

Lätt att bygga rätt

Klimatskal och värmeåtervinning i energieffektiva lågenergihus

Eva Sikander, Svein Ruud

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



Lätt att bygga rätt

Klimatskal och värmeåtervinning i energieffektiva lågenergihus

Eva Sikander, Svein Ruud

Abstract

Easy to build right

We have previously seen and verified that it is now possible to build highly energy efficient and airtight buildings with a building envelope of lightweight construction. There has not been thus far as much focus on low energy buildings with other types of frame construction which have the ability to be used in the production of low-energy buildings.

Purpose:

The aim of the project is to give feedback to the building sector in the form of an experience and knowledge base, to help with making the choice of which technology and systems to use in the production of low-energy apartment buildings in an efficient manner, together with solutions other than those commonly used today.

The solutions evaluated are primarily involved with a massive building envelope (concrete) with a heavy climate shell of sandwich panels and in situ concrete. A number of technical installation solutions are also evaluated which when coupled with the building envelope have the potential to form good system solutions.

Simulations:

Simulations of technical systems where building envelope and installation techniques are combined to form an energy efficient building show that an airtight building envelope with low U-values and minimized thermal bridges can be combined with efficient installation technology systems for heat recovery, etc. regardless of whether the building envelope is heavy, massive or light in construction. The simulations also show that the thickness of the building envelope is affected by the construction system chosen for the building envelope. The thickness of the walls can be reduced if more effective insulation is used, which has been carried out in reference projects for this study.

Interviews:

This project focuses on airtightness, thermal bridges and the optimal/easiest way to produce the building envelope. The experiences gathered in from interviews with various stakeholders in the construction sector show that massive building envelopes of concrete (concrete sandwich construction and concrete casting with permanent formwork) are already in use today in the production of low-energy buildings and buildings that meet the requirements for the passive house standard. The interviews also highlighted the need for well-executed design and workmanship in order to avoid thermal bridges for example.

Conclusions:

Conclusions from the project include:

- It is possible to achieve highly energy efficient buildings with a heavy building envelope
- It is easy to build airtight building envelopes with heavy solid walls
- It is easy to complement the air sealing layer during the operation because it is easily accessible and often visible from the inside
- An external wall of concrete and insulation should not be too thick in comparison with the light curtain walls, as more highly efficient thermal insulation may need to be considered.
- There is also potential for improvement regarding the construction of/sealing of joints and services for moisture resistance and thermal bridges.

- It is simpler to install a main central ventilation system rather than individual units in each apartment.
- In the operational phase, problems occur with both apartment units and central units. The problems are of a somewhat different character, but it seems more likely that a problem occurs with the apartment units.
- There is clearly potential for improvement when ventilation systems with FTX are used, especially when it comes to reducing problems in the operational phase.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2013:14
ISBN 978-91-87017-99-5
ISSN 0284-5172
Borås 2013

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	5
Förord	6
Sammanfattning	7
1 Bakgrund	13
2 Syfte	15
3 Genomförande	16
4 Koncept- och parameterstudie för energieffektiva flerfamiljshus - simuleringar	17
4.1 Byggnad som simuleras	17
4.2 Simuleringsprogram och kravnivå	18
4.3 Scenarier och indata	18
4.4 Simuleringsresultat av helhetslösningar samt parameterstudie	19
4.4.1 Inverkan av klimatskalets material på energianvändning	22
4.4.2 Inverkan av köldbryggor	24
4.4.3 Inverkan av lufttäthet	27
4.4.4 Inverkan av fönstrens U-värde	28
4.4.5 Inverkan av solavskärmning	28
4.4.6 Inverkan av val av ventilationssystem och värmeåtervinning	28
4.4.7 Inverkan av eleffektiv ventilation	28
4.4.8 Inverkan av val av innetemperatur	28
4.4.9 Inverkan av beteende	28
4.5 Övertemperaturer	29
4.6 Sammanfattning av resultaten	29
5 Erfarenheter från genomförda projekt	30
5.1 Inledning	30
6 Rekommendationer kring kvalitetssäkring vid produktion och drift av tunga klimatskal och energieffektiva installationer	31
6.1 Kvalitetssäkring projektering	31
6.2 Kvalitetssäkring produktion	33
6.3 Kvalitetssäkring drift	34
7 Slutsatser	36
8 Framtida behov av FoU	38
9 Referenser	39
10 Bilaga 1 – Resultat från intervjuer	40
10.1 Tunga klimatskal	40
10.2 Kommentarer kring massiva klimatskal i trä – inledande samtal	43
10.3 Energiförsörjning	44
10.4 Värmedistribution	44
10.5 Ventilation och värmeåtervinning med lägenhetsvisa aggregat respektive centrala aggregat	45

Förord

Detta projekt är följden av de tidigare genomförda projekten *”Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar”*, *”Teknik- och systemlösningar för lågenergihus – översikt”* och *”Erfarenhetsåterföring från de första passivhusen”*. Samtliga projekt, liksom detta, är finansierade av SBUF och företagen inom FoU-Väst. Detta projekt har även finansiering från Lågan¹.

Projektet har arbetats fram inom en arbetsgrupp bestående av

- Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier
- Rolf Jonsson, Väst-Bygg
- Kristina Gabriell, Peab
- Anders Ahlquist, Bravida
- Svein Ruud, SP (installationsteknisk expert)
- Stefan Elfborg, SP (simuleringar)
- Henrik Karlsson, SP (beräkning av köldbryggor)
- Eva-Lotta Kurkinen, SP (värmelagring)
- Eva Sikander, SP (projektledare)

En referensgrupp har stöttat projektet genom att inledningsvis diskutera projektets inriktning och sedan granskat resultatet i denna rapport. Följande personer har ingått i referensgruppen: Carl-Eric Hagentoft, Chalmers; Hans Eek, Passivhuscentrum; Åsa Wahlström, CIT; Anders Rönneblad, Cementa; Berth Olsson, BDAB; företagen inom FoU-Väst. Stort tack till er för alla kloka kommentarer och givande diskussioner!

Många tack till alla de personer som bjudit på sina kunskaper och tankar kring energi-effektiva byggnader genom att låta oss genomföra intervjuer och besök på byggarbetsplatser!

¹ LÅGAN-programmet (program för byggnader med mycket LÅG energiANvändning) är ett femårigt nationellt program som drivs av Sveriges Byggindustrier med ekonomiskt stöd av Energimyndigheten. LÅGAN syftar till att etablera en marknad med ett brett utbud av nya aktörer som erbjuder produkter eller tjänster för byggande av lågenergihus och ett brett utbud av nya beställare. LÅGAN syftar vidare till att öka kunskap och yrkesskicklighet i bygg- och fastighetsbranschen.

Sammanfattning



Bild 1 Passivhus med sandwichelement i betong under produktion vinter 2012/2013.

Vi har tidigare sett och verifierat att man idag kan bygga mycket energieffektiva och lufttäta byggnader med lätta konstruktioner i klimatskalet. Exempel på projekt som kommunicerats och utvärderats är passivhusen i Lindås, Glumslöv, Oxtorget och Hamnhuset. Byggsektorn har allteftersom också arbetat med utbildning och tekniska lösningar för att bygga lufttäta klimatskal i dessa lätta klimatskal. Med tillämpning av dessa kunskaper, erfarenheter och produkter kan man konstatera att man mycket väl kan producera kvalitets-säkra lågenergihus med lätta klimatskal.

Det har dock hittills inte varit lika mycket fokus på byggandet av lågenergihus med andra typer av stomsystem som också har möjlighet att användas för produktion av lågenergi-byggnader. Exempel på sådana andra alternativa stomsystem som kan övervägas vid produktion av lågenergibyggnader är massiva klimatskal i betong eller trä.

Inom ramen för detta projekt har syftet varit att teoretiskt simulera och genom intervjuer samla erfarenheter från framförallt byggandet av tunga och massiva klimatskal i betong för att kunna utgöra ett beslutsunderlag tillsammans med tidigare erfarenheter från lätta klimatska vid val av stomsystem. I framtida forskningsprojekt kan fokus istället komma att läggas på t ex massiva klimatskal i trä.

Energieffektiv helhet

Simuleringar av tekniska system där klimatskal och installationsteknik samverkar till en energieffektiv byggnad visar att man kan få ett mycket energieffektivt flerbostadshus oavsett om man väljer lätt klimatskal, massivt tungt klimatskal eller massivt klimatskal i trä. Det avgörande visas vara att man har klimatskal med låga U-värden, har minimerat köldbryggor och byggt med god lufttätethet i kombination med effektiva installationstekniska system för värmeåtervinning m m.

Simuleringarna visar också att klimatskalets tjocklek påverkas av vilket byggsystem som väljs för klimatskalet. För massiva och tunga klimatskal såsom betongsandwich innebär det att klimatskalet blir något bredare än lätta utfackningsväggar om isolering med samma λ -värde används i konstruktionerna och för att nå ett U-värde om $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. I ett beräkningsfall blir då väggens tjocklek 530 mm för betongsandwichvägg och 434 mm för

lätta klimatskal. I simuleringsfallet minskar det tunga klimatskalets tjocklek cirka 5 cm om isoleringen i en betongsandwich byts till en mer högeffektiv isolering såsom grafit-isolering. Grafitisolering har använts i de besökta referensobjekten som byggs såsom passivhus. Ytterligare en faktor som kan påverka de båda väggarnas tjocklek är förekomsten av köldbryggor som i denna förenklade jämförelse satts till 0. Väggens tjocklek har påtalats påverka den uthyrningsbara ytan och kan därmed i vissa centrala lägen vara viktig.

Den termiska komforten påverkas av en byggnads värmekapacitet där ett tungt klimatskal som exponeras mot innemiljö kan bidra ytterligare till att jämna ut temperatursvängningar över dygnet. Inom ramen för detta projekt är simuleringar av energianvändning utförda med utgångspunkt att alla simuleringsfallen har tung invändig stomme. De extra ytor av tunga material som tillkommer på grund av tunga klimatskal påverkar till mindre del tidkonstanten för byggnaden och därmed energianvändningen och effektbehovet. I vilken mån det termiska klimatet (t ex risken för övertemperaturer) påverkas har inte studerats inom detta projekt. Vid en slutlig projektering av en byggnad är dock övertemperaturer en viktig parameter att studera.

Uttorkning av byggfukt innebär initialt en högre energianvändning. Vid användning av prefabricerad betong och högpresterande betong kan den mängd fukt som skall torkas ut hållas låg. Beräkningar har utförts.

Klimatskal - erfarenhetsåterföring

Detta projekt fokuserar på lufttätethet, köldbryggor och om det är optimalt/lätt att producera klimatskal. Erfarenheter som samlats in i samband med intervjuer med olika aktörer i byggsektorn visar att man redan idag använder tunga klimatskal i betong (betongssandwich eller platsgjutna med kvarsittande form) för produktion av lågenergibyggnader och byggnader som uppfyller passivhusstandarden. Intervjuerna visar dessutom:

Lufttätethet: För att bygganden skall använda så lite energi som möjligt är det väsentligt att luftläckagen genom klimatskalen är så små som möjligt.

- Utförda täthetsprovningar visar att man kan nå mycket låga läckagetal då man producerar byggnader med tunga klimatskal. Exempel på mätresultat är betydligt lägre än 0,1 l/m²s.
- Om projekteringen är väl utförd så är arbetsinsatsen på byggarbetsplatsen mycket liten för att nå lufttäta klimatskal. En verifierande täthetsprovning behöver dock alltid göras.
- I jämförelse med lätta klimatskal med ett lufttätande skikt av PE-folie eller duk som byggs in i konstruktionen är insatsen mycket mindre för arbetsutförande och instruktioner/utbildning.
- Vid sammanfogning av prefabricerade fasadelement är det viktigt att måtten stämmer väl så att tätningsband som monteras mellan blocken varken blir för hårt klämda, alternativt inte fyller ut utrymmet.
- Om man i samband med täthetsprovning upptäcker lokala luftläckage kan dessa med liten insats kompletteras då man kan komplettera de läckande genomföringarna eller anslutningarna från insidan som inte är dolda bakom andra material. I lätta klimatskal där det lufttätande skiktet är inbyggt måste dessa luftläckage åtgärdas innan skiktet byggs in och därför är det viktigt i dessa fall med en tidig uppmätning och lokalisering av läckage innan inbyggnaden sker.

Köldbryggor: För att klimatskalet skall ha så små värmeförluster som möjligt är det viktigt att köldbryggorna minimeras.

- Vid intervjuer påtalar man att projekteringen är viktig för att undvika onödiga köldbryggor
- Några kritiska punkter för köldbryggor är t ex fönster- och dörranslutningar, balkonginfästningar, anslutningar mot grund och vindsbjälklag.
- I samband med produktion av lågenergihus och passivhus med tunga klimatskal i betong har olika detaljer utvecklats. Förutom den ökade isolertjockleken, utbyte till ett mer högpresterande värmeisolerande material har bl a fönsteranslutningar och balkonginfästningar utvecklats vidare från det traditionella systemet med betongelement.
- Beräkning av värmeförluster genom olika köldbryggor verifierar att projekteringen av betongelementen och detaljutformningen är viktig för en så låg värmeförlust och så god termisk komfort som möjligt. Beräkningsexemplet visar på inverkan av olika fönsterinfästningar.
- Den inverkan på uppkomsten av köldbryggor man möjligen kan ha på en byggarbetsplats är om igjutningen från insidan mellan byggelement sprider sig ut till den yttre delen av klimatskalet. Detta kan vara fallet om drevningar och tätlister inte är applicerade korrekt.

