäkra samtidigt som de erbjuder små värmeförluster.

Tak kan utföras såsom ventilerade, oventilerade eller massiva. Ventilerade tak är den vanligast förekommande.

### Ventilerade tak

Ventilerade tak över väl värmeisolerade vindsbjälklag kan riskera att få fuktrelaterade problem om man inte fuktsäkerhetsprojekterar väl. Åtgärd som ibland används är att isolera utsidan av underlagstaket för att minska nedkylande effekten utifrån. Ett annat sätt att minska risken för fuktproblem på vinden är att man endast ventilerar vinden då ventilationsluften kan bidra till att fukt förs bort från vinden och att ventilationen minskas eller stängs av då ventilationsluften inte bidrar till att sänka den relativa fuktigheten. En viktig förutsättning för alla förbättrande åtgärder är dock att endast torra material byggs in i konstruktionen och att fuktkonvektion inifrån undviks.

### Oventilerade tak och massiva tak

Det finns takkonstruktioner som utförs så att de inte ventileras och ibland utförs de som massiva tak. Det finns en stor mängd lösningar men genomgående är att fuktsäkerhetsprojektering alltid måste ske. Exempel på oventilerade tak kan vara tak som har ett yttre tätskikt som är diffusionsöppet för att undvika att fukt stängs inne mellan två täta skikt. Det finns även så kallade omvända tak som tillåter att konstruktionen i stora delar utsätts för nederbörd, men att materialvalet är anpassat för detta.

## 4.12 Grunder – generellt

Huvudprinciperna för grunder är krypgrund, platta på mark och källare. Dessa måste vara fuktsäkra förutom att de skall erbjuda små värmeförluster.

### Platta på mark – kantbalkar

Platta på mark med underliggande värmeisolering är en vanlig lösningar för grundläggningen. Dessa lösningar bedöms ofta beprövade men det är alltid viktigt att ta hänsyn till uttorkning av byggfukten och att markfukt inte påverkar fuktsäkerheten. Ur energisynpunkt har lösningen med platta på mark ofta en transmissionsförlust vid kantvoten invid ytterväggens upplag. Denna lösning bör utvecklas för att minska köldbryggan och värmeförlusterna.

### Varmgrund

Varmgrund är en mindre vanlig lösning som grundläggning för flerfamiljshus. Lösningen bygger på att ett krypbart utrymme under bottenbjälklaget värmeisoleras mot marken och längs kantbalkarna. Utformningen vid tex anslutningen mellan vägg och grund måste utformas väl för att undvika köldbryggor och eventuella kondensproblem. Uppvärmningen av utrymmet sker genom att grunden har en värmekälla alternativt att inneluften passerar grunden innan den förs ut ur byggnaden. Den uppvärmda volymen ökar i jämförelse med en alternativ grundläggning som platta på mark.

## Källare

Källare är en lösning som ibland används i flerfamiljshus, ofta för att få plats med garage eller förråd. En god princip är att värmeisolerad de motfyllda väggarna och bottenplattan på sin utsida respektive undersida. En fuktsäkerhetsprojektering bör alltid göras.

## 4.13 Fönster

### 4.13.1 Allmänt

#### U-värde

U-värden hos fönster kan vara så låga som  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , även om fönster med U-värden under  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  betraktas som mycket energieffektiva. En ny dörr har i regel ett U-värde mellan  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  och  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , detta enligt en undersökning som Energi-myndighetens Testlab har låtit genomföra för ett antal ytterdörrar. Undersökningen visade också att flertalet av de nya dörrarna inte klarade kraven på lufttäthet. Några förbättringsmöjligheter som man undersöker är bland annat att ha vakuumpaneler i dörrar [Eberlein et al]. Även möjligheten att ha vakuum i isolerglaskassetter skulle förbättra isolerförmågan.

Ytterligare ett sätt att minska transmissionsförlusterna genom klimatskalet under delar av dygnet är att använda fönsterluckor. Ett exempel är Villa Stångby i Lund där man anger att U-värdet för fönstret med stängd lucka  $0,47 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , mot  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  utan lucka [Granmar, 2011]. Det som man måste vara medveten om i detta sammanhang är att energivinsten beror helt av i vilken mån man har luckorna stängda.

Ett annat likande exempel är att använda ett solskydd som går ner på natten. Ett exempel är Bengt Dahlgrens nya kontor i Mölndal där man har en frånvarostyrd solavskärmning som går ner på natten. Beräkningar utförda vid Bengt Dahlgrens visar att besparingen är 5-7% (huset använder enligt uppgift  $42 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{år}$ ).

#### Lufttäthet

Lufttätheten hos fönster och dörrar bör beaktas på samma sätt som U-värde hos dessa byggnadskomponenter. Testlabs undersökning av dörrar visade exempelvis att flera dörrar hade för stora luftläckage.

#### Infästning/fönstermontage

I samma takt som fönster, dörrar och väggkonstruktionerna får lägre U-värden, desto mer aktuellt blir det att optimera infästningen av fönster och dörrar så att lufttätheten blir god och köldbryggorna minimeras eller elimineras. Här finns en tydlig utvecklingspotential, speciellt som det har konstaterats att köldbryggorna står för en allt större andel av transmissionsförlusterna genom klimatskalet i energieffektiva välisolerade byggnader (40 %).

Inom SBUF-projektet om fönstermontage [Gustavsson et al] har man också konstaterat att det finns en förbättringspotential vid fönsterinfästningar för att öka fuktsäkerheten.

### 4.13.2 Smarta fönster – variabelt insläpp av solenergi

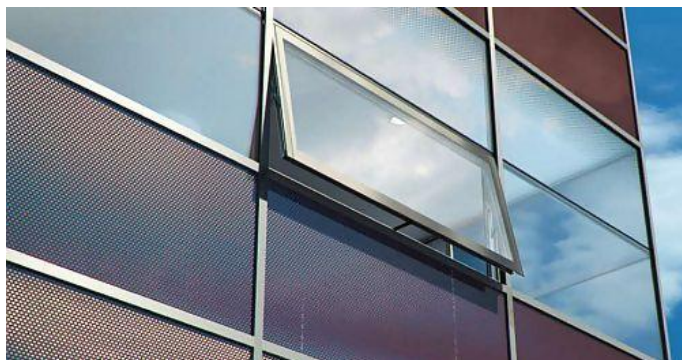
Det finns elektrokroma plastglas som varierar mörkhetsgrad då man varierar spänningen över en elektrokrom folie. Spänningen och därmed mörkhetsgraden för att variera ljusin-

släppet kan styras manuellt eller automatiskt med hjälp av sensorer. Se vidare avknoppning från Ångströmlaboratoriet - ChromoGenics.

En annan utveckling är termokroma glas där inflödet av energi genom glaset varierar med inomhustemperaturen. Termokroma glas är under utveckling består av glas med skikt av vanadioxid med tillsats av magnesium och gör det möjligt att släppa in solenergi om rumstemperaturen är låg, och hindrar solenergin att komma in om temperaturen blir för hög (energin reflekteras genom att det bildas ett reflekterande metallskikt). Se vidare i Glas artikel ”Svensk forskning världsledande på termo- och elektrokroma glas” Mikael Ödesjö.

### 4.13.3 Fönster med integrerade solceller

Det finns tillverkare av glasmoduler som integrerar solceller i modulen. Cellmaterialet kan vara monokristallint, polykristallint eller tunnfilm [www.schuco.se]



Figur 8 Glasmoduler med integrerade solceller. Enligt tillverkaren är effekten  $60\text{-}70\text{ W}_p/\text{m}^2$  vid opaka utföranden och  $50\text{-}55\text{ W}_p/\text{m}^2$  vid semitransparenta lösningar (20 % transparens). Källa Schuco.

### 4.13.4 Solavskärmning

Större glasytorna släpper in mer dagsljus men medför att solinstrålningen blir stor. För att inte värmetillskottet skall bli för stort under vissa perioder finns ett behov av solavskärmning. För att undvika övertemperaturer, speciellt i lågenergihus är det mycket viktigt att planera fönsterplacering, fönsterytor och solskydd.

Man kan utnyttja att solen har olika infallsvinklar under året. På sommaren står solen högt och på vintern lägre. Fasta solavskärmningar kan utformas så att solstrålarna avskärmas sommartid och släpps in under vintern. Ett annat sätt är att utnyttja lövbeklädd vegetation som skärmar solen på sommaren men släpper in ljus på vintern. Ofta finns ett behov av variabelt solskydd eftersom fönsters funktion varierar beroende på olika klimatförutsättningar och tid på dygnet. Visa typer av solskydd kan även hjälpa till att behålla värmen i byggnaden under nätterna.