Övrig produktionseffektivitet:

- Vid produktion av byggnader med klimatskal av betong och utan organiska eller träbaserade material används i allmänhet inte väderskydd. Kommentar vid intervju är att det är viktigt att organiska material undviks, även vid takkonstruktionen, för att undvika behovet av väderskydd genom hela byggprocessen
- De tunga och/eller skymmande betongelementen kräver byggkranar av en prestanda som är högre än för produktion av andra klimatskal.
- Om betongelementen med hög prefabriceringsgrad jämförs med platsbyggda utfackningsväggar är logistiken och utrymmet kring byggarbetsplatsen avgörande. I centrala lägen i städer behöver detta beaktas i ett tidigt skede.
- Uttorkning av betong måste planeras. Beror bl a av betongkvalitet.
- Den höga prefabriceringsgraden gör att produktionstiden blir kortare jämfört med konventionellt byggande med lägre grad av prefabricering för utfackningsväggar.
- Såsom tidigare nämnts är arbetsinsatsen för att skapa god lufttätet är enligt de erfarenheter som hämtats in via intervjuer betydligt mindre än då man har klimatskal där tätskiktet är en duk som byggs in i konstruktionen.

Att tänka på och behov av utveckling:

Vid intervjuer har det påtalats att det också finns behov av att vidareutveckla olika saker såsom:

- Lösningar för att ytterligare minska köldbryggor vid anslutning yttervägg/grund, infästningsanordning runt fönster och dörrar samt balkonginfästningar
- Regn kan komma in i elementen vid framförallt fönsteröppningar, men även vid elementskarvar, om inga extra åtgärder vidtas. Tiden under både transport samt under montering innan de utvändiga fogarna är på plats behöver beaktas.
- Skarvarna mellan elementen behöver utvecklas avseende drevning med tanke på att regn kan fukta upp under monteringen.
- Viktigt att detaljer hamnar rätt, t ex detaljer för infästningar av fönster
- Den utvändiga fogningen kan bli fördröjd av för kallt väder. Då är det viktigt att ha bottningslist på plats för att på detta sätt stoppa en del av inträngande vatten. Behövs annan lösning?

- Anvisningar för att avgöra om ytan är tillräckligt torr inför en eventuell invändig målning?

Kommentarer om driften av byggnader med tunga klimatskal visar att:

- Lösningen med tunga och massiva stommar där den massiva delen exponeras mot insidan är en robust lösning där hyresgäster kan fästa olika detaljer utan att klimatskalet och dess lufttätethet skadas.
- Efter ett antal års brukande och då en renovering är aktuell kan vid behov det lufttätande skiktet kompletteras utan stora ingrepp i konstruktionen. De kritiska punkterna ur lufttätethetssynpunkt (anslutningar mot fönster, dörrar och bjälklag, skarvar mellan element samt genomföringar) är exponerad mot innemiljön och kompletteringen blir därför lättare att utföra än om det lufttätande skiktet skall kompletteras inne i en konstruktion.
- Vid tillbyggnad och vid nya genomföringar i klimatskalet är lufttätetheten sannolikt lättare att planera och genomföra på ett bra och kvalitetssäkrat sätt.

Energiförsörjning

Möjlighet att kunna välja olika energiförsörjningssystem bedöms vara av avgörande betydelse för en större spridning av ett ”lätt att bygga rätt”-koncept. Detta är en av orsakerna till att vi nedan förordar ett värmedistributionssystem där åtminstone den centrala distributionen är vätskeburen. Man kan då ha en energiförsörjning som baseras på el, fjärrvärme, solvärme, biobränsle och/eller värmepumpar.

Värmedistribution

Projektgruppen kom fram till att luftvärme borde vara det mest kostnadseffektiva sättet att huvudsakligen distribuera ut värmen i varje lägenhet. I flera projekt har man dock kommit fram till att luftvärme är dyrare än radiatorer. Orsaken till detta borde närmare behöva utredas. Beror det på att obeprövad teknik jämförs med beprövad teknik och att lärokostnader vägts in i beräkningarna eller finns det andra orsaker. Erfarenheterna av luftvärmesystemen är vidare blandade. Vissa är mycket nöjda och tycker det fungerar bättre än radiatorer. Andra tycker det har varit ”massa strul och klagomål”. Det finns därför två huvudalternativ för värmedistribution i lägenheterna.

1. **Traditionella vattenburna radiatorer.** Tack vare det låga värmebehovet kan framledningstemperaturen hållas lägre än i ett vanligt 55-45-system. Fördelar jämfört med luftvärme är möjligheten till individuell reglering i varje rum och minskad risk för kallras vid fönster. En annan fördel är att det är ett ur brukarens och driftspersonalens synvinkel begripligt system. Nackdelen är att separat rördragningar krävs till varje rum. Injustering och underhåll av termostatventiler kan också innebära en hel del merarbete.
2. **Luftburen värme med vätskeburet tillufts batteri i varje lägenhet.** Fördelen är att man utnyttjar tilluftskanalerna för att vid behov även distribuera värme. En nackdel med detta system är att möjlighet till individuell reglering i varje rum saknas. Vidare innebär det en extra svårighet i att samprojektera värme- och ventilationsbehov i varje rum. Dessa nackdelar får vägas mot den relativt korta period som man överhuvudtaget behöver aktiv värmning i ett lågenergihus. För att ytterligare minimera rördragningarna föreslås att den lilla värmemängd som krävs kan hämtas från VVC-kretsen. Detta måste i så fall göras på ett säkert sätt med avseende på risk för legionella. Frysskydd är vidare en annan sak som måste säkerställas vid användning av vätskeburna tillufts batterier. Läckage från ett sönderfruset batteri kan bli mycket kostsamt.

Ett tredje alternativ skulle kunna vara ett extremt lågtempererat golvvärmesystem. Till skillnad från ett traditionellt golvvärmesystem skulle detta kunna göras regler tekniskt enklare samtidigt som en mycket snabb passiv reglering skulle erhållas. Detta alternativ behöver dock först utvärderas i praktisk drift. Kostnadsaspekterna måste också utvärderas mer.

Värmeåtervinning

För att byggnaden skall ha så små ventilationsförluster som möjligt är det viktigt med en högeffektiv ventilationsvärmeåtervinning. Ventilationsförlusterna kommer annars att bli större än transmissionsförlusterna i en välisolerad byggnad. I valet mellan frånluftsvärme-pump och luft-luftvärmewäxling (FTX²) valdes FTX då denna teknik är mer eleffektiv och systemtekniskt mer fördelaktig att kombinera med olika energiförsörjningssystem, exempelvis fjärrvärme eller bergvärmepump. Vid intervjuer kring installationstekniska system och kommentarer kring effektiv produktion och effektiv drift har fokus i detta projekt lagts vid jämförelser och för- respektive nackdelar med centralt placerad värmeåtervinning eller lägenhetsvis placerad värmeåtervinning. Intervjuer samt erfarenheter från tidigare genomförda projekt visar på att det finns för- och nackdelar med både centralt och lägenhetsvis placerade värmeåtervinningsaggregat. Sammantaget bedöms dock centralt placerade aggregat vara att föredra både ur produktions- och driftstekniska aspekter. För att undvika problem med luktöverföring och samtidigt ha en hög verkningsgrad bör dessa dock vara av typen motströms plattvärmewäxlare. De problem med påfrysning som förekommer i denna typ av värmewäxlare föreslås lösas genom behovsstyrd förvärmning av uteluften. Den mest energieffektiva metoden är att utnyttja värme från ett borrhål eller markslinga. I det fallet kan man också få en mycket billig, om än begränsad, frikyla sommartid.

Slutsatser

Slutsatsen från intervjuer i projektet är bland annat att:

- Det är lätt att bygga lufttäta klimatskal med tunga massiva väggar
- Det lufttätande skiktet är lätt att komplettera under driften eftersom det är lätt åtkomligt och oftast synligt från insidan
- Det är robusta och fukttåliga material
- För att en yttervägg med betong och isolering inte skall bli för tjock i jämförelse med lätta utfackningsväggar kan en mer högeffektiv värmeisolering övervägas.
- Det finns också en förbättringspotential bl a när det gäller utföranden av skarvar och anslutningar avseende fuktsäkerhet och köldbryggor.
- Det är installationsmässigt något enklare att installera centrala ventilationsaggregat jämfört med lägenhetsaggregat.
- I driftfasen förekommer problem både med lägenhetsaggregat och centrala aggregat. Problemen är dock av lite olika karaktär och det tycks oftare vara problem med lägenhetsaggregaten.
- Det finns helt klart en förbättringspotential hos ventilationssystem med FTX, främst när det gäller att minska problem i driftfasen. Motströms värmewäxlare har ofta problem med förbigångsspjäll och att få avfrostningen att fungera på ett bra sätt. Centrala roterande värmewäxlare har ofta problem med tryckbalanser över rotor och luktöverföring mellan lägenheter. Roterande lägenhetsaggregat har ibland problem med för hög fuktåterföring.

² Från- och Tilluftsventilation med ventilationsvärmewäxling

- Erfarenheterna av luftvärmesystemen är blandade. Vissa är mycket nöjda och tycker det fungerar bättre än radiatorer. Andra tycker tvärtom att det har varit ”massa strul och klagomål” med luftvärmesystem.

Slutsatser från simuleringarna som gjorts i projektet.

- Simuleringar för scenarier med lätta utfackningsväggar, massiva tunga klimatskal i betongsandwich samt klimatskal med massiv trästomme visar att alla (efter att ha optimerat olika parametrar såsom exempelvis köldbryggor) kan uppfylla den i detta projekt antagna målnivån som satts till $55 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år samt Värme-förlusttal(VFT) enligt FEBY12 Kategori 3 Passivhus.

1 Bakgrund

I ett 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 innemiljö och beständighet. Detta gäller alla byggnader som uppförs idag, men är än viktigare i mycket energieffektiva byggnader. Bland kommentarer som lyftes från byggsektorns sida var att det finns ett behov av ett fåtal 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 lösningarna dessutom vara goda ur produktionsteknisk synpunkt. Erfarenhetsåterföringen från genomförda projekt behöver förbättras för att få en bra grund att stå på.

För att kunna besvara byggsektorns frågeställningar och tillgodose dess behov av kunskap enligt ovan har en förstudie kartlagt olika tekniska och systemtekniska lösningar. Kartläggningen har presenterats i det SBUF-finansierade projektet ”Teknik- och systemlösningar för lågenergihus – översikt” (FoU-Väst RAPPORT 1103) som drivits av Väst Bygg och Bravida i samverkan med SP och företag från FoU-Väst. Kartläggningen har visat på en rad olika tekniska lösningar som lämpar sig väl för att användas i lågenergifierfamiljshus, några används i större omfattning idag och erfarenheterna börjar bli kartlagda.

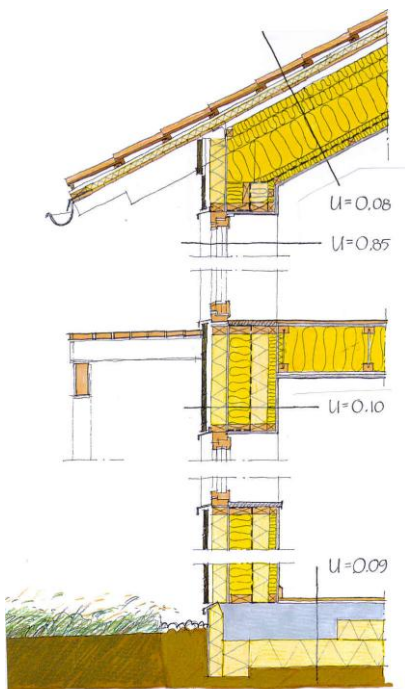


Bild 2 Passivhusen i Lindås är exempel på en av alla de byggprojekt som uppmärksammats och utvärderats och som är byggd med lätta klimatskal. Uppföljningen efter både 2 år och 10 år visar att husen fungerar väl.

Bland de lösningar som är mer vanligt förekommande idag kan nämnas lätta klimatskal såsom lätta utfackningsväggar i kombination med mekanisk till- och frånluft med effektiv värmeåtervinning (se även det SBUF-finansierade projektet ”Erfarenhetsåterföring från de första passivhusen”, FoU-Väst RAPPORT 1101).

Några tekniska lösningar och systemlösningar har också identifierats som inte är lika vanligt förekommande och analyserade men som har potential att bidra till effektivare produktion, mycket låg energianvändning och mervärde för användarna av byggnaderna. Kartläggningen visar också att det kan vara olika komplicerat att kvalitetssäkra och nå de goda egenskaper som erfordras för lågenergihus (som t ex lufttätethet, fuktsäkerhet). Några tekniska lösningar har identifierats som bedöms ha 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”. Dessutom skall helhetslösningarna ge förutsättningar för en beständigt låg energianvändning och god innemiljö, det vill säga att det skall vara ”lätt att säkra god innemiljö och låg energianvändning” under driftskedet.

Dessa alternativa lösningar behöver utvärderas ytterligare för att ge kunskap inför val av teknik- och systemlösningar för att producera lågenergihus.

2 Syfte

Hypotes: *Det skall vara "lätt att bygga rätt" samt "lätt att förvalta rätt"*.

Syftet med projektet är att ge byggsektorns aktörer en erfarenhetsåterföring och ett kunskapsunderlag inför deras val av teknik- och systemlösningar för att producera lågenergi-flerbostadshus på ett effektivt sätt och med andra lösningar än de som vanligen används idag. Projektet fokuserar på att samla och öka kunskapen avseende låg energianvändning, effektiv och kvalitetssäkrad produktion (lätt att bygga rätt), god beständighet och god innemiljö (t ex termiskt klimat).

Lösningarna som utvärderas är framförallt klimatskal som är massiva och tunga och fokus är klimatskal i betong (sandwichelement och platsbyggnad i betong). Förutom klimatskal utvärderas ett antal installationstekniska lösningar som tillsammans med klimatskalen har förutsättningar att bilda goda systemlösningar enligt ovan. Utvärderingen har skett teoretiskt och där det varit möjligt har även praktiska erfarenheter inhämtats.



3 Genomförande

Val av koncept för energieffektiva flerbostadshus

För att få en energieffektiv och god helhetslösning/systemlösning kombineras tekniska lösningar för byggnadsstommen med ett flertal installationstekniska lösningar. De tekniska lösningarna som identifierades i förstudien och som bedömdes ha förutsättningar att kunna användas i energieffektiva flerfamiljshus utgör utgångspunkt för simuleringarna. Bland dessa fanns lätta klimatskal samt massiva klimatskal i kombination med värmeisolering där den massiva delen kan utgöras av murade material, massivt trä eller gjutna i betong.

Genom en inledande diskussion inom arbetsgruppen och avstämning med referensgruppen avgränsades studien till att, förutom helhet för energieffektiva byggnader, behandla massiva och tunga klimatskal av betong samt FTX-system med centralt respektive lägenhetsplacerade aggregat.

Simuleringar för system med låg energianvändning

Simuleringar utfördes i VIP Energy för att visa i vilken mån helhetslösningar med lätta respektive tunga klimatskal i betong i kombination med installationstekniska lösningar kan skilja sig åt. En parameterstudie har också utförts för att belysa betydelsen av olika val. Dynamiska styr och regler system har inte simulerats eftersom Programet VIP Energi automatiskt styr mot en konstant innetemperatur.

Erfarenhetsinsamling

Genom insamling av befintlig erfarenhet i byggsektorn (intervjuer) och analyser värderas lösningarna avseende förutsättningar för:

1. Beständigt låg energianvändning under driftskedet – bl a lufttäthet, effektivitet på värmeåtervinning, köldbryggor
2. God inomhusmiljö – bl a termisk komfort, luftkvalitet, fuktssäkerhet, ljud
3. Effektiv och kvalitetssäkrad produktion (lätt att bygga rätt) – bl a robusthet, enkelhet, felmarginaler, kompetensbehov
4. Effektiv drift och underhåll (lätt att förvalta rätt) – bl a robusthet, enkelhet, användarvänlighet

Intervjuer har genomförts med personer aktiva i olika delar av byggprocessen:

- Leverantörer och tillverkare av byggnadskomponenter (2 personer)
- Byggherreorganisation (3 personer)
- Representanter för projektörer/plattformsutvecklare (2 personer)
- Entreprenörer (5 personer)
- Förvaltande organisationer (2 personer)

4 Koncept- och parameterstudie för energieffektiva flerfamiljshus - simuleringar

4.1 Byggnad som simuleras



Bild 3 Ritning på byggnad som tagits fram av FO Petersson och Söner och vars mått och form använts för simuleringarna. Vid beräkningarna har åtta likadana våningsplan antagits.

Vid simuleringar av punkthuset enligt ritning i föregående bild har utförts med följande förutsättningar och indata:

- Placeringsort Stockholm
- 8 våningar
- Våningshöjden är antagen till 3,0 meter
- Jämfört mer ritningen är balkongerna borttagna och ersatta med fasta solskydd
- Antagande om att alla fönster har storleken 1,2m * 1,4m
- Invändig stomme utgörs av betong
- Välisolerat tak (U-värde 0,10 W/m²K)
- Platta på mark (U-värde 0,12 W/m²K)
- U-värden för vägg har satts till 0,1 W/m²°C
- Ventilation med motströms FTX (centralt placerat aggregat)
- Normalflöde i bostäder enligt krav i BBR 19. 0,35l/s,m² vid vistelse och lägst 0,1l/s,m² vid frånvaro
- Max 1,5 sfp
- 80 % värmeåtervinning³
- Temperaturintervall – 21 grader min
- Brukarindata enligt SVEBY

³ Motsvarar en uppmätt temperaturverkningsgrad i tilluften på 85-90 % beroende på vilka systemförluster man har.

4.2 Simuleringsprogram och kravnivå

Energiberäkningarna har utförts i VIP-Energy 2.0.8 © Structural Design Software in Europe AB 2012. Programmet tar bl a hänsyn till värmelagrande förmågan i byggnadens stomme men tillåter däremot inte en variabel innetemperatur.

Målnivå inom ramen för detta projekt har satts till 55 kWh/m² A_{temp} och år. Det är också den nivå som har föreslagits i Energimyndighetens rapport ER 2010:39 samt nu tillämpas i Norra Djurgårdsstaden. Målnivån för värmeförlusttal(VFT) har satts enligt FEBY12 Kategori 3 Passivhus där VFT räknas enligt FEBY12 Bilaga 2.

Genom att reducera köpt energi genom intern generering av solvärme och/eller solel kan man komma under 50 % av energikravet i BBR19, det vill säga under 45 kWh/m² A_{temp} och år. Genom användning av effektiva värmepumpar bedöms att man också kan komma under 50 % av Boverkets nuvarande byggregler (BBR19) för en elvärmad byggnad, det vill säga under 27,5 kWh/m² A_{temp} och år.

4.3 Scenarier och indata

Inom arbetsgruppen har olika tänkbara scenarier för mycket energieffektiva byggander diskuteras fram, också med bakgrund till tidigare genomförda Fol-projekt samt erfarenheter från genomförda byggprojekt. Scenarierna skulle ha realistiska förutsättningar att vara energieffektiva, produktionsvänliga samt ha förutsättningar för robusthet, god inommiljö och fuktsäkerhet. De scenarier som arbetsgruppen slutligen enades om att jämföra presenterades för en referensgrupp som också bidrog med sina erfarenheter. Scenarierna som ur en helhetssynpunkt ansågs vara lämpliga att jämföra i denna simulering var klimatskal med lätta utfackningsväggar, betongsandwich alternativt massiva träskivor med utvändigt värmeisolering enligt tabell nedan.

Tabell 1 Ytterväggens uppbyggnad i de scenarier som simulerats i VIP Energy. Isolertjockleken anges som exempel, men kan komma att variera till följd av förekomst av köldbryggor, λ -värde hos vald isolering m m. Beräkningar är utförda av Stefan Elfborg, SP.

	Vägguppbyggnad	U-värde*	Vägg tjocklek	Kommentarer
Scenarie 1	22 panel 28 luftspalt 13 skiva 145 isolering36 145 isolering36 pe-folie 55 isolering36 12 träbaserad skiva 13 gipsskiva	0,1 W/m ² K	434 mm	Exempel: En materialtillverkare anger en vägg tjocklek om 474mm för en vägg med U-värde 0,1 och med hänsyn till köldbryggor i aktuell lösning
Scenarie 2	70 betong 350 isolering36 110 betong	0,1 W/m ² K	530 mm	
Scenarie 2 grafitisolering	70 betong 302 isolering31 110 betong	0,1 W/m ² K	482 mm	I referensobjekt för passivhus användes grafitisolering
Scenarie 3	22 panel 28 luftspalt 335 isolering36 ev folie/tätskikt 75 massivträ	0,1 W/m ² K	460 mm	

* I detta beräkningsfall har en förenkling gjorts på så sätt att köldbryggorna satts till 0 (se ID 1 i Tabell 3). I ett verkligt fall kommer detta inte vara fallet. Hur mycket tillägget blir i U-värde, alternativt hur mycket tjockare väggen blir för att behålla U-värde om 0,1 W/m²K, beror på hur väl man lyckas lösa köldbryggor. Se vidare i kapitel 4.4.2.

Dessa tre typer av klimatskal antas kombinerade med solavskärmningar samt en installationsteknisk lösning med FTX-aggregat för ventilationsvärmeåtervinning. Simuleringar genomfördes endast för centralt placerad FTX. Erfarenhetsåterföring från byggprojekt har dock inhämtats från båda fallen. Behovsstyrning av ventilationen har heller inte antagits. Detta kan ge ytterligare en viss besparing. I fallet med centrala FTX-aggregat bedöms det innebära en komplicerad lösning som knappast blir kostnadseffektiv. Beräkningarna avser netto energibehov och tar inte hänsyn till typ av värmedistributions-system eller typ värmekälla. Dessa kan sedan väljas enligt tabell 2 nedan.

Tabell 2

Ventilation och återvinning luft	<p>I Central FTX med motströms värmeväxlare. Behovsstyrd förvärmning av uteluft via borrhål eller annan värmekälla. Spisfläkt/kåpa med separat utblås och begränsat flöde 40-60 l/s, eller recirkulerande kolfilterfläkt.</p> <p>II Motströms eller roterande FTX i varje lägenhet. Köksfläkt med separat utblås som samstyrs med FTX, eller recirkulerande kolfilterfläkt. Behovsstyrning (ej vid större värmebehov). Roterande växlare bör förses med styrsystem för att undvika för hög återföring av fukt vintertid.</p>
Värmedistribution	<p>I Luftvärme via batterier i varje lägenhet. Elvärt eller vätskekopplat (eventuellt till VVC-krets*). Värme i rum utan tilluft måste lösas enligt II nedan.</p> <p>II Individuell värme i varje rum. Elvärme eller vattenburen värme.</p>
Lågtemperatursystem	Ja, eventuellt om värmepump eller lågtempererad fjärrvärme (retur?)
Värmekälla	<p>I solvärme och biobränsle</p> <p>II fjärrvärme (och solvärme?)</p> <p>III berg/mark VP (och solvärme?)</p> <p>IV Elvärme (ev. kombinerat med solvärme och/eller CO₂-VP för varmvattenet)</p>
Elproduktion	Solceller för driftel. Integrerade i klimatskärm/fasta solskydd

* En legionellasäker undercentral för detta har utvecklats av i ett samarbete mellan EKSTA Bostads AB och Ingenjörbyrån Andersson & Hultmark AB.

I beräkningarna har endast det totala energibehovet beräknats. Inverkan av internt genererad energi från solvärme, solceller eller värmepumpar har inte beaktats. Typ av värmedistributionssystem har inte antagits ha någon betydelse för energibehovet.

4.4 Simuleringsresultat av helhetslösningar samt parameterstudie

Simuleringar för de tre scenarierna visa att alla (efter att ha optimerat olika parametrar såsom exempelvis köldbryggor) kan uppfylla den i detta projekt antagna målnivån som satts till 55 kWh/m² A_{temp}, år samt Värmeförlusttal(VFT) enligt FEBY12 Kategori 3 Passivhus.

Parameterstudie har utförts för de tre scenarierna. Parameterstudien omfattar de aspekter som kan anses ha störst betydelse för byggnadens energianvändning och som inte direkt

är avhängiga av brukarbeteende (vilket i sig har en mycket stor inverkan på den totala energianvändningen i ett bostadshus):

- Lufttäthet
- U-värde för fönster
- Innetemperatur (till viss del brukarbeteende och individuella behov)
- Solavskärmning (antal fönster avskärmade)
- Variation i SFP (specifik fläkteffekt)
- Olika värmeåtervinning för ventilationsaggregatet.

Tabell 3 Parameterstudie för scenariefall. Referensfallet är utgångspunkt för ändringar avseende olika parametrar. För att nå ett målvärde om 55 kWh/m²år används referensen med förbättringar, t ex minskade köldbryggor, bättre U-värde avseende fönster samt ökad lufttäthet. Parameterstudien är utförd av Stefan Elfborg, SP.

Specifikenergianvändning [kWh/m ²]**					
ID	Ändrad parameter	Värde parameter	Scenarie 1 Lätt klimat- skal	Scenarie 2 Betong- sandwich	Scenarie 3 Massiva trä- skivor
0	Referens, utgångs- värde	Köldbr schablon 20 % U _m 0,29 W/m ² K lufttäthet 0,2 l/sm ² fönster 0,9 W/m ² K	57,4	57,2	57,4
1	Reduktion köldbryggor till att vara 0*	U _m 0,24 W/m ² K		-3,8	
2	Lufttäthet	0,1 l/sm ²		-0,6	
3	Lufttäthet	0,3 l/sm ²		+0,6	
4	Lufttäthet	0,8 l/sm ²		+3,5	
5	Fönster	0,85		-0,9	
6	Fönster	1,2		+5,6	
	Referens lufttemp	22 °C			
7	Lufttemperatur	21 °C		-1,6	
8	Lufttemperatur	20 °C		-3,1	
9	Lufttemperatur	18 °C		-5,8	
	Solavskärmning referens	Enligt ritning (balkonger)			
10	Solavskärmning alla fönster			+0,4	
	Referens	SFP 1,3			
11	SFP	2,0		+1,7	
	Ingen	Referens(80/80)			
12	Reglerfall	70/80		+0,8	
13	Reglerfall	70/70		+3,7	
14	Reglerfall	70/60		+6,8	

*I detta beräkningsfall har en förenkling gjorts på så sätt att köldbryggorna satts till 0. I ett verkligt fall kommer detta inte vara fallet. Hur mycket tillägget blir i U-värde som följd av köldbryggor beror på hur väl man lyckas lösa köldbryggor. Se vidare i kapitel 4.4.2.