Det finns flera olika principer för solavskärmning; utvändig, invändig eller inbyggda i fönstret. Utvändiga solavskärmningar är effektivt för att reducera värmestrålningen till inommiljön och kan utföras som lameller på fasaden, markiser, s k screen och dylikt. Utvändiga lösningar kan vara relativt kostnadskrävande och kräver inte sällan komplicerade installationer med eller utan motoriserad styrning. Invändigt solskydd förekommer ofta som persienner, lamell- och plisségardiner, textila gardiner etc, men är inte lika effektiva för att förhindra invändiga övertemperaturer. Inbyggd solavskärmning i fönsterrutor kan vara persienner eller jalousier etc mellan glaset, genomfärgade solskyddsglas eller med en

fast beläggning. Den senaste tekniken handlar om glas med variabel transmittans – se smarta fönster ovan.

Utvändig solavskärmning kan även utföras som solceller, vilket bland annat har använts på Kårhuset Kajplats 305 i Malmö och Mellanhedsskolan i samma stad (<http://www.solarregion.se/>).

En variant med utvändiga solskydd är fönsterluckor som dock hindrar att man kan se ut genom fönstret. I Sverige används fönsterluckor framförallt för att minska transmissionsförlusten genom klimatskalet. Ett exempel är Villa Stångby i Lund. Se vidare ovan.

Beräkningsverktyget ParaSol ([www.parasol.se](http://www.parasol.se)) som utvecklats vid Lunds Tekniska Högskola är gratis och nedladdningsbart från projektets hemsida. Simuleringsprogrammet kan användas för att beräkna kyl- och värmebesparingar vid användande av olika typer av solskydd för olika byggnader.

## 5 Installationstekniska lösningar

De tekniska lösningar som presenteras ger inte en bild av alla lösningar som förekommer eller har möjlighet att användas för att producera lågenergihus. Lösningarna som behandlas är de som inom projektgruppen bedömts vara mest intressanta.

### 5.1 Luftväxling och värmeåtervinning

#### Tekniker för luftväxling och värmeåtervinning

För att uppnå riktigt lågt värmebehov räcker det inte att bara med bra isolering och täthet av byggnadsskalet. Utan en effektiv återvinning av den värme som finns i frånluften blir värmebehovet ändå ganska högt. Det finns idag huvudsakligen två tekniska lösningar för luftväxling med värmeåtervinning i flerbostadshus:

1. Frånluftsventilation med frånluftsvärmepump (FX-ventilation)
2. Från- och Tilluftsventilation med värmewäxling (FTX-ventilation)

Båda typerna drivs mekaniskt av en eller flera fläktar. FTX-systemet är det vanligaste sättet för värmeåtervinning i flerbostads lågenergihus. FX-ventilation är det andra alternativet men inte alls lika vanligt.

FX-ventilation är det enklare av de två systemen och har därför också en något lägre investeringskostnaden. FTX-ventilation är mer komplicerat då det krävs fler fläktar och kanaldragningar både för till- och frånluft. FTX-ventilationen har därför en högre investeringskostnad.

Oavsett den grundläggande ventilationstypen så kan samtliga utformas som centrala eller mer decentraliserade system, vilket kan innebära allt från ett system per byggnad, ett system per trapphus, ett system per lägenhet och till ett system per rum. Lägenhets- och rumsaggregat har fördelen att man lättare kan implementera behovsstyrd ventilation.

#### Värmeåtervinning

Högeffektiva FTX-aggregat med roterande eller motströms värmewäxlare kan ha en värmeåtervinning på 80% eller mer. Hög värmeåtervinning sker dock till viss del på bekostnad av driftel till fläktar. Över året räknat är det därför inte säkert att en högre verkningsgrad alltid är lönsam, speciellt gäller detta om man spara på billig fjärrvärme men ökar användningen av dyr el. Motströms värmewäxlare har också den nackdelen att de fryser på mer desto effektivare de är, vilket kräver någon form av avfrostning. Detta innebär att vid dimensionerande vintertemperatur tappar de en del i verkningsgrad just när den som bäst behövs. Ett sätt att undvika detta är att vid behov förvärma uteluften med gratisvärme från marken innan den går in i ventilationsvärmewäxlaren.

FX-system har traditionellt en relativt låg värmeåtervinning vid dimensionerande vintertemperatur, cirka 50%. Däremot innebär möjligheten att alternativt använda återvunnen värme till att göra varmvatten, att energibesparingen över året räknat kan bli högre än för ett FTX-system. FX-system med frekvensstyrd kompressor och högeffektiv värmeåtervinning även vid dimensionerande vintertemperatur har sedan en tid funnits för småhus och är nu på gång även för flerbostadshus.



## Driftskostnader

För själva ventilationssystemet begränsar sig driftskostnaderna till drift av fläktar. Vid användning av eleffektiva ventilationssystem motsvarande råd i BBR innebär detta för ett FX-system cirka 2,3 kWh/m<sup>2</sup> år och för ett FTX-system cirka 4,6 kWh/m<sup>2</sup> år. För FX-systemet tillkommer drift av kompressorn. Kostnader för drift av styrelektronik, spjäll, rotormotor m.m. tillkommer också, men är jämförelsevis låga.

## Innemiljö

FTX-system har bättre förutsättning att ge en bra luftkvalitet och termisk komfort. Orsaken är att luftintag kan placeras bättre, tilluften kan filtreras effektivare och tillföras med högre temperatur när det är riktigt kallt ute. Vanligt klagomål på FTX-system är ljud från ventilationssystemet i sovrum. Detta kan dock undvikas med ljuddämpare och väl utformade system.

I centrala FTX-system med roterande värmeväxlare är det vanligt med klagomål på luktöverföring från grannar. Att använda kolfilter för rening av tilluften är en vanlig lösning, men den är dyr och ger ett ökat tryckfall. Det finns idag reningsteknik med ozon som det vore av intresse att utvärdera vidare. Ozon i sig är dock en hälsovådlig gas, så det måste säkerställas att den då inte kommer in i lägenheterna. Ett annat alternativ är att istället använda sig av en högeffektiv motströms värmeväxlare.

FTX-system med roterande värmeväxlare och lägenhetsaggregat kan vid tillfällen med hög fuktproduktion i lägenheten leda till för hög fuktåterföring när det är riktigt kallt ute. I centrala FTX-system med roterande värmeväxlare sker en utjämning mellan olika lägenheter, varför en för hög fuktåterföring inte bedöms kunna uppstå i det fallet.

FX-system har vanligen klagomål på kall tilluft vintertid. Ljud och lukter utifrån är också vanliga problem, liksom svårighet att effektivt filtrera tilluften.

## Vädringsmöjlighet

Oberoende av vald lösning ska man inte dimensionera ventilationssystem för kylning med luft. Det är därför viktigt att det mekaniska ventilationssystemet kompletteras med möjlighet till vädring. Det är framför allt under sommarhalvåret som detta är viktigt. Möjlighet att vid behovsstyrd ventilation forcera luftflödet utöver normflödet kan vara ett komplement, men att dimensionera ventilationssystemet så att kompletterande vädring aldrig behövs är ingen bra lösning.

## Komfortkyla

I vissa fall är de yttre förutsättningarna, t ex externt buller, sådana att någon typ av komfortkyla bör övervägas som alternativ till vädring. Denna kyla bör då i första hand baseras på frikyla. I det fallet är t ex ett borrhål en utmärkt värmesänka. Frikylan innebär i det fallet även en återladdning av borrhålet. Andra alternativ är fjärrkyla, frikyla från vatten- drag, etc. Vid användning av ett FT-system kan då tilluftssystemet då användas för att distribuera ut kylan.

## Underhållsbehov

Centrala FX-ventilationssystem har ett relativt litet underhållsbehov. OVK-intervallet är 6-år och efter-/omjustering sker vanligen endast i frånluftsdonen. Ungefär vart 10:e år behöver frånluftskanaler rengöras. Rengöring av uteluftsdon och byte av eventuellt grovfilter görs vanligen av de boende själva. Om högeffektiv rening av inkommande

uteluft ska ske ökar underhållsbehovet och kostnaden väsentligt. Dessutom krävs då även en mycket tät byggnad för att säkerställa att större delen av inkommande luft verkligen passerar de filter som sitter i uteluftsdonen. Tillkommer gör dock underhållet av själva värmepumpen, vilket bl.a. innefattar regelbundna byten av frånluftsfiler för skydd av förångarens värmväxlare. Detta innebär även att frånluftsfilten inte behöver rengöras.

Centrala FTX-system har ett något större underhållsbehov. Vanligen måste filter bytas i aggregatet 1-2 gånger per år. OVK-intervallet är 3 år och efter-/omjustering måste göras både på till- och frånluftsdon. Ungefär vart 10:e år behöver frånluftskanaler rengöras även i FTX-system. Beroende på användning av filter, huvudsakligen för att skydda värmväxlaren från försmutsning, behöver inte heller fläktarna rengöras.