**Det kan finnas osäkerheter för beräkningsmodeller i programmet och storleken på denna osäkerhet kan i vissa fall vara större än skillnaderna mellan beräkningsfallen. Det är dock inte möjligt att utvärdera storleken av osäkerheterna eftersom koden för programvaran inte är tillgänglig.

Från den redovisade energianvändningen kan ett antal kWh/m² år dras bort eftersom siffrorna är redovisade utan internt genererad energi. I det icke-elvärmda fallet krävs att el från 200-300 m² optimalt placerade och högeffektiva kiselceller kan tillgodoräknas för reduktion av driftel för att nå under 45 kWh/m² år. Solvärme bedöms endast relevant i kombination med biobränsle och kan då huvudsakligen antas täcka upp för biopannans verkningsgradsförluster, det vill säga de ger ingen nämnvärd nettoreduktion köpt energi. I det elvärmda fallet krävs en värmepump som hämtar upp närmare 75 MWh geotermisk energi per år. I kombination med en solcellsanläggning enligt ovan kan detta reduceras till cirka 50 MWh geotermisk energi per år.

4.4.1 Inverkan av klimatskalets material på energianvändning

Inverkan på energianvändning

Simuleringarna inom detta projekt har utgångspunkten att de tre klimatskalen har samma U -medelvärde (U_m -värde). Köldbryggor behandlas separat i kapitel 4.4.2. De U_m -värden som använts i de tre scenarierna är $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$. Skillnaden i energianvändning som simuleringen visar är mycket liten, **cirka $0,2 \text{ kWh/m}^2\text{år}$** . Det skall påpekas att alla de tre scenarierna har en tung invändig stomme.

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 kylagringens förmågan är relativt god i normala byggnadsmaterial med lite högre densitet. Övergångsmotståndet mellan luft och material minskar dock åtkomsten av lagringspotentialen. Passiv värmelagring lämpar sig bäst i byggnader med mycket internlast eller i klimat med stora dygnsvisa temperatursvängningar. Den termiska massan kan då dämpa ut svängningarna och ett stabilare klimat uppnås. Den exponerade ytan hos de termiska massorna måste vara så stor som möjligt. Aktiv värmelagring innebär att värmen antingen flyttas eller fördelas med hjälp av fläktar eller pumpar. Låter man t ex luft strömma över en yta kan mer värme överföras än om luften stått stilla.

För att studera tidskonstanten, som är ett mått på den tid det tar för byggnadens innetemperatur att svara på en hastig temperaturförändring utomhus eller avbrott i värmeförsörjningen, har i detta fall en enkel handberäkning utförts. Denna visar att tidskonstanten för byggnaden framförallt påverkas av att alla de tre scenarierna har en tung inre stomme. Valet av tung, medel tung eller lätt klimatskal visar sig ha mindre inverkan, vilket också är logiskt eftersom skalet inte utgör lika stor del som hela stommen. Detta återspeglades också i energisimuleringarna där det inte går att utläsa någon större skillnad i energianvändning på årsbasis.

Tabell 4 Den termiska massans inverkan på tidskonstanten (handberäkning). Byggnadens tidskonstant beräknad enligt SS EN ISO 13790:2008. För enkelhetens skull antogs att alla ytor är fria och bidrar till värmelagringen.

Beräkningsfall	Typ av klimatskal	Tidskonstant
Endast klimatskal	Lätt utfackning	1,2 dygn
	betongsandwich	3,8 dygn
	Skiva av massivträ	2,1 dygn
Byggnad med invändig tung stomme i kombination med olika klimatskal	Lätt utfackning	14,4 dygn
	betongsandwich	17,0 dygn
	Skiva av massivträ	15,2 dygn

I det här fallet kan det konstateras att valet av stomme har större betydelse än valet av klimatskal. Då enbart klimatskalet studeras är tidskonstanten för betongsandwichen mer än tre gånger så lång som för den lätta utfackningsväggen, se tabell 4. Betydelsen av detta studeras inte närmare i denna rapport men det finns nya studier som visar på fördelar med tunga utfackningsväggar i avseendet när byggnaden behöver värmas. Tänker vi oss att det är mindre fördelaktigt ur ett CO_2 -perspektiv att värma byggnaden under köldknäppar har den tunga utfackningsväggen en fördel mot den lätta, detta oberoende av vad det är för invändig stomme [Kurkinen, 2012].

Hur stor betydelse den termiska massan verkligen har på energianvändningen i ett låg-energihus är ännu inte helt klarlagd. Här behöver ytterligare studier utföras. Det finns

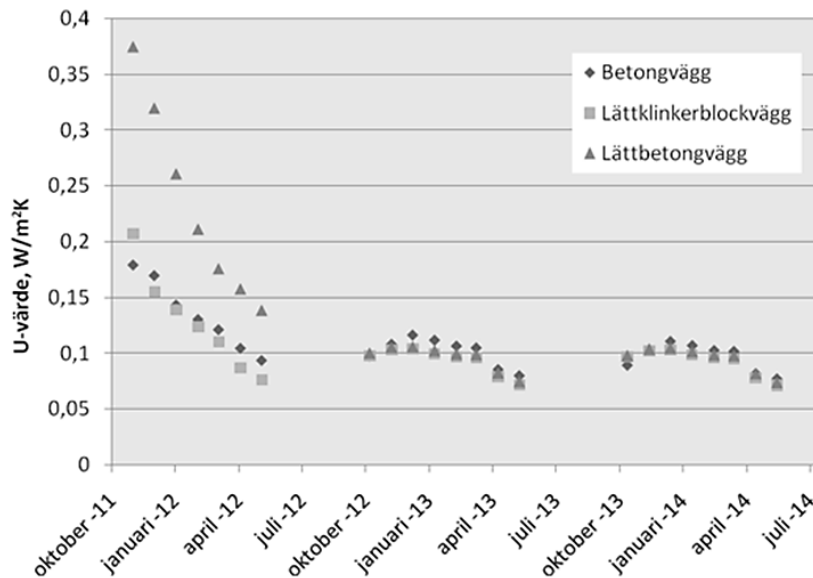
exempelvis ett behov av att visa på hur mycket termisk massa som ger en positiv inverkan på innemiljön respektive på energianvändningen. Man behöver även visa på om det finns några negativa effekter som t ex risker med övertemperaturer som kan vara ett vanligt problem med lågenergihus.

I byggnader med normal energianvändning har studier visat att den termiska massans inverkan på den totala energianvändningen är marginell [Ståhl, 2009].

Fuktens inverkan på energianvändning

De utförda simuleringarna som redovisas tidigare i tabell 3 har inte tagit hänsyn till en eventuell högre energianvändning till följd av hög fuktighet i material och energianvändning för uttorkning.

Betong och andra mineraliska tunga byggnadsmaterial kan innehålla en viss mängd byggfukt (beror bl a av betongkvalitet) som torkar ut under de första åren. Detta fukttinnehåll ökar energianvändningen till följd av den inverkan som byggfukten har på materialets värmeledningsförmåga och den energi som åtgår för att torka ut byggfukten. Detta redovisas som ett ökat U-värde under tiden uttorkningen sker i Figur 1 nedan. Med sandwich-element används oftast en hög betongkvalitet med en mindre mängd byggfukt att torka ut. I beräkningsexemplet redovisat i tabellen nedan där betong med vct-tal 0,45 har byggfukten en viss inverkan på energianvändningen.



Figur 1

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/m²K och är uppbyggda såsom sandwichkonstruktioner med en kärna av PUR (värmekonduktivitet 0,025 W/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.

4.4.2 Inverkan av köldbryggor

Köldbryggor förekommer i både lätta utfackningsväggar och i klimatskal med platsgjuten betong eller betongsandwich element. Inom ramen för denna studie har några få detaljer valts ut för att visa på köldbryggors inverkan på värmetransporten genom klimatskalet. Liknande studie bör genomföras för fler detaljer, anslutningar, skarvar och genomföringar.



Bild 4 Två olika infästningar av fönster. Till höger syns den plåtdetalj som används för infästning av fönsterkarm och som är genomgående mellan den inre och den yttre betongskivan.

Exempel på punktköldbryggor på grund av infästning av fönster

Anslutning av fönster i en yttervägg av betongsandwich har studerats för två lösningar. Båda lösningar bygger på att fönsterkarmen är infäst i en cirka 10 cm bred plåtdetalj som är ingjuten i:

- den inre betongskivan utan kontakt med den yttre betongskivan – i fortsättningen kallad vinkeljärn
- den inre samt de yttre betongskivorna, det vill säga den är genomgående – i fortsättningen kallad hattjärn

Några antaganden som använts i beräkningarna är att dessa plåtinfastningar återfinns på 6 ställen kring ett fönster av storleken 1,2 x 1,4 meter.

De tredimensionella värmeflöden som uppstår kring dessa ingjutna plåtdetaljer är beräknade. Resultatet från dessa beräkningar redovisas i Tabell 5. Beräkningen visar att värmeförlusten vid lösningen med ”hattjärn” som är genomgående är betydande, medan lösningen med ”vinkeljärn” som inte är genomgående erbjuder en lösning där värmeförlusten är obetydlig.

Räknas referensbyggnadens samtliga fönster erhålls det påslag (kallat ΔU_m) på byggnadens totala U_m -värde som dessa punktköldbryggor utgör, se tabell nedan. Beräkningen visar att U_m i fallet med genomgående hattjärn ökar med cirka 10 % med de antagande som gjorts.

Tabell 5 Beräkningen visar i hur referensbyggnadens U_m -värde påverkas av punktköldbryggorna där fönstrets karmskruvar fästs. Omslutande area (A_{om}) är 2590 m². Totalt 472 stycken fönster. Byggnadens U_m -värde har i tidigare simulering visats vara 0,24 W/m²K vid antagande om att inga köldbryggor finns. Beräkningen är utförd av Henrik Karlsson, SP.

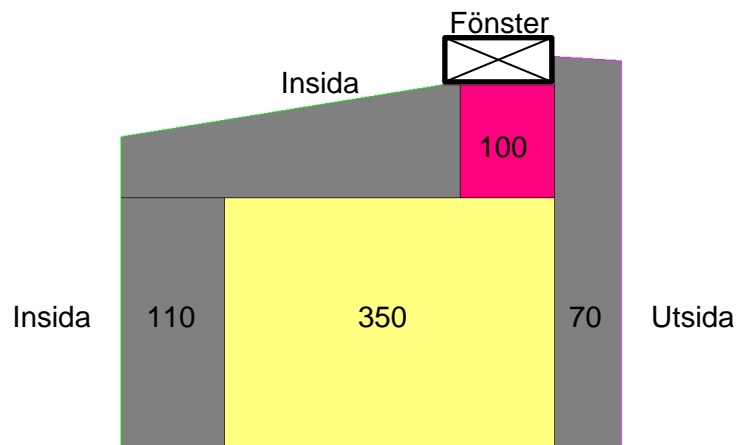
	ξ -värde [W/K]	Antal järn/karmskruvar per fönster	Värmeförlust per fönster [W/K]	ΔU_m [W/(m ² K)]
Vinkeljärn	0,0014	6	0,01	+0,001
Hattjärn	0,043	6	0,26	+0,027

Exempel på linjeköldbryggor i fönstersmygen

Fönstersmygens utformning orsakar en köldbrygga dels på grund av att värmeisoleringen är tunnare då den inre betongskivan följer in i fönstersmygen, och dels på grund av att den exponerade väggarean på insidan lokalt ökar (geometrisk köldbrygga), se Figur 2 nedan. I vissa fall byts värmeisoleringen i väggen ut mot PIR-isolering ($\lambda=0,027$ W/(mK)) just i randen runt fönster för att minska värmeförlusten i konstruktionens svagaste punkt. Detta byte till en mer högeffektiv isolering innebär en viss minskning av värmeförlusterna.

Beräkningar av ϕ -värdet för den linjära köldbryggan visar på en relativt betydande köldbrygga, se Tabell 6. Vi ser att materialvalet för den smala isoleringen i fönstersmygen (100 mm bred, 120 mm hög) är ett möjligt sätt att minska denna köldbrygga. ϕ -värdet förbättras i stort sätt proportionellt mot det förbättrade λ -värdet (från 0,036 till 0,027) då mineralull byts ut mot PIR.

Sett till hela referensbyggnaden är betydelsen av den linjära köldbryggan i fönstersmygen i samma storleksordning som för hattjärnen. T ex motsvarar ΔU_m med mineralull ett påslag på 10 % av U_m -värdet (helt utan någon köldbrygga: $U_m=0,240$ W/(m²K)).



Figur 2 Förutsättningar för beräkning av köldbrygga i referensväggens fönstersmyg (betong-sandwich, 110bgt-350isolering-70bgt). Principlösning hämtad från tillverkare av betongsandwich element.

Tabell 6 Beräkningen visar i hur referensbyggnadens U_m -värde påverkas av de linjära köldbryggorna i fönstersmygen. Omslutande area (A_{om}) är 2590 m². Totalt 472 st fönster, samtliga i storlek 1,2 x 1,4m. Beräkningen är utförd av Henrik Karlsson, SP.

	Ψ -värde [W/(mK)]	Längd per fönster [m]	Värmeförlust per fönster [W/K]	ΔU_m [W/(m ² K)]
PIR	0,034	5,2	0,18	+0,019
Mineralull	0,044	5,2	0,23	+0,024

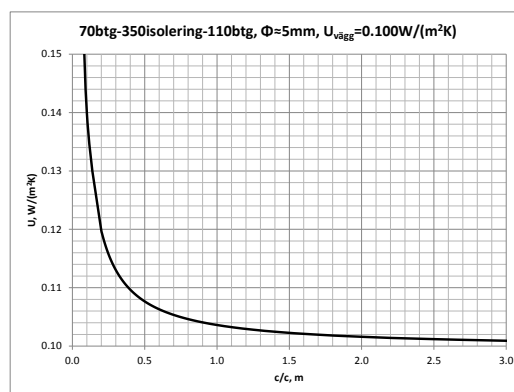
Sammantaget ger punkt- och linjeköldbryggor kring fönster ett påslag på mellan 8 till 21 % för referensbyggnadens U_m -värde beroende på anslutningens detaljutformning, se Tabell 7.

Tabell 7 Summering av relativt påslag av referensbyggnadens U_m -värde för punkt och linjeköldbryggor vid fönsteranslutningar (helt utan någon köldbrygga är $U_m=0,240$ W/(m²K)). Raderna redovisar val av infästningsplåt och kolumnerna redovisar val av isoleringsmaterial i fönstersmygen (mot fönstret). Beräkningen är utförd av Henrik Karlsson, SP.

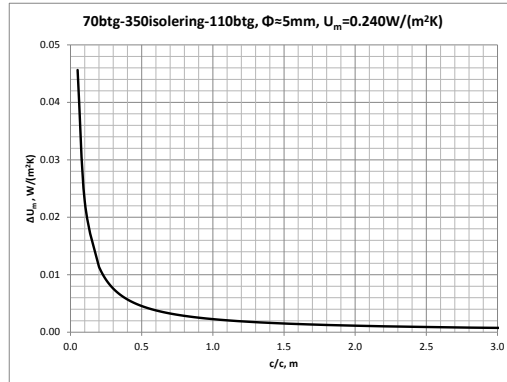
	PIR ($\lambda=0,027$)	Mineralull ($\lambda=0,036$)
Hattjärn	+19%	+21%
Vinkeljärn	+8%	+10%

Köldbrygga som följd av infästningen mellan den inre och den yttre betongskivan

Den yttre betongskivan är upphängd/infäst i den inre bärande betongskivan med en ”armeringsstege” i rostfritt armeringsstål. Ett φ -värde för armeringsstegen har beräknats. Med utgångspunkt i referensväggen (350 mm isolering) är inverkan av armeringsstegen relativt liten, $\varphi=0,004$ W/(mK). Armeringsstegens inverkan på väggelementets U -värde är liten i det fall att c/c inte understiger cirka 0,6 m, se Figur 3. Ser vi till hela referensbyggnadens U_m -värde utgör linjeköldbryggorna i armeringsstegen maximalt ett påslag (ΔU_m) i storleksordningen cirka +0,002 W/(m²K). I relativa termer betyder det ett påslag på maximalt $\approx 1\%$ för armeringsstegar (referens utan köldbrygga, $U_m = 0,240$), se Figur 4.



Figur 3 Diagrammet visar på ett exempel den inverkan som armeringsstegen, som sammanbinder den yttre och den inre betongskivan i sandwichelementet, har på väggens U -värde. Beräkningen är utförd av Henrik Karlsson, SP.



Figur 4 Diagrammet visar på ett exempel den inverkan som armeringsstegen, som sammanbinder den yttre och den inre betongskivan i sandwichelementet, har på referensbyggnadens U_m -värde. Beräkningen är utförd av Henrik Karlsson, SP.

4.4.3 Inverkan av lufttätet



Bild 5 Vid tunga klimatskal i betong är lufttäteten beroende av täthet i skarvar och anslutningar som är exponerade från insidan. Liksom för allt arbete med lufttätet är det även här viktigt att detaljer blir utförda väl, att t ex fogmassan täcker hela skarven.

Vid simuleringen visas att en minskning av luftläckage från 0,3 till 0,1 l/m²s innebär en minskning av byggnadens totala energianvändning med cirka **1,2 kWh/m²år**.

I Tabell 8 nedan framgår energianvändningens beroende av läge (hur vindutsatt byggnaden är) samt lufttätet.

Tabell 8 Specifik energianvändning [kWh/(m²år)] vid olika placering av byggnader i vindutsatt respektive vindsyddat läge. Beräkningen, som är utförda med TMFs beräkningsprogram, har gjorts för hus med olika lufttätet hos klimatskalet. Beräkningen är utförd för en byggnad med passivhusstandard - $U_m = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Beräkningarna är utförda vid $T_{\text{ute,medel}} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$. $A_{\text{temp}} = 130 \text{ m}^2$, $A_{\text{om}} = 350 \text{ m}^2$ [Källa SP Rapport 2009:28]

	Byggnadens lufttätet vid 50 Pa			
	0,1 l/m ² s	0,2 l/m ² s	0,4 l/m ² s	0,8 l/m ² s
Kraftig avskärmning	33	34	36	40
Måttlig avskärmning	34	36	39	47
Liten avskärmning	35	37	42	54

4.4.4 Inverkan av fönstrens U-värde

Om U-värdet minskas från 1,2 till 0,9 W/m²K minskar energianvändningen för den simulerade byggnaden med 5,6 kWh/m²år. En minskning i U-värde från 0,9 till 0,85 W/m²K medför en minskad energianvändning på **0,9 kWh/m²år**.

4.4.5 Inverkan av solavskärmning

Om antalet fönster med utvändig solavskärmning ökar, ökar även energianvändningen för byggnaden något, vilket kan förklaras av minskad mängd solinstrålning då värme behövs. Inverkan på den termiska komforten och risken för övertemperaturer kommer dock att påverkas, men avspeglas inte i energiberäkningen eftersom vi har antagit att man inte använder kyla för att sänka temperaturen.

4.4.6 Inverkan av val av ventilationssystem och värmeåtervinning

Om den maximala värmeåtervinningen minskar från konstant 80 % till 80 % vid +2 °C och 70 % vid -15 °C så ökar energianvändningen med **0,8 kWh/m²år**. Från konstant 80 % till konstant 70 % ökar energianvändningen med **3,7 kWh/m²år**. 70 % vid +2 °C och 60 % vid -15 °C ökar energianvändningen med **6,8 kWh/m²år**. En hög verkningsgrad under större delen av uppvärmningssäsongen är därför mycket viktigt för att nå kravnivåerna. En viss förlust i verkningsgrad när det är som kallast, t ex på grund av avfrostning, har inte så stor betydelse.

4.4.7 Inverkan av effektiv ventilation

En ökning av SFP-värdet från 1,3 kW/(m³/s) till 2,0 kW/(m³/s) innebär en ökning av energianvändningen med **1,7 kWh/m²år**.

4.4.8 Inverkan av val av innetemperatur

En sänkning av innetemperaturen från 22 till 21 °C innebär en minskad energianvändning för den simulerade byggnaden med **1,6 kWh/m²år**. En sänkning till 20 skulle innebära en sänkt energianvändning med ca 3,1 kWh/m²år.

Lägsta rumstemperatur i bostäderna är 21 °C enligt kraven i FEBY 12.

4.4.9 Inverkan av beteende

Förutom val av innetemperatur har inte inverkan av beteende studerats närmare i detta projekt. För varmvattenanvändningen har Svebys schablonvärde 25 kWh/m² år använts. I en verklig byggnad har givetvis beteendet en stor inverkan på vilken nivå användningen av varmvatten hamnar på. Avvikelser från schablonvärdet får man då korrigera för när man jämför uppmätta värden med projekterade/beräknade värden.

Ett sätt att påverka beteendet är att införa individuell mätning och debitering (IMD) av använt varmvatten. Tidigare antog Sveby att man vid IMD kunde sänka schablonen med 20 %, det vill säga till 20 kWh/m² år. Osäkerheter kring besparingspotentialen har gjort att man nu har tagit bort denna sänkning. Om införande av IMD skulle sänka energianvändningen för varmvatten med 5 kWh/m² år skulle detta innebära en generell sänkning av beräknade värden med lika mycket.

Även när det gäller användningen av hushållsel har Svebys schablon på 30 kWh/m² år använts. Hushållsel ingår inte i energikraven enligt Boverkets byggregler (BBR19) men påverkar ändå indirekt den specifika energianvändningen. Inverkan av hushållsel är dock omvänd jämfört med varmvattnet, det vill säga en ökad användning av hushållsel minskar den specifika energianvändningen och vice versa. Även här kan man genom mätning av den verkliga användningen av hushållsel korrigera för avvikelser från projekterade/beräknade värden.

4.5 Övertemperaturer

Det är relativt vanligt med klagomål på övertemperaturer i nybyggda lågenergihus. Vissa tycks fungera bra med genomtänkta fasta eller rörliga solavskärmningar samt bra möjligheter till vädring. I andra fall tycks man endast ha fokuserat på att klara värmen och glömt bort sommarfallet.

Denna studie har inte fokuserat på övertemperaturer. Framtida studier bör därför fokusera mer på hur man undviker övertemperaturer i lågenergihus.

4.6 Sammanfattning av resultaten

Simuleringen visar att en mycket energieffektiv byggnad kan uppnås med samtliga av de studerade klimatskalen (lätta utfackningsväggar, betongsandwichelement, massivt trä). Simuleringen visar att man i alla tre fall behöver ha en mycket effektiv värmeåtervinning, låga U-värden på klimatskal och fönster, minimering av köldbryggor samt en mycket god lufttätethet för att nå målnivån 55 kWh/m²år för en byggnad placerad i Stockholm.

För massiva och tunga klimatskal av betongsandwich innebär det att klimatskalet blir något bredare om isolering med samma λ -värde används i konstruktionerna och för att nå ett U-värde om 0,1 W/m²K. I ett beräkningsfall blir då väggens tjocklek 530 mm för betongsandwichvägg och 434 mm för motsvarandelätta klimatskal. I simuleringsfallet minskar det tunga klimatskalets tjocklek till 482 mm om isoleringen byts till en mer hög-effektiv isolering såsom grafitisolering. Grafitisolering har använts i de besökta referensobjekten som byggs såsom passivhus. Ytterligare en faktor som kan påverka de båda väggarnas tjocklek är förekomsten av köldbryggor som i denna förenklade jämförelse satts till 0.

Intressant är också att konstatera att beteendets inverkan på energianvändningen är tydlig. I detta beräkningsfall har inverkan av sänkt innetemperaturen från 22 till 20 grader visat på en minskad energianvändning om 3 kWh/m²år (från ca 55 kWh/m²år) vilket ger en minskning på totala energianvändningen i storleksordningen 5-6 %.

5 Erfarenheter från genomförda projekt

5.1 Inledning

Intervjuer har utförts med olika aktörer med erfarenhet från projektering och/eller byggande med de tekniker som föreslagits ovan. Fokus inom ramen för detta projekt har dock varit att utvärdera tunga klimatskal i betong i jämförelse med lätta utfackningsväggar samt centralt placerade FTX-aggregat med lägenhetsvis placerade aggregat. Syftet med intervjuerna är att se om de teoretiskt goda lösningarna kan bekräftas vara goda ur produktionsteknisk och driftmässig synvinkel också.

Inom ramen för detta projekt har vi gjort begränsningen att inte intervjua kring erfarenheter från byggande med massiva klimatskal i trä eller andra material. Några inledande samtal i ämnet visar dock på att det även är intressant att i framtiden samla erfarenheterna från detta byggande eftersom även dessa har bra grundförutsättningar för att användas vid produktion av lågenergihus, se simuleringar tidigare. Även denna erfarenhetsåterföring bör fokusera på vad som varit lätt, vad man skall tänka på under byggprocess och drift samt eventuella utvecklingsbehov.

Kommentarerna från intervjuerna återfinns under bilaga 1.

6 Rekommendationer kring kvalitetssäkring vid produktion och drift av tunga klimatskal och energieffektiva installationer



Bild 6 Den invändiga fogningen har påbörjats runt en fönsteranslutning.

Inom detta avsnitt anges de rekommendationer rörande de kvalitetskritiska moment som framkommit inom ramen för detta projekt. Beroende på olika konstruktioner och förutsättningar kan ytterligare punkter behöva tillföras de förslag som presenteras här. Text skall en fuktsäkerhetsprojektering genomföras.

6.1 Kvalitetssäkring projektering

Klimatskal - Lufttätthet

- Lufttätthet – åtkomligt från insidan.
- Undvik genomföringar – färre tätningar
- Planera och redovisa lufttäta skarvar samt anslutningar vid fönster och dörrar
- Ange beständiga produkter som tål miljön

Klimatskal - Köldbryggor

- Räkna på köldbryggor vid fönsteranslutningar, dörranslutningar, balkonginfästningar, anslutning mot vindsbjälklag samt grundläggning m m.
- Planera och ge anvisningar så att tätmassa, flytspackel inte kan rinna ut genom skarvar och skapa köldbryggor.