Decentraliserade FTX-system på lägenhetsnivå innebär många fler filterbyten och underhållspunkter. Dessutom kräver underhållet i de flesta fall att man måste gå in i lägenheten. Ett alternativ är att aggregatet placeras så att åtkomst för service och underhåll kan ske från trapphuset. Ett annat alternativ är att löpande underhåll, typ filterbyte, sker av de boende själva. Detta är sannolikt mest tillämpligt i bostadsrätter. I många fall görs dock gemensamma inköp av filter av fastighetsägaren eller bostadsrättsföreningen. Rumsaggregat innebär givetvis en ytterligare ökning av underhållsbehovet och kostnaderna för detta.

Roterande värmväxlare har vanligen en elektrisk motor och en eller två drivremmar för att driva rotationen. Drivremmarna är en relativt vanlig förslitningsprodukt som kräver regelbunden tillsyn och vid behov byte.

### **Beständighetsaspekter**

Om inte tillräckligt bra filter används eller om luft går förbi filtren kan värmväxlarytan bli smutsig. Den kan då behöva rengöras på något sätt för att inte verkningsgraden skall påverkas negativt. Stora roterande värmväxlare kan efter många års drift bli mekaniskt utnötta av sin egentyp. Motströms värmväxlare är vanligen utrustade med spjäll för by-pass vilka kan sluta fungera som avsett. Även rotorns drivmotorn kan givetvis gå sönder och behöva bytas, men det är inte alls lika vanligt.

### **Förutsättningar för rationellt byggande**

Förutsättningen för rationellt byggande är större för ett F-system än för ett FTX-system. Oavsett om man väljer centrala aggregat eller lägenhetsaggregat så är det fler kanaler som skall fram och tillbaka i ett FTX-system. Enrumsvärmväxlare skulle vara ett sätt att komma runt detta, men de har då andra nackdelar såsom väldigt många aggregat och servicepunkter.

### **Brukarvänlighet**

Större brukarvänlighet är något som ofta efterfrågas när det gäller FTX-system, speciellt när det gäller lägenhets- eller rumsaggregat som skall skötas av privatpersoner. Men även för driftpersonal som för vanliga flerbostadshus endast är vana vid enkla frånluftssystem utan värmeåtervinning är brukarvänligheten av yttersta vikt.

### **Livslängd**

Ingående delar i ett FTX-system är relativt enkla och har erfarenhetsmässigt lång livslängd. Utbyteskostnader är därigenom också relativt låga. Det som i första hand bör beaktas är livslängd hos fläktar, spjäll, etc. Vanliga problem är spjäll som av någon anledning inte fungerar som de skall. Det senare kan också vara en regler teknisk fråga.

För FX-systemet är det sannolikt kompressorn som har den kortaste livslängden. Övriga ingående komponenter har samma livslängder som i ett FTX-system.

### Andra möjligheter

I Tyskland är det vanligt med relativt komplexa kompaktaggregat där man integrerat en ventilationsvärmeväxlare och en frånluftsvärmepump i ett och samma aggregat. I vissa fall blandas även frånluften med uteluft, vilken dessutom kan vara förvärmad via en markförlagd kollektor. Genom användning av spjäll och ett styrsystem försöker man utnyttja tillgängliga värmekällor på bästa sätt för värmeåtervinning respektive produktion av värme och varmvatten. Det är lite osäkert hur effektiva dessa apparater egentligen är och hur de fungerar vid användning i ett kallare klimat. Men det vore av intresse att prova hur ett sådant konceptet fungerar i ett större svenskt flerbostadshus.

Värmepumpar kan samtidigt hämta värme från flera olika källor. Ett svenskt exempel är flerbostadshuset Jöns Ols där man har en från- och uteluftsvärmepump. För mindre berg-/markvärmepumpar finns idag också frånluftsmoduler med vilka man dels momentant kan höja prestanda genom att hämta värme från frånluften och dels återladda borrhålet med värme från frånluften. Större moduler skulle kunna tas fram för flerbostadshus. Det är inte självklart hur man optimalt skall styra sådana mer komplexa frånluftsmodul. Tillkommande elförbrukning hos fläktar och cirkulationspumpar är något som måste beaktas. Ett komplext system med flera pumpar och fläktar och som dessutom kanske är i drift när det inte behövs kan leda till en sämre totalfunktion än ett enklare men optimalt utformat och styrt system.

En värmepumpskrets kan också användas för direkt värmeväxling mellan till- och frånluft. En nackdel jämfört med en vanlig frånluftsvärmepump är att man då inte alternativt kan välja att värma varmvatten. En annan nackdel är en högre elförbrukning och därigenom tidvis onödig uppvärmning av tilluften, jämför med ett vanligt luft-luftvärmeväxlare. Speciellt gäller detta om värme alternativt kan produceras med billigare fjärrvärme.

När det gäller alternativa FTX-system skulle enrumsvärmeväxlare kunna vara ett alternativ. Detta är dock en relativt obeprövad lösning som kräver demonstration och utvärdering innan man kan uttala sig om dess lämplighet. Sannolikt är den mest användbar vid renovering av befintliga bostadsrätter där den boende själv ansvarar för drift- och skötsel. Några för- och nackdelar listas i det följande (med + och -):

- + Inga långa kanaldragningar
- + Rumsindividuell ventilation
- + Redundans vid haveri
- + Lätt att integrera i fasaden
- + Kan kombineras med värme
- Många servicepunkter
- Service inne i bostaden
- Dyrare i drift och underhåll
- Många håltagningar
- Obeprövad teknik

+/- Inköp och installation ???

Spiskåpor/-fläktar vanligen förses med separat kanaldragning. Om man på kostnads-effektivt sätt kunde tillvarata överskottsvärme från matlagning och fördela den i byggnads-

den utan problem med försmutsning av värmeväxlare och eventuell luktspridning skulle det vara ett sätt att ytterligare höja byggnadens energiprestanda. Även här vore det av intresse att utvärdera ozonreningsteknik som en alternativ reningsteknik.

### **Förslag till intressant systemlösning för flerbostadshus**

Roterande värmeväxlare har fördelen att de ej behöver avfrostas men nackdelen att de överför lukter (matos och röklukt). Motströms plattvärmeväxlare har fördelen att de kan göras helt täta mellan sidorna men nackdelen att de behöver avfrostas. Ett sätt att komma runt detta är då att vid behov förvärma tilluften via en markförlagd kollektor eller ett borrhål. Kan med fördel kombineras med mark-/bergvärmepump.

## **5.2 Värmedistribution**

### **Tekniker för värmedistribution**

Huvudsakligen finns det tre tekniker för värmedistribution; radiatorer, golvvärme och luftvärme. Traditionellt har radiatorer varit det vanligaste i flerbostadshus, men i de första lågenergihusen av passivhustyp har istället luftvärme varit det vanligaste. Det senare därför att det är ett mycket kostnadseffektivt sätt att distribuera ut små effektbehov under en relativt kort uppvärmningssäsong. Endast luftvärme med normflöde och utan återluft kräver extremt lågt effektbehov för att fungera. Det förekommer därför också system där man blandar luftvärme med radiatorer eller golvvärme. Golvvärme med låga framledningstemperaturer innebär vanligen ingen energieffektivisering i sig, men i kombination med en värmepump innebär det vanligen att de båda tillsammans som ett system blir energieffektivare. Kombinationen golvvärme och radiatorer är mycket vanlig i nybyggda småhus, men inte i flerbostadshus (annat än golvvärme i badrum). Om då radiatorerna inte också dimensioneras för låga framledningstemperaturer förloras den systemtekniska vinsten vid kombination med värmepump. Oavsett distributionsformen kan alla tre teknikerna antingen vara baserade på vattenburen värme eller direktel. Endast vattenburen värme medger dock att man med en värmepump kan utnyttja fördelen med låga framledningstemperaturer. Vid luftburen värme krävs rätt stora växlarpaket för att kunna arbeta med låga framledningstemperaturer. Ett alternativ för vattenburen luftvärme som använts av EKSTA Bostads AB är att koppla värmebatteriet mot den relativt höga temperaturen som finns i VVC-kretsen. I det fallet har man bara en VVC-krets som distribuerar både värme och varmvatten. För att i det fallet undvika både frysrisk och risk för legionella har en extra värmeväxlarkrets med glykolbandat vatten använts så att VVC-kretsens vatten aldrig blir stillastående och kan hamna under +50°C. Vid användning av radiatorer i ett lågenergihus kan även dessa dimensioneras för relativt låga framledningstemperaturer.