Klimatskal – annat

- Planera för väderskydd vid elementkanter så att vatten inte kan tränga in vid transport och i samband med montering. Skydd planeras även för period under byggprocessen då eventuellt fogning inte kan utföras på grund av utetemperatur/väder.
- Projektera en fuktsäker foglösning så att vatten inte kan tränga in i elementen under driftskedet (2-stegstätning m m)
- Planera med material för drevning mellan element som tål att bli nedfuktade under monteringsstid och innan vädertätningen är klar.
- Projektera elementindelning så att svaga delar inte uppstår där betongskalet kan spricka

- Inga fukt känsliga material i direktkontakt med fuktig betong
- Planera för uttorkning av betong

Installationer - ventilation

- Lufttätethet hos ventilationssystemet är viktigt för att minimera värmeförluster samt ha kontroll på luftflöden i byggnaden. Kanalsystem skall uppfylla minst täthetsklass C. Projektören måste tänka på att installatören måste ha utrymme för att kunna göra en bra installation.
- Isolering av ventilationssystemet är också mycket viktigt för att minimera värmeförluster. Isoleringen måste anpassas till de temperaturskillnader som kan förekomma. Även här är det viktigt med utrymme för montage av isolering. I vissa fall måste man också kondensisolera.
- Dimensionera för de tryckfall och flöden som krävs för att minimera internt läckage och överföring i värmeväxlare. Detta gäller främst roterande värmeväxlare där exempelvis avluftsflödet normalt skall vara cirka 10-20 % högre än frånluftsflödet.
- Minimera areor där värmeförluster kan ske genom placering och utformning av aggregat och kanalsystemet.
- Undvik luftvärme med varma kanaler i kalla utrymmen.
- Optimal placering av effektiv fläktar (om möjligt).
- Tänk på att roterande värmeväxlare kan återföra både gasformiga föroreningar/lukter och fukt.
- Tänk på placering av avluftsutblås och uteluftsintag så att frånluften inte återförs till tilluften.
- Tänk på att lägenhetsaggregat innebär många fler genomföringar i klimatskalet samt att avluft och tilluft kan vara svårare att placera på ett optimalt sätt.
- Placering av, samt hur man skall minimera köldbryggor och täta genomföringar av kanaler genom klimatskalet skall stämmas av med byggnadskonstruktören.
- Använd behovsstyrd avfrostning (om möjligt/nödvändigt). Gäller motströms plattvärmeväxlare.
- Använd eventuellt indirekt förvärmning via mark för att minska eller eliminera avfrostningsbehov i plattvärmeväxlare.
- Tänk på att värmeåtervinningen på systemnivå sällan blir lika hög som aggregatets temperaturverkningsgrad och att värmeåtervinningen sannolikt varierar med utetemperaturen.
- Tänk på att ventilationssystemet skall vara så robust och underhållsvänligt som möjligt. Ju fler rörliga delar desto fler komponenter som kan krångla, speciellt när anläggningen blir äldre.



Bild 7 Tilluftsventil i en byggnad med mekanisk till- och frånluft med värmeåtervinning (FTX)

- Tänk på utformning och placeringen av tilluftsdon i förhållande till hur lägenheten kan möbleras. Även vid FTX-ventilation kan annars tilluftsflödet upplevas som dragigt.
- I täta välisolerade byggnader är det extra viktigt med mycket god dämpning av ljud från aggregatet men även dämpning av ljud mellan lägenheter och mellan rum i lägenhet är viktigt.
- Lägenhetsaggregat innebär många fler och dyrare filterbyten, samt att man vanligen måste ta sig in i varje lägenhet för filterbyten och annat underhåll.
- Centrala aggregat innebär kanaldragningar mellan brandceller. Detta innebär vanligen att det krävs installation av ett antal brandspjäll på tilluftssidan.
- Eleffektiv ventilation är lika viktigt som hög värmeåtervinning. Ett FTX-system skall därför ha en eleffektivitet motsvarande ett SFP-värde på högst 2,0 kW/(m³/s), helst under 1,5 kW/(m³/s).
- Vid användning av luftvärmesystem måste tilluftsdonen vara av omblandande typ. Deplacerande lågimpulsdon får inte användas!
- Vid användning av luftvärme kommer inblåsningstemperaturen att variera inom ett stort intervall, från lätt undertempererad till kraftigt övertempererad. Detta kräver stor noggrannhet vid val av don för att lösa omblandningen bra i alla driftsfall.
- Vid användning av luftvärme bör lägenhetsindividuella eftervärmare placeras i eller mycket nära respektive lägenhet.
- Givare för återkopplad reglering av eftervärmare bör placeras på en plats som är representativ för lägenheten. Mätning i frånluftskanal ger en felaktig funktion om det finns en kraftig värmekälla i något rum, exempelvis en torktumlare.

Installationer - annat

- Viktigt att minimera VVC-förlusterna i ett lågenergihus. Detta görs dels genom bra isolering av VVC-kretsen, men också genom att minimera antal meter VVC-rör. Här har även lägenheternas planlösning stor betydelse.
- Vid användning av luftvärmesystem är det viktigt att ventilationsbehov och värmebehov samprojekteras. Även detta kan kräva ändringar i planlösning m m. Öppna planlösningar och/eller utnyttjande av överluft underlättar.
- Placering av, samt hur man skall minimera köldbryggor och täta genomföringar av rördragningar genom klimatskalet skall stämmas av med byggnadskonstruktören.

6.2 Kvalitetssäkring produktion

Klimatskal – tunga och massiva i betongsandwich eller platsgjutning

- Planera snabb utvändig tätning av skarvar mellan element för att undvika vatteninträngning vid nederbörd
- Utvändig fogning är väderberoende. Om bottningslist monteras tidigt kan en viss mängd regn hindras att tränga in i fasaden
- Tät foggjutning mellan element (t ex med spruta) för att få lufttäta fogar
- Omsorgsfull drevning/tätning av skarvar mellan element innan igjutning så att materialet inte tränger igenom skarven och bildar köldbrygga
- Omsorgsfull fogning så att fogen fyller ut skarven väl
- Lufttäthetsprova i kombination med läckagesökning så att kompletteringar vid eventuella brister kan ske

- Använd rätt/föreskrivna produkter för lufttätning och drevning så att åldrings-egenskaperna blir så optimala som möjligt (bör ha föreskrivits från projekteringen).
- Följ anvisningar för uttorkning
- Torrt underlag före målning av ytan

Installationer - ventilation

- Lufttätthet hos ventilationssystemet är viktigt för att minimera värmeförluster samt ha kontroll på luftflöden i byggnaden. Det färdiga kanalsystemet skall uppfylla minst täthetsklass C. Installatören måste noga följa installationsanvisningarna och får inte byta ut projekterade komponenter eller göra avvikelser utan att stämma av med projekteringsansvarig.
- Isolering av ventilationssystemet också mycket viktigt för att minimera värmeförluster. Isoleraren får inte göra avvikelser från projekterad isolering utan att stämma av med projekteringsansvarig. Luftvärmesystem kräver vanligen mycket bättre isolering än ”vanliga” installationer.
- Typ av aggregat, ljudfallor, tilluftsdon m m måste överensstämna med vad som har projekterats. Byte till ”likvärdig” produkt får endast ske efter samråd med projekteringsansvarig.
- Kanalgenomföringar i klimatskalet måste utföras som projekterats och noga tätas. Detta dels för att klara klimatskalets täthetskrav men också för att minimera köldbryggor vid genomföringarna.

Installationer - annat

- Viktigt att isolering av VVC-kretsen görs på ett fullgott sätt.
- Rörgenomföringar i klimatskalet måste utföras som projekterats och noga tätas. Detta dels för att klara klimatskalets täthetskrav men också för att minimera köldbryggor vid genomföringarna.

6.3 Kvalitetssäkring drift

Klimatskal

- Var uppmärksam på klagomål kring drag och kalla ytor. Detta kan oftast lätt åtgärdas genom underhåll av fogar m m från insidan.
- Regelbunden översyn av utvändiga fogar – komplettering eller utbyte vid behov.

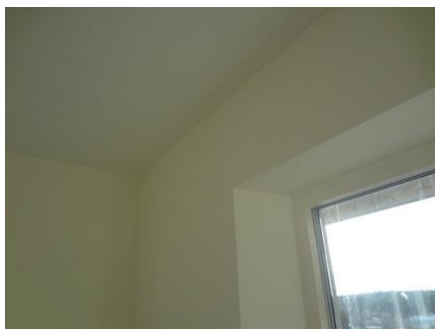


Bild 8 Invändiga fogar är exponerade mot innemiljön och kan därför utan större ingrepp kompletteras vid behov under driftskedet.

Installationer – värmeåtervinning

- De tryckfall och flöden som krävs för att minimera internt läckage och överföring i värmeväxlare måste bibehållas. Detta gäller främst roterande värmeväxlare

där exempelvis avluftsflödet normalt skall vara cirka 10-20 % högre än frånluftsflödet. Var uppmärksam på klagomål kring lukt av matos från grannar.

- FTX-aggregatet får aldrig köras så att det skapar övertryck i byggnaden.
- Filterbyten bör ske regelbundet (1-2 ggr per år).
- Kontroll av funktion/styrning av hos roormotor eller bypass-spjäll bör ske regelbundet, särskilt inför varje vinterperiod.

7 Slutsatser

Förutsättningar gällande energi

Simuleringar för de tre scenarierna lätta utfackningsväggar, tunga massiva klimatskal i betong samt massiva klimatskal i trä visa att alla kan uppfylla den i detta projekt antagna målnivån för låg energianvändning. Man behöver dock säkerställa bl a en mycket god värmeåtervinning, god lufttäthet och optimalt utformade detaljer så att köldbryggor undviks. För att ytterligare sänka energianvändningen krävs dessutom att byggnaden har någon form av intern generering av förnybar energi i form av solceller och/eller värmepump.

För massiva och tunga klimatskal i betongsandwich innebär det att klimatskalet blir något bredare om isolering med samma λ -värde används i konstruktionerna och för att nå ett U-värde om 0,1 W/m²K. I ett beräkningsfall blir då väggens tjocklek 530 mm för betongsandwichvägg och 434 mm för lätta klimatskal. I simuleringsfallet minskar det tunga klimatskalets tjocklek till 482 mm om isoleringen byts till en mer högeffektiv isolering såsom grafitisolering. Grafitisolering har använts i de besökta referensobjekten som byggs såsom passivhus. Ytterligare en faktor som kan påverka de båda väggarnas tjocklek är förekomsten av köldbryggor som i denna förenklade jämförelse satts till 0.

Lätt att bygga rätt med tunga massiva klimatskal?

Det är viktigt att lyckas genomföra hela byggprocessen väl för att minimera luftläckagen och köldbryggorna. Med tunga och massiva ytterväggar i betong och isolering är erfarenheterna från genomförda intervjuer (som endast avsåg tunga klimatskal) att

- lufttätheten är enkel att nå utan speciella utbildnings- eller informationsinsatser på byggarbetsplatsen. Tidåtgången för lufttätande aktiviteter är låg. Det lufttätande skiktet är dessutom åtkomligt från insidan vid eventuellt behov av komplettering.
- köldbryggorna kan minimeras genom ett väl utfört projekteringsarbete. Arbetsmomenten på byggarbetsplatsen har sällan inverkan på uppkomsten av köldbryggor.
- produktionstiden är kort och man når tidigt ett tätt hus
- man under projekteringen måste planera utförandet och materialval till skarvar och anslutningar väl och här angav flera av de intervjuade att det fanns utvecklingsbehov. Aspekter som lufttäthet, köldbryggor och fuktsäkerhet angavs.
- vid produktion av prefabricerade element i betong är det viktigt att mått stämmer mycket väl och man är i allmänhet nöjd med denna aspekt. Det som nämnts är att infästningsdetaljer för fönster ibland monterats fel eller snett.

Lätt att drifva rätt med tunga massiva klimatskal?

De som intervjuats är framförallt aktiva inom byggskedet, men de synpunkter som framkommit som input till driften av en byggnad med tunga klimatskal är att

- det är positivt att de lufttätande detaljerna är åtkomliga från insidan och därmed lätt kan kompletteras eller bytas ut vid behov.
- vid eventuell ombyggnad/komplettering är lufttätheten lätt att återställa
- materialet är robust på så sätt att det inte är känsligt med infästningar och håltagningar från insidan med avseende på exempelvis lufttäthet.

Lätt att bygga och drifva rätt med energieffektiva installationer?

I driftfasen förekommer problem både med lägenhetsaggregat och centrala aggregat. Problemen är dock av lite olika karaktär och det tycks oftare vara problem med lägenhetsaggregaten.

Erfarenheterna av luftvärmesystemen är blandade. Vissa är mycket nöjda och tycker det fungerar bättre än radiatorer. Andra tycker istället det har varit ”massa strul och klagomål” med luftvärmesystem.

Utvecklingsbehov

Avseende tunga klimatskal angavs ett flertal detaljer som är i behov av ytterligare fokus och eventuell utveckling. Framförallt har skarvar, fogar och anslutningar omnämnts.

Det finns en förbättringspotential hos ventilationssystem med FTX i bostäder, främst när det gäller att minska problem i driftfasen. Centrala FTX-aggregat utan luktproblem, utan dyr reningsteknik och utan behov av avfrostning verkar vara det branschen vill ha.

Avseende luftvärmesystemen finns det behov av ytterligare utvärderingar samt utvecklings och/eller kunskapsuppbyggnad. Om luftvärmesystemets nackdelar jämfört med ett traditionellt radiatorsystem inte uppvägs av att det är mycket kostnadseffektivare så finns det ingen anledning att använda luftvärme. Dessutom, även om det är mycket kostnadseffektivare så får nackdelarna givetvis inte leda till en orimlig försämring av inneklimatet.

8 Framtida behov av FoU

Nedan följer några områden där ett behov av vidareutveckling/ytterligare studier har påtalats eller identifierats vid intervjuer, besök på byggarbetsplatser eller vid simuleringar.

Betongsandwich

- Köldbryggor – detaljstudier av olika typer av köldbryggor och olika utföranden och dess inverkan på U_m .
- Väderskydd för kanter vid transport och montering, det vill säga innan fogning.
- Skarvutformning mellan element för fuktsäkra lösningar under produktion och drift.
- I mycket energieffektiva byggnader är den termiska massans betydelse för den totala energianvändningen ännu inte helt klarlagd. Se vidare [Ståhl, 2009]. Det finns exempelvis ett behov av att visa på hur mycket termisk massa som ger en positiv inverkan på innemiljön, framförallt för att undvika övertemperaturer, respektive på energianvändningen.
- LCA för val av fasadsystem.

Utfackningsväggar

- Utvändig lufttätet (yttre lufttätande skikt) är en utveckling av dagens utfackningsväggar som kan ha möjlighet att bidra till en ”enklare” produktion. Ett projekt pågår för att samla erfarenheter från andra länder inom denna typ av byggande (inom ramen för SBUF). Det finns också ett behov av att tillämpa tekniken för svenska förhållanden, t ex i ett demonstrationsprojekt.
- LCA för val av fasadsystem.

Massiva klimatskal i trä

- Det även är intressant att i framtiden samla erfarenheterna från detta byggande med avseende på vad som varit lätt, vad man skall tänka på under byggprocess och drift samt eventuella utvecklingsbehov.
- Eventuellt studier avseende träets rörelser och dess inverkan på lufttäthet, men ett pågående projekt finns.
- Kombinera yttre lufttätande skikt med inre skal av massivträ?

Värmedistribution

- Kostnadseffektivitet hos luftvärmesystem med vätskeburna värmebatterier kontra mer traditionella system (radiatorer och golvvärme).
- Skillnader i termiskt inneklimat vid användning av luftvärmesystem jämfört med mer traditionella system (radiatorer och golvvärme).
- Samprojektering av värme- och ventilationsbehov i luftvärmesystem.
- Utformning och placering av tilluftsdon för luftvärmesystem.
- För- och nackdelar med tröga värmesystem.

Ventilationsvärmeåtervinning

- Högeffektiva motströms plattvärmväxlare utan behov av avfrostning. Detta kan lösas på lite olika sätt. ”HSB-FTX” är en variant där man utnyttjar markens eller bergets värme för att vid behov förvärma uteluften. Andra alternativ är att förvärma med fjärrvärme eller värme från en värmepump eller en biobränslepanna. Vid förvärmning med mark eller berg finns behov av att utveckla dimensioneringsverktyg.

9 Referenser

- Clase Magnus, Lindén Ene. Inventering och utvärdering av högpresterande isolering, FoU-Västrapport 1002
- Danebjer, M, Ekström, T. Köldbryggor i lågenergihus, byggsystemens inverkan på transmissionsförluster, LTH, 2012
- Janols, H, Rönnelid, M, Brännström, M et al. Passiva Massivträhus; Cerbof-projekt nr 76, 2012
- Kildsgaard I, Prejer E. Framtidens trähus – energieffektiva med god inommiljö
Documentation of project's development, planning, and building phases Building's energy performance, www.framtidenstrahus.se, 2010
- Kurkinen E-L. Optimering av byggnadsstommen med avseende på minimal uppvärmning under köldknäppar, SP Rapport 2012:13
- Mjörnell, Kristina. ByggaF Metod för fuktsäker byggprocess; FoU-Väst Rapport 0702
- Nevander, L-E; Elmarsson, B. Fukthandboken; Svensk Byggtjänst 1994
- Ruud, Svein, Lundin, Leif. Bostadshus utan traditionellt uppvärmningssystem – resultat efter 2 års mätningar; SP Rapport 2004:31.
- Sikander, Eva, Samuelson, I, et al. Lågenergihus och passivhus – vanliga frågeställningar; SP Rapport 2009:28
- Sikander, E, Ruud, S. Erfarenhetsåterföring från de första passivhusen, SP Rapport 2011:26
- Sikander, E, Ruud, S. Teknik- och systemlösningar för lågenergihus – översikt; SP Rapport 2011:68 samt FoU-Väst Rapport 1103
- Strängbetong, Passivhuset Lärkträdet i Vara, www.strangbetong.se
- Ståhl, F. Influence of thermal mass on heating and cooling demands of a building unit, Chalmers 2009
- Sveby, Energiavtal 12 för överenskommelse om energianvändning; www.sveby.org; 2012
- Sveby, Brukarindata bostäder; www.sveby.org; 2012
- Sveriges Centrum för Nollenergihus, Feby12 Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus. Bostäder; www.nollhus.se; 2012
- SS EN ISO 13790:2008 Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling.
- www.lufttathet.se
- www.fuktsakerhet.se

10 Bilaga 1 – Resultat från intervjuer

10.1 Tunga klimatskal

Avsnittet avser både platsgjutna klimatskal med kvarsittande formar och klimatskal med betongsandwichelement.

Klimatskal



Bild 9 Lufttäteten vid tunga klimatskal sker framförallt från insidan, exempelvis vid fönsteranslutningar.

Detta projekt fokuserar på lufttätethet, köldbryggor och om det är optimalt/lätt att producera klimatskal. Erfarenheter som samlats in i samband med intervjuer med olika aktörer i byggsektorn visar att man redan idag använder tunga klimatskal i betong (betongssandwich eller platsgjutna med kvarsittande form) för produktion av lågenergibyggnader och byggnader som uppfyller passivhusstandarden. Intervjuerna visar dessutom:

Lufttätethet: För att byggnaden skall använda så lite energi som möjligt är det väsentligt att luftläckagen genom klimatskalen är så små som möjligt.

- Utförda täthetsprovningar visar att man kan nå mycket låga läckagetal då man producerar byggnader med tunga klimatskal. Exempel på mätresultat ligger tydligt under 0,1 l/m²s.
- Om projekteringen är väl utförd så är arbetsinsatsen på byggarbetsplatsen mycket liten för nå lufttäta klimatskal. En verifierande täthetsprovning behöver dock alltid göras.
- I jämförelse med lätta klimatskal med ett lufttätande skikt av PE-folie eller duk som byggs in i konstruktionen är insatsen mycket mindre för arbetsutförande och instruktioner/utbildning. Ett citat är ”man lyckas med lufttätetheten utan att ha fokus på det”.
- Vid sammanfogning av prefabricerade fasadelement är det viktigt att måtten stämmer väl så att tätningsband som monteras mellan blocken varken blir för hårt klämda, alternativt inte fyller ut utrymmet.
- Eventuella luftläckage kan följa elementskarvar och komma ut någon annanstans om inte undergjutningar är helt täta
- Om man i samband med täthetsprovning upptäcker lokala luftläckage kan dessa med liten insats kompletteras då man kan komplettera de läckande genomföringarna eller anslutningarna från insidan som inte är dolda bakom andra material. I lätta klimatskal där det lufttätande skiktet är inbyggt måste dessa luftläckage åt-

gärdas innan skiktet byggs in och därför är det viktigt i dessa fall med en tidig uppmätning och lokalisering av läckage innan inbyggnaden sker.

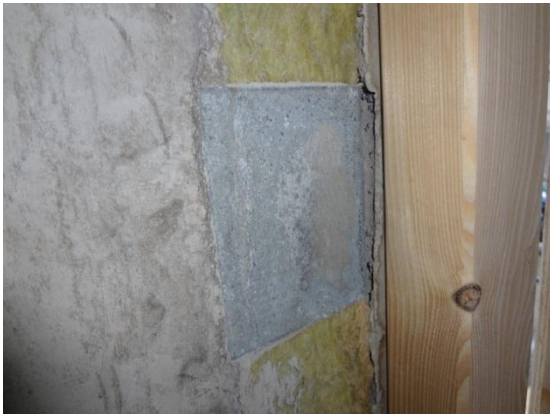


Bild 10 En ingjuten plåtdetalj mellan den inre och yttre betongskivan för infästning av fönsterkarm skapar köldbrygga.

Köldbryggor: För att klimatskalet skall ha så små värmeförluster som möjligt är det viktigt att köldbryggorna minimeras.

- Vid intervjuer påtalar man att projekteringen är viktig för att undvika onödiga köldbryggor
- I samband med produktion av lågenergihus och passivhus med tunga klimatskal i betong har olika detaljer utvecklats. Förutom en ökad isolertjocklek, utbyte till ett mer högpresterande värmeisolerande material har bl a fönsteranslutningar och balkonginfästningar utvecklats vidare från det traditionella systemet med betongelement.
- Beräkning av värmeförluster genom olika köldbryggor verifierar att projekteringen av betongelementen är viktig för en så låg värmeförlust som möjligt.
- Några kritiska punkter för köldbryggor är t ex fönster- och dörranslutningar, balkonginfästningar, metod för att hänga upp det yttre klimatskalet i det inre vid betongsandwichelement.
- Den inverkan på uppkomsten av köldbryggor man möjligen kan ha på en byggarbetsplats är om igjutningen från insidan mellan byggelement sprider sig ut till den yttre delen av klimatskalet. Detta kan vara fallet om drevningar och tätlistor inte är applicerade korrekt.



Bild 11 En köldbrygga uppstår då ett infästningsbleck monterad mellan yttre och inre betongskivan (se kapitel 4.4.2).

Övrig produktionseffektivitet:

- Vid produktion av byggnader med klimatskal av betong och utan organiska eller träbaserade material används i allmänhet inte väderskydd. Kommentar vid intervju är att det är viktigt att organiska material undviks, även vid takkonstruktionen, för att undvika behovet av väderskydd genom hela byggprocessen
- De tunga och/eller skymmande betongelementen kräver byggkranar av en prestanda som är högre än för produktion av andra klimatskal.
- Om betongelementen med hög prefabriceringsgrad jämförs med platsbyggda utfackningsväggar är logistiken och utrymmet kring byggarbetsplatsen avgörande. I centrala lägen i städer behöver detta beaktas i ett tidigt skede.
- Planera för uttorkning av betong. Uttorkningstid m m beror av olika förutsättningar där en viktig förutsättning är betongkvalitet
- Den höga prefabriceringsgraden gör att produktionstiden blir kortare jämfört med konventionellt byggande med lägre grad av prefabricering för utfackningsväggar.
- Arbetsinsatsen för att skapa god lufttätet är betydligt mindre än då man har klimatskal där tätskiktet är en duk som byggs in i konstruktionen.



Bild 12 I ett besökt objekt har ett skydd mot inträngning av vatten in i sandwichelementet under byggtiden monterats. Detta skydd är på den aktuella byggplatsen kvarsittande även efter montage av fönster.

Att tänka på och behov av utveckling:

Vid intervjuer har det påtalats att det också finns behov av att vidareutveckla olika saker såsom:

- Lösningar för att ytterligare minska köldbryggor vid anslutning yttervägg/grund, infästningsanordning runt fönster och dörrar samt balkonginfästningar
- Regn kan komma in i elementen vid prefabricerade sandwichelement vid framförallt fönsteröppningar, men även vid elementskarvar, om inga extra åtgärder vidtas. Tiden under både transport samt under montering innan de utvändiga fogarna är på plats behöver beaktas.
- Skarvarna mellan elementen behöver utvecklas avseende drevning med tanke på att regn kan fukta upp under monteringen.
- Viktigt att detaljer hamnar rätt. T ex detaljer för infästningar av fönster – behövs utveckling?
- Den utvändiga fogningen kan bli fördröjd av för kallt väder. Då är det viktigt att ha bottningslist på plats för att på detta sätt stoppa en del av inträngande vatten. Behövs annan lösning?
- Rutin för att avgöra om ytan är tillräckligt torr inför en eventuell målning?

Intervjuer om driften av byggnader med tunga klimatskal har endast utförts i begränsad omfattning och framförallt med aktörer i byggskedet. Kommentarererna, som inte ger anspråk att vara heltäckande, visar att:

- Lösningen med tunga och massiva stommar där den massiva delen exponeras mot insidan är en robust lösning där hyresgäster kan fästa olika detaljer utan att klimatskalet och dess lufttäthet skadas.
- Efter ett antal års brukande och då en renovering är aktuell kan vid behov det lufttätande skiktet kompletteras utan stora ingrepp i konstruktionen. De kritiska punkterna ur lufttäthetssynpunkt (anslutningar mot fönster, dörrar och bjälklag, skarvar mellan element samt genomföringar) är exponerad mot innemiljön och kompletteringen blir därför lättare att utföra än om det lufttätande skiktet skall kompletteras inne i en konstruktion.
- Vid tillbyggnad och vid nya genomföringar i klimatskalet är lufttätheten sannolikt lättare att planera och genomföra på ett bra och kvalitetssäkrat sätt.

10.2 Kommentarer kring massiva klimatskal i trä – inledande samtal

Ett fåtal inledande samtal har förts kring erfarenheter av att producera klimatskal med massiva träelement och gör inte anspråk på att ge en komplett bild av byggprocessen med dessa massiva träelement. Några kommentarer kan dock ge en generell bild:

- Det har byggts och det pågår produktion av flera lågenergihus och passivhus som produceras med massiva träelement i kombination med utvändigt värmeisolering. Erfarenheterna kring denna produktion växer och systemen utvecklas. Uppföljningar visar på mycket god lufttäthet och låg energianvändning.
- Flera flerfamiljshus som byggs i många våningar har ett installationsskikt invändigt den massiva träskivan
- Flera flerfamiljshus har ett lufttätande skikt av pe-folie och träskivan utgör inte det lufttätande skiktet. Kravet på detaljutförande och kompetensbehov på byggarbetsplatsen är i detta fall sannolikt samma som i fallet med lätta klimatskal med regelstomme.
- Det finns exempel på flerfamiljshus som byggs i två våningar och där den massiva träskivan exponeras mot innemiljön. I dessa hus utgör den massiva skivan också det lufttäta skiktet. Täthetsprovningar uppges visa på låga läckagevärden i färdig byggnad.
- Det finns uppföljningar, som fortfarande pågår, kring hur lufttätheten ändras med tiden för massiva klimatskal som inte har kompletterats med annat lufttätande skikt [Janols, Rönnelid, Brännström]. Rörelse i trä som uppstår på grund av uttorkning och/eller årstidsvariationer kan möjligen påverka lufttätheten, vilket följs upp inom ramen för projektet.
- Dokumenterade erfarenheter finns redan sammanställda i projekt inom ramen för Framtidens Trähus [www.framtidenstrahus.se].