### **God innemiljö**

Luftburen värme innebär att tilluften tidvis är övertempererad. Detta innebär att det krävs ett omblandande tilluftsdon med god omblandning för att inte luftutbyteseffektiviteten skall försämrans när tilluften är övertempererad. För närvarande saknas provningar på hur olika tilluftsdon fungerar vid övertempererad tilluft. Luftburen värme förutsätter också att det finns en god korrelation mellan ventilationsbehov och värmebehov. Detta underlättas om man har en öppen planlösning. Genomtänkt överluft kan också vara en lösning. Radiatorer ger större möjlighet till individuell styrning av rumstemperaturen under uppvärmningssäsongen. En annan fördel med radiatorer är att de snabbt kan reglera sin effektavgivning vid ändrade internlaster. I väldigt välisolerade byggnader med högeffektiv FTX-ventilation kommer ett golvvärmesystem att hålla en mycket låg temperatur. Detta innebär att man egentligen inte borde kalla det ett "golvvärmesystem" eftersom de boende inte kommer att uppleva golven som varma. En reglerteknisk fördel

med detta är att golvvärmesystemet då kommer få en extremt snabb passiv reglering, dvs så snart lufttemperaturen överskrider golvtemperaturen, t ex 23 °C, kommer golvet istället att kyla luften. En annan fördel blir då att systemet även flyttar värme och kyla mellan rum med olika temperatur, exempelvis värme från söderrum med solinstrålning till norrurum.

### **Förutsättningar för rationellt byggande**

Luftvärmesystemet ger givetvis bäst förutsättningar för rationellt byggande, speciellt om värmning sker med direktel. Om individuell eftervärmning sker med vattenburen värme blir det mer komplicerat. Små elradiatorer i varje rum är då sannolikt mer rationellt. En variant är att man som i Hamnhuset har en central vattenburen eftervärmning kombinerat med individuell direktel. Dessa kan då antingen bestå av en elvärmare per lägenhet placerad i tilluften eller av små elradiatorer i varje rum. Att utnyttja VVC-kretsen för både värme och varmvattendistribution till varje lägenhet är ett annat sätt att för rationellt byggande. Vid t ex fjärrvärmeanslutning spelar det ingen roll att även värmesystemet utnyttjar den höga temperaturen som ändå finns tillgänglig. För radiatorsystem och golvvärmesystem är det svårt att se någon större rationaliseringsvinst jämfört med traditionellt byggande. Dock kan man eventuellt installerat mindre och därigenom billigare system. Att man med radiatorsystemen kan arbeta med lägre temperaturer innebär kanske också att man kan arbeta med andra material.

### **Beständighetsaspekter avseende energianvändning**

Erfarenheten från Lindåshuset är att de direktelbaserade luftvärmesystemen har en mycket god beständighet. De initiala problem som fanns var inställning av parametrar för regulator. När det gäller vattenburna luftvärmesystem finns det för närvarande inte så mycket underlag. En uppenbar risk som föreligger är att det vattenburna batteriet kan frysa sönder.

### **Underhållsbehov och driftskostnader**

Erfarenheten från de första flerbostads passivhusen i Värnamo med luftvärme är att det är mycket mindre problem med injusteringar av värmesystemet i dessa hus än i de mer traditionella flerbostadshus med radiatorvärme som uppfördes samtidigt.

### **Brukarvänlighet**

En liten värmekälla i varje rum som man själv kan reglera, se och känna på är sannolikt uppskattat av brukaren. Oavsett teknisk lösning det viktigt att system är begripligt för brukaren, att han har en rimlig möjlighet att styra systemet och att det vid ett ändrat börvärde reagerar relativt snabbt.

## **5.3 Varmvatten**

### **Låg energianvändning**

Det finns inga specifika krav i BBR avseende varmvattenanvändningen, utan det är inbakat i det övergripande kravet på specifik energianvändning för värme, varmvatten och drift av installationer. Men eftersom andelen varmvatten ökar i hus med lågt behov av värme och i vissa fall kan bli större än värmebehovet är det givetvis viktigt att minimera energianvändningen för tappvarmvatten. Detta kan göras på flera sätt:

- Snålspolande armaturer\*  
(flera olika funktioner finns)

- Individuell mätning och debitering
- Välisolerade varmvattenberedare
- VVC-krets:
  - rätt temperatur (50-60 °C)
  - välisolerade rördragningar (25 W/lgh)
  - rätt flöde (tillräckligt)
  - A-klassad cirkulationspump

Även på avloppsvattnet är det möjligt att jobba med värmeåtervinning. Centrala återvinningssystem återvinner typiskt 20-30 %. Denna variant har provat med relativt dåligt resultat i flera projekt.

Individuella duschvärmare kan återvinna 40-45 %. Detta är en helt ny produkt som behöver utvecklas vidare för att kunna tillämpas kommersiellt i flerbostadshus.

### **God innemiljö**

OBSERVERA att snålspolande duschmunstycken i kombination med för låga varmvattentemperatur ger stor legionellarisk, speciellt om vattnet lagras i en tank med stillastående vatten.

### **Förutsättningar för rationellt byggande**

För flera av punkterna ovan finns goda förutsättningar för rationellt byggande. Det handlar mera om kravställande. Inledningsvis har dock kostnader för individuell mätning och debitering tidvis varit större än besparingen orsakad av minskad energianvändning.

### **Beständighetsaspekter avseende energianvändning**

Produkter och system för låg varmvattenanvändning bedöms inte ha sämre beständighet än standardprodukter.

### **Underhållsbehov och driftskostnader**

Produkter och system för låg varmvattenanvändning har lägre driftskostnader och bedöms inte ha högre behov av underhåll än standardprodukter. Undantaget är avloppsvärmare, speciellt då individuella duschvärmare som kommer att behöva ett extra underhåll i form av återkommande tillsyn och rengöring.

### **Brukarvänlighet**

Förutom ökat underhåll av eventuella avloppsvärmare bedöms ingen försämring av brukarvänligheten uppstå.

## **5.4 Individuell mätning av varmvatten och energianvändning**

Individuell/lägenhetsvis mätning är extra intressant i flerfamiljshus. Det är sedan länge känt att individuell mätning och debitering är ett effektivt sätt minska energianvändningen i flerbostadshus. Att man inte haft individuell mätning är sannolikt den största anledningen till att dagen flerbostadshus förbrukar mycket mer varmvatten än småhusen. Det finns dock en del arbete att göra när det gäller att förbättra tillförlitlighet hos mät-

system och effektivisera administration av debitering. Vinsten med individuell mätning och debitering vägs idag ofta upp av mättekniska och administrativa kostnader.

När det gäller individuell mätning och debitering av värme är det mer tveksamt med vilken vinst detta ger. Dels beroende på det som ovan nämnts om mätteknik och administration, men också beroende på rättviseaspekter. Det senare speciellt när det gäller hyresrätter. Det finns olika system för debitering av värme, men erfarenheterna är blandade. En förutsättning, om det skall användas, är att man även värmeisolerar relativt väl mellan olika lägenheter. En annan aspekt är också att det innebär mycket investeringar och löpande arbete för en liten energimängd när det handlar om lågenergihus.

Att förbättra utformning av räkningar och på annat sätt visualisera energianvändningen kopplat till beteendet är sannolikt ett bra sätt att ytterligare nå lägre energianvändning.

## 6 Tekniska lösningar för värmevärmelagring samt förvärmning/förkylning i mark

### 6.1 Värmelagring utanför byggnaden

Värmelagring utanför byggnaden kan ske i borrhålslager (där det är möjligt), akvifärer (där tillgängligt) eller i stora vatten tankar. Vattentankar blir stora och dyra för att kunna säsongslagra värme. De brukar där för bli svåra att räkna hem ekonomiskt. Akvifärer är inte så vanligt förekommande i Sverige och kan därför endast komma ifråga i undantagsfall. Borrhålslager är sannolikt den mest intressanta lösningen för närvarande, både för korttids- och långtidslagring av värme. Speciellt i kombination med värmepumpar och solvärme, samt speciellt om flera borrhål placeras relativt tätt intill varandra.

Om inte värmeöverskotten bli för stora finns det också möjlighet att använda fjärrvärmenätet som ett korttidslager. Detta förutsätter dock någon typ av överenskommelse och avtal med fjärrvärmebolag/nätbolag. Kan framför allt komma ifråga i fjärrvärmenät med flerpartstillträde på produktionssidan. Detta är dock inte helt okomplicerat varken juridiskt eller rent praktiskt/tekniskt. Vid stora tillskott kan den nätansvarige bli tvungen att bygga upp ett eller flera stora lager för mellanlagring av inmatad värme. Kostnaderna för detta måste då kunna tas ut på något sätt. T ex genom en mellanskillnad i pris på mottagen och levererad energi, och/eller engångsavgifter för inkoppling mot fjärrvärmenätet.

### 6.2 Förvärmning/förkylning i mark

#### Teknik för ”fri” förvärmning och kylning

Genom att förvärma uteluften med gratisvärme från marken innan den går in i ventilationsvärmväxlaren höjs systemets energiverkningsgrad något, men framför allt förhindras eller minskar risken för påfrysning i värmväxlaren. Sommartid kan man på samma sätt använda marken för att åstadkomma en viss komforthöjande frikyla. Energimässigt är vinsten marginell och kan ur den synvinkeln inte motiveras. I kombination med motströms högeffektiva värmväxlare kan det ändå finnas skäl att tillämpa tekniken. Detta då för att undvika påfrysning och uppnå maximal effektivitet när det är som kallast. För ett passivhus är det just under de omständigheterna som värmväxlaren behöver prestera som bäst. Under andra tider på året kan det snarare vara behov av att minska värmeåtervinningen. Speciellt intressant är tekniken i samband med centrala gemensamma motströmsaggregat i flerbostadshus. Detta då centrala roterande värmväxlare, som normalt inte behöver avfrostning, p g a överföring av lukter är mindre lämpliga att använda i flerbostadshus.

Exempel på erfarenhet från sådana system är att det sker en avkylning av luften sommartid som innebär risk för kondens på tilluftskanalernas ytor och därmed en ökad risk för tillväxt av mikroorganismer. Om en effektiv teknik kunde användas för att tillföra denna ”avkylande eller förvärmade effekt” till byggnaden utan att luften från kanalen tillfördes inomhus skulle detta vara en fördel för luftkvaliteten inne.

Det finns i princip två tekniker för förvärmning via mark. Den ena tekniken bygger på att man förvärmer uteluften via en markförlagd kulvert. Vanligen låter man all luft passera via kulverten hela tiden, men det är också möjligt att helt eller delvis ta luft direkt utifrån via ett by-pass-spjäll. Den andra tekniken bygger på indirekt värmning via en vätska-luftvärmväxlare som hämtar värmen från marken via en markslinga eller ett borrhål på



samma sätt som en värmepump. Graden av förvärmning (eller kylning) kan då regleras med en varvtalsstyrd cirkulationspump.

### **Erfarenheter, referenser**

I tyska passivhus är det vanligt att man förvärmer uteluften via en markförlagd kulvert innan den går in i ventilationsvärmväxlaren.

Tekniken med markslinga eller borrhål för indirekt förvärmning har vad vi vet ännu inte tillämpats. Det är dock i princip samma konstruktion som har använts för hundratusentals värmepumpar världen över. Det har också blivit allt vanligare att man använder en värmepumps borrhål för frikyla sommartid.

### **Underhåll, livslängd**

En markförlagd tilluftskuvert kräver regelbundet byte av ett filter av bra kvalitet (F7) vid luftintaget för att undvika minskning av luftflödet, alternativt att kulverten blir förorenad. Om detta sköts bör kulverten ha minst lika lång livslängd som ventilationssystemet. Om inte så kan man behöva stänga av den, byta ut den eller genomföra en relativt kostsam rensning. Vätska-luft-värmväxlaren liksom cirkulationspump bedöms ha samma livslängd som ventilationsaggregatet och ringa underhållsbehov. Den frostskyddade vätskan kan behöva bytas ut samtidigt som värmväxlaren. Själva markslingan eller borrhålet bedöms ha längre livslängd, av samma storleksordning som huset.

### **Övrigt**

En markförlagd kulvert är en relativt okomplicerad passiv kyl- och värmeteknik. Det är dock en ganska dyr lösning. Det finns också vissa risker med denna lösning. Tidvis kan kondens bildas och om inte luftintaget förses med ett bra filter uppstår goda förutsättningar för mögeltillväxt. Inspektion, rengöring och eventuellt utbyte är svårt att genomföra. I radonhaltig mark finns också risk att radon tillförs tilluften.

En indirekt förvärmning via markslinga eller borrhål är en relativt dyr men robust konstruktion. Styrningen av cirkulationspumpen innebär ett något mer komplicerat system, men också bättre möjlighet att anpassa värmeuttaget på ett optimalt sätt. Eventuellt kondens kan ledas bort från värmväxlaren via ett vanligt kondensavlopp. Genom att den vanligen placeras nära luft-luft-värmväxlaren skyddas den mot försmutsning av samma bra tilluftsfilter (vanligen F7) som den växlaren. I kombination med berg- eller markvärmepump kan samma kollektor användas, men göras något större, vilket väsentligt minskar kostnaden. Vid eventuellt läckage kan den frostskyddade vätskan (glykol eller etanol) rinna ut i grundvattnet.

## 7 Tekniska lösningar för energiproduktion

### 7.1 Solfångare och solceller

Solfångare och solceller är relativt mogna tekniker som idag används för lokal energiproduktion i de flesta lågenergihus. På grund av sämre förutsättningar, dels mindre solinstrålning och dels sämre ekonomiska incitament, är det dock inte lika vanligt som t ex i Tyskland.

Solfångare och framför allt solceller har mycket höga investeringskostnader. Å andra sidan är livslängden lång (25-30 år) och drift-/underhållskostnaderna låga. Solceller har avsevärt mycket lägre energiutbyte per kvadratmeter täckt tak- eller fasadyta, men å andra sidan fås el vilket är en mycket högvärdigare och mer användbar energiform. Detta innebär t ex att en viss area solceller kan driva kompressorn till en värmepump vilken producerar lika mycket värme som en solfångare med samma area, och när inget värmebehov föreligger kan solcellerna istället leverera el för drift av hushållsapparater etc. Detta till skillnad mot en solfångare som vanligen går i stagnation när inget värmebehov föreligger, d v s instrålad solenergi kan inte tillvaratas. I mer komplicerade system finns det givetvis undantag från detta. En solfångare kan t ex vara kopplad till ett större marklager. Vid användning av så kallade koncentrerande solfångare kan man uppnå så höga temperaturer att man kan driva en elproducerande ångmaskin eller stirling motor. När den egna elproduktionen momentant blir högre än behovet måste man antingen lagra överskottet i ett batterilager eller skicka ut det på elnätet. Egenproducerad el som direkt ersätter köpt el är normalt alltid lönsammare än el som sickas ut på elnätet och sedan köps tillbaka. Om intern avsättning finns i form av en större ackumulatortank, kan det vara lönsammare att dumpa överskottet där med hjälp av en doppvärmare än att skicka ut det på elnätet. Är huset kopplat till fjärrvärme kan det också vara möjligt att sälja ut värmeöverskott från solvärme till fjärrvärmenätet. Detta är dock vanligen ännu svårare och mindre lönsamt än att sälja el. I många fjärrvärmenät har man idag även inför en extra låg fjärrvärmeflex under sommarhalvåret. Detta innebär att det då är extra svårt att räkna hem en investering i solvärme kombinerat med fjärrvärme.

### 7.2 Vindkraft

Det finns idag ett antal mindre typer vindkraftverk som kan sättas på byggnader för lokal produktion av el. Detta har dock i de flesta fall visat sig vara en mindre bra löning. Ur teknisk synvinkel är det mycket svårt att få något bra utbyte ur små vindkraftverk, dels därför att de inte är optimalt utformade och del därför att det är svårt att placera dem på ett optimalt sätt. Dessutom förekommer problem med ljudavgivning till såväl stomme som övrig omgivning. Ur teknisk synvinkel är det därför mer optimalt att investera i ett större vindkraftverk som placeras på mer optimal plats, med goda vindförutsättningar och med mindre risk för bullerproblem. Ur ekonomisk synvinkel kan det dock p g a ”friktion” i elhandelssystemet ändå bli lönsammare med ett mindre lokalt vindkraftverk. Detta under förutsättning att investeringskostnaden är rimlig och livslängden tillräckligt lång, samt givetvis att bullerproblematiken kan lösas.

### 7.3 Värmepumpar

Värmepumpar kan också ses som ett sätt för lokal produktion av energi, d v s genom insats av en del köpt elenergi så utvinns man 2-4 gånger så mycket värmeenergi ur en lokal källa. För en bergvärmepump kan man säga att källan är en blandning av lagrad solenergi och geotermisk energi. Med detta synsätt inses att huset i sig inte blivit energi-

effektivare genom installation av en värmepump, utan att man fått ett mycket kostnads-effektivt värmeproduktionssystem. Husets verkliga användning av energi har ju inte minskat, bara mängden köpt energi (Bild?).

## **7.4 Biobränslepannor**

En biobränslepanna kan också ses som lokalt produktion av förnybar energi. Skillnaden är bara att solenergin har tagit vägen via skogen och mellanlagrats i träden. Även biobränslepannor kan kopplas till en stirlingmotor och därigenom producera både el och värme, d v s göras ett mikrokraftvärmeverk. Färdig verk finns att köpa i Österrike.(Bild?)

## **7.5 Kombinationer av lokal förnybar energi-produktion**

Det är mycket vanligt att två eller flera av ovan nämnda sätt för lokal energiproduktion kombineras. Det vanligaste är att en biobränslepanna kombineras med en termisk solfångare och med en större ackumulatortank. Detta är en mycket fördelaktig lösning, dels därför att solvärme tar över större delen av tappvarmvattenproduktionen under sommarhalvåret när biopannan annars skulle gått med försämrade verkningsgrad, dels därför att det radikalt minskar underhålls- och tillsynsbehovet under sommaren.