De genomförda simuleringarna och det faktum att det byggs flera lågenergihus med massivträ visat på att det skulle vara intressant att även samla erfarenheterna från produktionsprocessen även för denna uppbyggand av yttervägg. Vad var lätt, vad var svårt, vad behöver utvecklas ytterligare?

10.3 Energiförsörjning

Möjlighet att kunna välja olika energiförsörjningssystem bedöms vara av avgörande betydelse för en större spridning av ett ”lätt att bygga rätt”-koncept. I första hand förordar många aktörer därför ett värmedistributionssystem där åtminstone den centrala distributionen är vätskeburen. Man kan då ha en energiförsörjning som baseras på fjärrvärme, solvärme, biobränsle och/eller värmepumpar.

10.4 Värmedistribution

Projektgruppen kom initialt fram till att luftvärme borde vara det mest kostnadseffektiva sättet att huvudsakligen distribuera ut värmen i varje lägenhet. Elbatterier för individuell värmning i varje lägenhet har den absolut lägsta initiala kostnaden. Nackdelen med luftvärme är att man inte får individuell värmereglering i varje rum vilket också har lett till en del klagomål. Individuell värmning med en liten elradiator i varje rum är därför ett inneklimatmässigt bättre alternativ som kan vara nästan lika billigt att installera. Energiförbrukningen för direktvärme blir dock relativt hög. För värmning av varje lägenhet är det därför allt vanligare med ett vattenburet tillufts batteri i varje lägenhet. I flera projekt har man dock kommit fram till att vätskeburen luftvärme är dyrare än radiatorer. Orsaken till detta borde närmare behöva utredas. Beror det på att obeprövad teknik jämförs med beprövad teknik och att läro kostnader vägts in i beräkningarna eller finns det andra orsaker.

Erfarenheterna av luftvärmesystemen är vidare blandade. Vissa är mycket nöjda och tycker det fungerar bättre än radiatorer. De menar att det är mycket mer klagomål och arbete med radiatorsystemen. Andra tycker istället det har varit ”massa strul och klagomål” med luftvärmesystem och tänker i fortsättningen använda radiatorer igen. Det finns därför två huvudalternativ för värmedistribution i lägenheterna:

1. **Traditionella vattenburna radiatorer.** Tack vare det låga värmebehovet kan framledningstemperaturen hållas lägre än i ett vanligt 55-45-system. Fördelar jämfört med luftvärme är möjligheten till individuell reglering i varje rum och minskad risk för kallras vid fönster. En annan fördel är att det är ett ur brukarens och driftspersonalens synvinkel begripligt system. Nackdelen är att separat rördragningar krävs till varje rum. Injustering och underhåll av termostatventiler kan också innebära en hel del merarbete.
2. **Luftburen värme med vätskeburet tillufts batteri i varje lägenhet.** Fördelen är att man utnyttjar tillufts kanalerna för att vid behov även distribuera värme. En nackdel med detta system är att möjlighet till individuell reglering i varje rum saknas. Vidare innebär det en extra svårighet i att samprojektera värme- och ventilationsbehov i varje rum. Dessa nackdelar får vägas mot den relativt korta period som man överhuvudtaget behöver aktiv värmning i ett lågenergihus. För att ytterligare minimera rördragningarna föreslås att den lilla värmemängd som krävs kan hämtas från VVC-kretsen. Detta måste i så fall göras på ett säkert sätt med avseende på risk för legionella. Frysskydd är vidare en annan sak som måste säkerställas vid användning av vätskeburna tillufts batterier. Läckage från ett sönderfruset batteri kan bli mycket kostsamt. Beroende på frysskyddets utformning kan det även behövas mer styrning och övervakning än för ett radiatorsystem.

Problem som förekommit med vattenburna tillufts batterier i luftvärmesystem är frysning, läckage och underdimensionering. Frysning kan förhindras genom användning av dubbla värmeväxlare och frysskydd i den vätska som finns i tillufts batteriet. Vid anslutning mot VVC-krets kan man då också ha ett kontinuerligt flöde i VVC-kretsen. Därigenom undviks stillastående varmvatten och risken för tillväxt av legionella elimineras.

Det är som ovan nämnts svårt att med luftvärme optimalt fördela värme till varje enskilt rum. Det är också en viss utmaning att samprojektera värme- och ventilationsbehovet. Detta kan delvis lösas genom smarta och/eller öppna planlösningar samt genomtänkt överluft. Luftvärmens nackdelar får vägas mot den relativt korta period som man överhuvudtaget behöver aktiv värmning i framtida lågenergihus.

Det bör dock påpekas att en del av de problem och klagomål som ibland har hänförs till luftvärmesystemet egentligen beror på problem som uppstått i FTX-aggregatet (se avsnitt 10.5). Dessa problem och klagomål hade då uppkommit även om man kombinerat FTX-aggregatet med ett radiatorsystem. Klagomål på övertemperaturer behöver heller inte bero på luftvärmesystemet utan kan bero på bristfällig solavskärmning. Slutligen kanske klagomålen inte beror på att det är just ett luftvärmesystem, utan på att det är ett dåligt projekterat och injusterat luftvärmesystem. Detta är ju något som är vanligt förekommande även med vattenburna radiatorer.

Ett tredje alternativ för värmedistribution skulle kunna vara golvvärmesystem.

Pågående forskning antyder att ett extremt lågtempererat golvvärmesystem skulle kunna göras enklare, billigare och robustare än traditionella golvvärmesystem, men ändå med en bättre temperaturreglering och inomhuskomfort. Detta alternativ behöver dock först utvärderas i praktisk drift. Kostnadsaspekterna måste också utvärderas mer.

10.5 Ventilation och värmeåtervinning med lägenhetsvisa aggregat respektive centrala aggregat

Intervjuer har utförts med olika aktörer med erfarenhet från installation och/eller drift av ventilation och värmeåtervinning med lägenhetsvisa aggregat respektive centrala aggregat. Resultatet från dessa sammanfattas kortfattat nedan.



Bild 13 Centralt beläget apparatarum för värmeåtervinning.

Produktionsaspekter

- Lägenhetsaggregat innebär väldigt många fler håltagningar i klimatskärmen och därigenom mer arbete för att uppnå och ökad risk för att inte uppnå önskad täthet hos klimatskärmen.
- Centrala aggregat upplevs av installatörerna som enklare att installera än lägenhetsaggregaten, även om det tidsmässigt kanske inte är så stor skillnad.
- Lägenhetsaggregat med plattvärmväxlare kräver vanligen ett separat kondensavlopp per aggregat. Alternativt får kondensvatten kokas bort, vilket kräver en särskild elinstallation.

- Lägenhetsaggregat innebär vanligen många små komponenter och trängre utrymmen att arbeta i. Själva kanaldragningen i lägenheterna är dock likvärdig mellan lägenhetsaggregat och centrala aggregat.
- Centrala aggregat innebär större aggregat och gemensamma kanaldragningar med större och tyngre kanaldetaljer. Viktigt att planera för att få in aggregat och större ventilationskomponenter in i byggnaden på ett smidigt sätt.
- Spiskåpor kräver vanligen separata imkanaler vilket kräver relativt stora utrymmen och många kanaldragningar. Vid användning av lägenhetsaggregat kan detta lösas genom en by-pass förbi värmeväxlaren. Vid användning av plattvärmeväxlare (både centrala och lägenhetsvis) är det möjligt att även låta luften från spiskåpan passera värmeväxlaren även om det innebär ett större återkommande behov av rening. Ett annat alternativ är användning av recirkulerande spisfläktar med kolfilter. Dessa har dock relativt dålig funktion och/eller innebär dyra filterbyten.
- Om ett vattenburet eftervärmningsbatteri fryser sönder eller på annat sätt skulle börja läcka är det vanligen större risk för vattenskador vid användning av lägenhetsaggregat. Om felorsaken är systematisk kan många batterier frysa sönder samtidigt.
- Vanligt att värmen inte räcker till när det blir riktigt kallt. Därför viktigt med en korrekt dimensionering av värmebatterier så att de verkligen räcker till när det blir riktigt kallt. Speciellt gäller detta vätskeburna batterier som är svårare att dimensionera. Viss överdimensionering rekommenderas för att ha marginal för att framledningstemperatur blir för låg eller att värmeväxlarens verkningsgrad ej når upp till projekterad prestanda.

Driftsaspekter

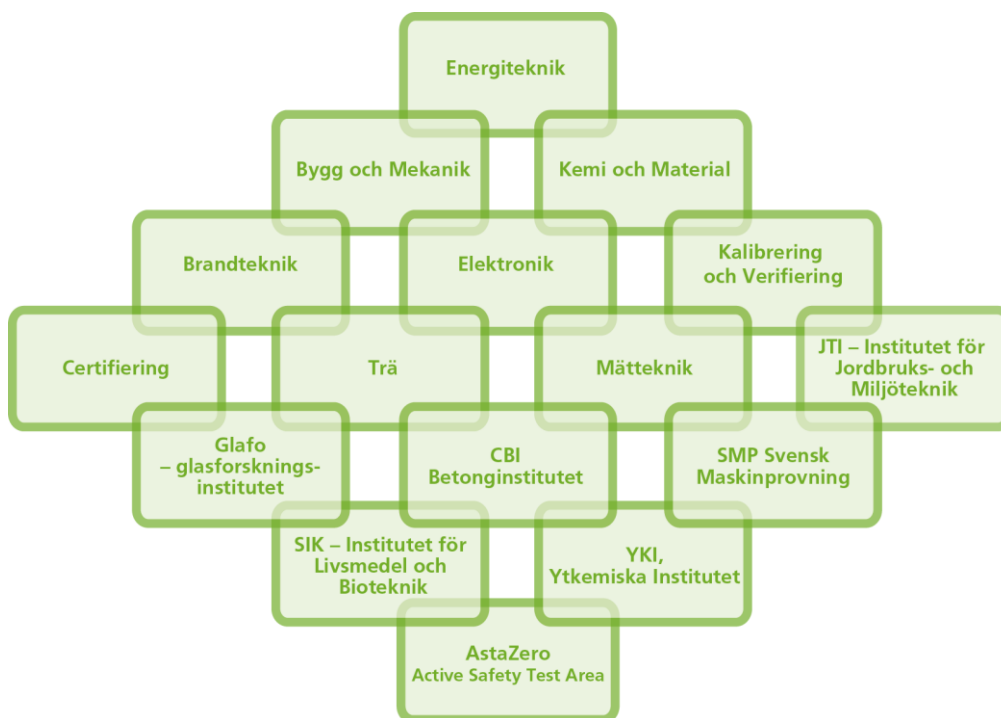
- Lägenhetsaggregat innebär en hel del merarbete. Inte bara att det blir fler filter att byta utan också att man många gånger måste anpassa arbetets utförande till när de boende är hemma. Genom åtkomst via trapphuset skulle driftsarbetet till viss del underlättas. Lägenhetsaggregat innebär dock fortfarande fler komponenter att serva och underhålla.
- När installationerna åldras blir uppkomna fel fler vid användning av lägenhetsaggregat.
- I hyresrätter kan man inte förvänta sig att de boende själva skall sköta filterbyten. I bostadsrätter är erfarenhetsmässigt förutsättningarna för detta bättre.
- Med lägenhetsaggregat är det mycket enklare att individuellt behovsstyra luftflödet i varje lägenhet.
- Lägenhetsaggregat med roterande värmeväxlare kan när låg utetemperatur kombineras med hög intern fuktproduktion leda till för hög fuktåtervinning. Kan undvikas genom forcerat flöde och/eller viss reduktion av varvtalet.
- Överföring av gasformiga föroreningar i centrala roterande värmeväxlare leder ibland till klagomål på lukt från grannar. Framför allt matos (trots separata imkanaler) men ibland även cigarettök. Reningsteknik finns men är antingen dyr (kolfilter) eller obeprövad (ozonrening).
- I högeffektiva motströms värmeväxlare uppstår tidvis kondensvatten. Detta kan leda till problem med fuktskador om inte vattnet avleds eller kokas bort.
- Mer klagomål på fläktljud från lägenhetsaggregat.

Sammanfattningsvis finns för- och nackdelar med både centralt och lägenhetsvis placerade värmeåtervinningsaggregat. Sammantaget bedöms dock centralt placerade aggregat vara att föredra både ur produktions- och driftstekniska aspekter. För att undvika problem med luktöverföring och samtidigt ha en hög verkningsgrad bör dessa dock vara av typen motströms plattvärmeväxlare. De problem med påfrysning som förekommer i denna typ

av värmeväxlare föreslås lösas genom behovsstyrd förvärmning av uteluften. Den mest energieffektiva metoden är att utnyttja värme från ett borrhål eller markslinga. I det fallet kan man också få en mycket billig om än begränsad frikyla sommartid.

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 10000 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, Internet: www.sp.se

www.sp.se

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

Energiteknik

SP Rapport 2013:14

ISBN 978-91-87017-99-5

ISSN 0284-5172