Mindre solfångare kan kombineras med en bergvärmepump, dels för huvudsaklig varmvattenproduktion sommartid och dels för (åter)laddning av borrhålet. Denna kombination kräver ingen stor ackumulatortank då större värmeöverskott kan dumpas i borrhålet. I detta fall är det dock extra viktigt med eleffektiva och kapacitetsreglerade cirkulationspumpar.

## 8 Intressanta systemlösningar

### 8.1 Allmänt

Idag finns en väl beprövad teknik och systemlösning att producera lågenergihus som bygger på att lätta klimatskal (oftast med tung invändig stomme i betong) kombineras med en energieffektiv värmeåtervinning samt solceller och solfångare som oftast placeras på taket av byggnaden. Denna förstudie syftar till att studera alternativ och förbättringsmöjligheter till dessa.

Inom detta kapitel har projektgruppen valt att resonera kring några systemlösningar som gruppen tror är intressanta att studera närmare i ett fortsatt projekt och som ger goda förutsättningar att bygga energieffektiva lågenergihus. Teknikerna kan dessutom kombineras ytterligare.

### 8.2 Tungt klimatskal och stomme kombinerat med effektiv värmeåtervinning och integrerade solfångare/solceller

#### Utgångspunkt

För en mycket energieffektiv byggnad som använder högst 50 % av energikravet i BBR finns idag tre vanligen tillämpade parametrar:

1. klimatskal med dess fönster och dörrar måste vara mycket välisolerade och lufttäta.
2. byggnaden måste förses med mycket effektiv återvinning av värme som annars lämnar huset via ventilationsluften och avloppsvattnet.
3. ta tillvara solenergi är ytterligare en idag ofta tillämpad möjlighet att sänka byggnadens energianvändning.

Under detta avsnitt identifierar vi alternativa tekniker (ej lika vanligt förekommande idag) som har potential att uppfylla dessa tre parametrar.

#### Val av tungt klimatskal

Det är grundläggande att klimatskalet kan erbjuda mycket goda förutsättningar för låg energianvändning genom små transmissionsförluster och mycket god lufttätethet. Detta kan uppnås med både lätta och tunga klimatskal. Att använda massiva, tunga stommar kan dock ge ett antal fördelar – lätt att bygga rätt...

1. Lufttätethet är en viktig faktor för att få energieffektiva klimatskal. I de fall man bygger med massiva stommar och med stommar där det lufttätande skiktet kan kompletteras från insidan (ytan är exponerad på insidan) är det en fördel ur förvaltningssynpunkt. Exempel är massiva stommar (exempelvis betong, lättbetong, trä) med utvändigt isolering och sandwich-block i betong, lättbetong eller putsad lättklinker
2. Att skapa lufttätethet kräver sannolikt inte samma arbetsinsats för det massiva klimatskalet som för det lätta klimatskalet. Det lätta klimatskalets lufttätethet byggs oftast på att en plastfolie skall tätas i skarvar, anslutningar, genomföringar som sedan byggs in och blir ej åtkomligt. Dessa produktionstekniska fördelar bör dock studeras närmare.

3. Ett tungt klimatskal har sannolikt en god utjämnade inverkan på inomhus-temperaturen, vilket är gynnsamt för att undvika övertemperaturer. Studier behöver dock göras för att bekräfta detta antagande. Betong har en mycket god värmekapacitet då den exponeras mot inneluften. Lättbetong och lättklinkerblock har inte samma goda värmekapacitet.

Det finns också faktorer som behöver uppmärksammas för att säkra en god kvalitet vid användandet av massiva stommar av betong, lättbetong och lättklinker. Dessa är bland annat:

1. Byggfukten behöver beaktas för att undvika att fukt känsliga material skadas.
2. Uttorkningen av byggfukt, men även av tillfälligt tillförd fukt exempelvis via fasad, kräver energi. Exempelvis lättbetong som innehåller byggfukt har dessutom sämre isolerförmåga under perioden då materialet är fuktigt.

Inom ramen för denna förstudie har vi inte beaktat CO<sub>2</sub> belastningen som olika tekniska lösningar och materialval kan innebära.

### **Effektiv värmeåtervinning**

Det finns idag tekniker för effektiv återvinning av värme ur frånluft som i regel används i denna typ av energieffektiva byggnader. Inte lika ofta tillämpas värmeåtervinning ut avloppsvatten. En möjlighet som finns och som kan ha potential är att återvinna värmen från duschvatten direkt vid duschplatsen.

Ett tyngre byggnadsskal ökar byggnadens tidskonstant ytterligare jämfört med bara en tung stomme. Detta tillsammans med en effektiv ventilationsvärmeåtervinning ger en mycket lång tidskonstant på flera hundra timmar. Därigenom fås en mycket kraftig dämpning av kortare köldknäppar.

Delar av det tunga byggnadsskalet skulle också kunna utnyttjas till förvärmning av uteluften. Visserligen ökar då uppvärmningsbehovet något, men å andra ökar värmeåtervinningens effektivitet. Sannolikt fås en viss energivinst och minskat/eliminerat avfrostningsbehov. Det tunga byggnadsskalet skulle också kunna kyla uteluften sommartid. I det fallet måste man dock beakta risken för kondens. Det kanske inte är nödvändigt att luften värms i små kanaler som är svåra att inspektera och rengöra. Ett alternativ kan då vara att använda sig av en ”farstu” i form av en dubbelfasad såsom i Krokslätt, Göteborg (se 9.3). Alternativt får man förvärma uteluften med ett borrhål/energi-brunn (se 5.2)

### **Integrerade solfångare och solceller i tak och fasad**

Solfångare/solceller kan ersätta andra material om de integreras i klimatskalet, vilket minskar den totala investeringskostnaden. Observera att planering måste ske för att solfångare/solceller kan behöva bytas under byggnadens livslängd och att detta måste vara möjligt utan alltför omfattande ingrepp i byggnaden i övrigt.

Ett typiskt exempel där solcellspaneler kan ha en ytterligare funktion, vilken reducerar den totala investeringskostnaden, är som fasta solskydd ovan fönsterpartier. En tredje funktion blir i det fallet minskad nattutstrålning och därigenom minskad risk för kondens på utsidan av fönster med låga U-värden.

Vertikalt placerade solfångare och solceller utnyttjar lågt stående sol på ett bättre sätt vintertid. Dessutom minimeras risken att snö och is sätter sig på ytorna och hindrar solinstrålningen. Vid vertikal placering är det extra viktigt att beakta risken för skuggning, speciellt gäller detta solceller som är extra känsliga även för partiell skuggning.

Solceller kan även integreras i glaspartier och ger därigenom också ett visst solskydd. Sikten genom glaset påverkas givetvis, men det kan i vissa fall lika gärna vara en fördel som en nackdel. Speciellt gäller detta högt placerade glaspartier, t ex i tak, där de integrerade solcellerna kan ge positivt visuellt intryck. Av säkerhetsskäl kan det också vara bra att vissa glaspartier blir mer synliga.

Det finns även integrerade solfångare och solceller. Fördelen med det är att solfångaren då kyls av solcellerna som då får en bättre verkningsgrad.

Eftersom solceller behöver kylas för att få bra verkningsgrad är de också lämpliga som yttre skikt i en ventilerad fasad. Luftspalten får då två funktioner, dels som en del i det vanliga fuktskyddet men också för kylning av solcellerna.

Vid placering av solceller direkt mot en tung yttre stomme skulle man få en dämpande effekt på värmehöjningen av solcellerna. Temperaturhöjningen av den yttre stommen skulle också minska, dels genom att en del av den instrålade energin bortförs som elektricitet och dels genom att en större andel av den instrålade energin reflekteras. Detta torde leda till viss minskning av eventuellt kylbehov i bakomliggande utrymme.

#### **Exempel – Tyska passivhus**

Eftersom man i Tyskland av tradition byggt hus med tunga klimatskal samt varit ett föregångsland för såväl passivhus som solvärme/solceller finns där idag många lågenergihus enligt detta koncept (Källa: International Passive House Conference 2011).

## **8.3 Mikroklimat med dubbla fasader eller överglasad innergård**

### **Beskrivning, allmänt**

Genom att skapa varmare och vindskyddade zoner på utsidan av byggnadens klimatskal minskar energianvändningen för uppvärmning av byggnaden. Minskningen av energianvändningen beror dels av att vindens inverkan minskar/kan uteslutas och att solen kan värma luften mellan klimatskal och ett andra skal som oftast utförs i glas. Zonen mellan fasaderna ventileras och integreras i byggnadens energisystem där värme kan återföras till byggnadens uppvärmningssystem vid behov. Ventilationen kan vara mekanisk, naturlig eller en hybrid.

Tekniker som är tänkbara för att skapa ett gynnsamt mikroklimat är

- dubbla fasader där en glasfasad utanför byggnaden skapar ett klimatskydd. Den inre fasaden kan vara ytterligare en glasad fasad eller en ”ogenomskinlig” vägg.
- delvis inglasade fasader som exempelvis balkonger
- inglasade/vindskyddade entréer
- inglasade innergårdar

### **Kommentarer**

Tekniken är tämligen ny och lovande men ytterligare utvecklingsarbete är nödvändigt för att uppnå önskat resultat.

Man har under arbetet med IEA ECBCS Annex 44 konstaterat att det i allmänhet finns en ganska positiv bild av avancerade integrerade fasader hos intressenter i konstruktionssektorn, men att en övertro kan leda till mindre lyckade lösningar. En byggnads energi-

prestanda och termiska komfort kan bli lidande om fokus ligger på designkoncept och utseende. Det är viktigt att fasad, byggnad och installationssystem ses som en helhet. Inom Annex 44 har man identifierat minst 200 byggnader i världen med någon form av avancerad fasad. Dubbelfasader har med några få undantag hittills uteslutande använts i kontorsbyggnader.

Det är viktigt att kunna bedöma energiprestanda och termisk komfort i byggnaden på ett tidigt stadium med hjälp av beräkningsverktyg. Dessvärre finns inget lämpligt beräkningsprogram idag som kan användas av arkitekter och projektörer för att räkna på avancerade integrerade fasader. Det finns dock ett stort antal program som kan användas för simulering av hela byggnader där fasaden är en del. Ett antal experimentella bedömningar av avancerade fasader har gjorts där det visats att de testade fasaderna fungerat bra, men med risk att energianvändningen för fläktar kan bli höga.

Det är inte säkert att dubbla fasader är en bra lösning under alla förhållanden, och det är därför viktigt med en korrekt tidig bedömning av energiprestandan i det enskilda fallet. Luftintag via dubbelfasader får inte orsaka övertemperaturer och dålig luftutbyteseffektivitet orsakat av för höga temperaturer på inkommande uteluft. Detta kan till exempel undvikas genom att uteluften tas från olika ställen beroende på årstid och temperaturförhållanden. En enklare lösning, om möjligt, är givetvis att vid behov öka vädringen av dubbelfasaden och därigenom sänka temperaturen. Orientering och solavskärmning från omgivningen (byggnader, träd, berg, etc) kan vara avgörande.

Brandsäkerhetsaspekterna måste alltid beaktas vid utformning av dubbla fasader.

En effekt av dubbla fasader är att ljudisoleringen mellan inne och ute har förutsättningar att bli god.

Beakta underhållsaspekter såsom ytbehandling och rengöring av ytor. Dessutom kräver ventilationssystemet underhåll och uppföljning för att prestandan hos systemet skall vara tillfredsställande.

### **Kombination med markvärmelager**

Vid inglasade innergårdar kan hela volymen under gårdsutrymmet och delvis under byggnaderna användas som ett markvärmelager. Detta ger möjlighet till en större användbar lagringsvolym. Värmeläckage uppåt mot innergården skapar ett bättre klimat där vintertid, och minskar ytterligare transmissionsförlusterna mot innergården.

För hus med mycket små värmebehov skulle man med ett lågtempererat värmesystem, till exempel golvvärme, kunna utnyttja värmen i värmelagret direkt. I annat fall kan man höja temperaturen till användbar nivå med hjälp av en värmepump. För varmvattenproduktion krävs värmepump eller någon annan högtempererad värmekälla.

### **Exempel – Krokslätt Södra**

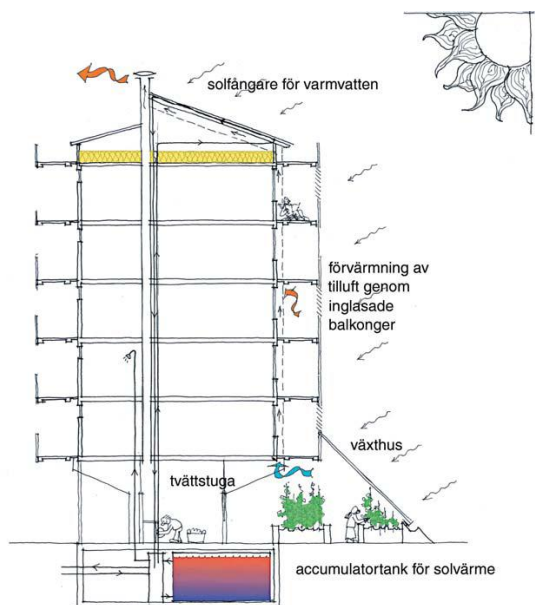
Inom området vid Krokslätts fabriker planeras nya byggnader, bland annat flerbostadshus med dubbla glasade fasader. Bengt Dahlgren AB arbetar med de energitekniska lösningarna som bland annat omfattar:

- Tekniska lösningar för att nå en energianvändning för uppvärmning, varmvatten och fastighetsel på 40kWh/m<sup>2</sup>år.
- Dubbla glasade fasader med utrymme mellan som är 3,6 meter brett. Detta utrymme används som balkong/”farstu”. Utrymmet beräknas få en vintertemperatur om minst 10°C. På sommaren skall man öppna upp den yttre glasfasaden.

- Betongbjälklaget som råder 3,6 meter utanför de inre glasväggen solskyddar sommertid. Man planerar med grönska/ träd på utsidan för att få ytterligare solskydd.
- Betongstomme bidrar till att plana ut temperaturtoppar. Utfackningsväggar i fasad är lätta konstruktioner.
- Lufttäthetskravet är formulerat att vara högst 0,25 l/m<sup>2</sup>s och avser både det inre glasade fasaden respektive den yttre. Detta innebär att byggnaden täthetsprovas två gånger.
- Solfångare om 500 m<sup>2</sup> samt 350 m<sup>2</sup> solceller integrerade i fasadens fasta partier
- Soldriven Stirlingmotor för egen elproduktion (mindre beprövat alternativ till solceller)
- m m

### Exempel – Solhusen i Gårdsten

Solhusen i Gårdsten använder inglasade balkonger för uppvärmning av tilluft. Luft som värmts av solen förs också till en luftspalt i fasaden mot norr.



Figur 9 Solhusen i Gårdsten har inglasade balkonger där luften värms av solen innan den tas in i lägenheterna

### Ytterligare exempel

På Hertigs Gård i Falkenberg finns exempel på förvärmning av tilluft i klimatskal som skall vara intressant att studera närmare i detta sammanhang.

Sege Park i Malmö är ett gammalt tegelbyggnad där man låtit glasa in fasaderna och skall följa upp om man kan ta tillvara värmen mellan hus och glasvägg.

GinaTricots huvudkontor i Borås är utförd med dubbla glasade fasader och med en betongstomme i huskroppen.

Inom Bovieran AB (projekt Bovieran) använder man inglasade gårdar som är ytterligare en intressant lösning att hämta erfarenhet från.



## 8.4 Ytterligare kombinationer av tekniker

### **Fövärmning av luft i ventilerade spalter i klimatskal + VVX eller VP för att ta tillvara detta**

Huvudsakligen för att minska värmebehovet höst och vår. När det är som kallast ger det troligen en marginell minskning av värmeeffektbehovet. Tilluft + VVX kräver by-pass så att svalare luft kan tas in sommartid. En värmepump fungerar även sommartid. Dels genom att kyla luften så att solcellen får högre verkningsgrad dels genom att värmepumpen får bättre COP vid varmvattenproduktion. Bra med tung stomme bakom solcell/solfångare eller åtminstone bra luftspalt med god luftväxling.

### **Behovsstyrd förvärma via mark + högeffektiv motströms VVX**

Roterande värmeväxlare har fördelen att de ej behöver avfrostas men nackdelen att de överför lukter (matos och röklukt). Motströms plattvärmeväxlare har fördelen att de kan göras helt täta mellan sidorna men nackdelen att de behöver avfrostas. Ett sätt att komma runt detta är då att vid behov förvärma tilluften via en markförlagd kollektor eller ett borrhål. Kan med fördel kombineras med mark-/bergvärmepump.

## 9 Resultat

Kartläggningen har visat på en rad olika tekniker som lämpar sig väl för att användas i mycket energieffektiva flerfamiljshus. Kartläggningen visar också att det kan vara olika komplicerat att kvalitetssäkra och nå de goda egenskaper som erfordras för lågenergihus (som tex lufttätethet, fuktsäkerhet). Inom projektgruppen har några tekniska lösningar identifierats som gruppen tror har mycket bra potential att nå så hög kvalitet som behövs för mycket energieffektiva byggnader som också ur produktionssynpunkt är ”lätta att kvalitetssäkra” och ”lätta att bygga rätt”. Dessa lösningar behöver utvärderas ytterligare för att utgöra beslutsunderlag för byggsektorns aktörer inför val av tekniska lösningar för lågenergihus.

Tekniska lösningar för klimatskal som bedöms ha mycket bra potential för kvalitetssäkrad och effektiv produktion enligt ovan bedöms vara massiva klimatskal, tunga klimatskal samt lätta klimatskal som kompletterats med ett yttre lufttätande skikt. Dessa bör studeras fördjupat avseende:

- förutsättningar för industriell produktion,
- robusthet/enkelhet/felmarginal vid produktion
- produktionskostnad samt LCC
- LCA
- materialens/konstruktionens temperaturutjämnande förmåga för att dämpa temperaturtoppar respektive svackor (termiskt klimat)
- fuktsäkerhet
- möjligheter för att minska köldbryggor (exempelvis vid fönsteranslutning)
- underhållsaspekter

För att få en energieffektiv och god helhetslösning/systemlösning kombineras de tekniska lösningarna för klimatskal med ett flertal andra tekniker. Tekniker som identifierats som mycket intressanta att kombinera till energieffektiva systemlösningar är:

- Värmeåtervinning (frånluft, avlopp)
- Förvärmning av tilluft
- Lågtemperatursystem
- Värmesystem samt styr- och reglersystem för en jämn temperatur
- Tekniker för solskydd
- Värmelager
- Frikyla
- Visualisering och larmfunktioner
- Individuell mätning och debitering

Helhetslösningen måste värderas med tanke på drift- och underhållsaspekter, en beständigt låg energianvändning och god inommiljö. Det skall vara ”lätt att säkra god inommiljö och låg energianvändning” under driftskedet.

## 10 Att läsa mer - referenser

- Ahlqvist D, Sandin L, Sundin R (1970) Termisk isolering, Gullfiber AB
- Anderstam, O. (2007). "Egen mätare ger lägre förbrukning." Elinstallatören 2007(11).
- Blomsterberg, Sikander, Ruud; Moderna självdragsventilerade skolor – utvärdering av ventilation och fukt, Bfr A13:1997
- Boverket (2008). Individuell mätning och debitering i flerbostadshus.
- Clase Magnus, Lindén Ene, Inventering och utvärdering av högpresterande isolering, FoU-Västra rapport 1002
- Drexel Christof, Frost protection units: Up to a 90 percent energy savings through cyclical preheating, 15<sup>th</sup> International Passive House Conference 2011
- Eberlein Jurgen, Bellan Matthias, New multi-functional and special purpose doors with Passive House certified quality and CE conformity, s. 501, 15<sup>th</sup> International Passive House Conference 2011
- Formas, Solhusen i Gårdsten, 2003
- Granmar M, Skjutluckor gör ny villa snålare än passivhus, Energi & Miljö nr 4 2011
- Haase Matthias, Heat transfer in ventilated double facades with obstructions, NSB 2011, Tampere, June 2011
- Hall A. 2009. Solavskärmning – fasadens dynamiska energifilter. VVS-forum oktober 2009.
- Herlin Alexander, Johansson Gabriel, En studie av möjligheten att öka den värmelagrande förmågan hos betong, Examensarbete LTH, TVBM-5080, Lund 2011
- Hägerstedt Olof, Haderup Lars-Erik, Control of moisture safety design by comparison between calculations and measurements in passive house walls made of wood, DBMC Porto Portugal, 2011
- Johansson Tobias, Ulfsson Viktor, Lufttäthet i småhus – En inventering av leverantörer, metoder och produkter, Examensarbete LTH Helsingborg, Lund 2010
- Kildsgaard I, Prejer E, Framtidens trähus – energieffektiva med god innemiljö  
Documentation of project's development, planning, and building phases Building's energy performance, [www.framtidenstrahus.se](http://www.framtidenstrahus.se), 2010
- Kvernes Magdalena, Dags att leverera – från passivhus till energirika byggander, NCC Teknik, 2010
- Linera Christina, Gonzalez Claudio, Energy Efficient Windows, Master of Science Thesis Chalmers, 2011

Martinsson, Linda; Passivhusteknik i ett Svenskt perspektiv – en byggnadsfysikalisk riskinventering och erfarenhetssammanställning av befintliga passivhusprojekt; Chalmers Tekniska Högskola, Examensarbete 2008:15

Mjörnell, Kristina; ByggaF Metod för fuktsäker byggprocess; FoU-Väst Rapport 0702

Murphy M, et al, Energy savings potential with electrochromic switchable glazing, NSB 2011, Tampere, June 2011

Nevander, L-E; Elmarsson, B; Fukthandboken; Svensk Byggtjänst 1994

Rainer Pfluger, Greater comfort and lower costs with zoned Passive House ventilation (cascade ventilation), s. 293, 15<sup>th</sup> International Passive House Conference 2011

Ruud, Svein, Lundin, Leif; Bostadshus utan traditionellt uppvärmningssystem – resultat efter 2 års mätningar; SP Rapport 2004:31.

Samuelson, Ingemar; Ökar risken för fuktskador i passivhus?; Bygg & Teknik 5:2008

Sikander E, ByggaL – metod för byggande av lufttäta byggnader, SP Rapport 2010:73,

Sikander Eva, Ruud Svein, Erfarenhetsåterföring från de första passivhusen, SP Rapport 2011:26

Skogstad, H, Gullbrekken L, Nore K, Air leakages through cross laminated timber (CLT) constructions, NSB 2011, Tampere, June 2011

Strauss Rolf-Peter, Solar thermal or micro heat pump with solar power?, s. 185, 15<sup>th</sup> International Passive House Conference 2011

Strängbetong, Passivhuset Lärkträdet i Vara, [www.strangbetong.se](http://www.strangbetong.se)

Ståhl, F, Influence of thermal mass on heating and cooling demands of a building unit, Chalmers 2009

Svensson O, Hägerhed Engman L, 2009, Förbättringsmöjligheter av lufttäteten i byggnader – erfarenheter och exempel från lufttäthetsmätningar, sammanställning från konferens Passivhus Norden, april 2009

Touchie M, Pressnail K et al, An innovative Approach to Retrofitting Multi-Unit Residential Buildings Using a Nested Thermal Envelope Design, NSB 2011, Tampere, June 2011

Wahlgren P, 2010, Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar, SP Rapport 2010:09

Wall M. 2009. Fönster och solskydd. Kurs: Klimatskal för energieffektiva byggnader.

Wall M. och Bülow-Hübe H., 2001. Solar Protection in Buildings.

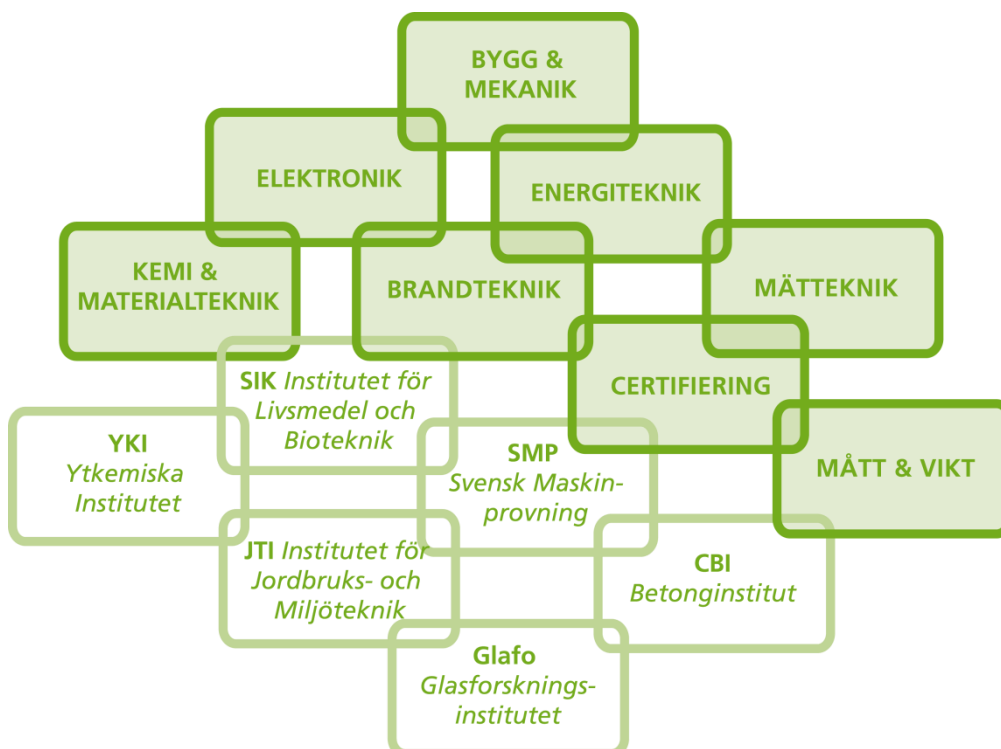
[www.lufttathet.se](http://www.lufttathet.se)

[www.fuktsakerhet.se](http://www.fuktsakerhet.se)

Ödesjö, M., Svensk forskning världsledande på termo- och elektrokroma glas, Glas nr 2/2011

### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 9000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

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

E-post: [info@sp.se](mailto:info@sp.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se)

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Mer information om SP:s publikationer: [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)

Energiteknik

SP Rapport 2011:68

ISBN 978-91-87017-00-1

ISSN 0284-5172