

Energieffektivisering av industriellt nyproducerade flerbostadshus



Energieffektivisering av industriellt nyproducerade flerbostadshus

Boverket mars 2009

Titel: Energieffektivisering av industriellt nyproducerade flerbostadshus
Utgivare: Boverket mars 2009
Upplaga: 1:1
ISBN pdf: 978-91-86045-91-3
Sökord: Bostadsbyggande, energieffektivitet, energihushållning,
energisparande, flerbostadshus, prefabricerade hus, open-house systemet,
livscykelanalyser, Arlöv
Dnr: 504-3479/2006

Omslagsfoto: Mats Dahlbom

Rapporten finns som pdf på Boverkets webbplats.
Rapporten kan också tas fram i alternativt format på begäran.

©Boverket 2009

Förord

Denna rapport är en sammanställning och redovisning av projektet Energieffektivisering av industriellt nyproducerade hus. Rapporten visar på möjligheterna att arbeta energieffektivt när man bygger hus i fabrik.

Syftet med projektet är att undersöka hur energianvändningen kan reduceras i industriellt nytillverkade hus för att främja samhällsmål, uppfylla nya byggregler och minska livscykelkostnaden.

Projektet är en del i Boverkets Byggekostnadsforum och har finansierats till viss del med hjälp av Boverket. Rapporten är sammanställd av Lunds tekniska högskola, som även svarar för sakinnehållet.

Karlskrona mars 2009

Ulf Troedson
Överdirektör
Boverket

Innehåll

Inledning och läsanvisningar	7
Sammanfattning	9
1 Introduktion.....	11
1.1 Bakgrund.....	11
1.2 Energianvändning i byggnader	13
1.3 Mål och avgränsningar.....	15
1.4 Metoder	15
2 Analys.....	17
2.1 Byggnadens placering och konstruktion	18
2.2 Energianvändning och täthet i liknande objekt	20
2.3 Energiberäkningsindata för projekterad byggnad	21
2.4 Alternativa utformningar	23
2.4.1 Åtgärder utan kostnad. "Självklara åtgärder".....	25
2.4.2 Åtgärder med ökade initialkostnader	25
2.4.3 Kombinerade åtgärder	26
2.4.4 Ej analyserade tänkbara åtgärder.....	27
2.5 Läckage mellan modulerna och i de vertikala spalterna.....	28
3 Resultat	31
3.1 Energianvändning	31
3.2 Kostnader	32
3.3 Parameterstudier.....	34
4 Diskussion och slutsatser	37
4.1 Mätningar	37
4.2 Åtgärder.....	38
4.3 Beräknade resultat jämfört med krav på energianvändning	39
4.4 Framtiden	41
5 Referenser.....	43

Inledning och läsanvisningar

Boverket (2006) publicerade en rapport med titeln ”Open House – En rapport om tillkomsten av en ny produktionsmetod för prefabricerade flerbostadshus”. Där presenteras historien bakom byggmetoden. Därefter har Open House Production fortsatt att utveckla metoden. Detta projekt avser att utveckla metoden vidare med syftet att energianvändningen i framtida hus ska bli lägre.

Denna rapport börjar med en problembakgrund och viss allmän teoribeskrivning samt mål och avgränsningar i kapitel 1. Kapitel 2 beskriver förutsättningar, indata, åtgärder och beräkningar. Kapitel 3 redovisar resultatet av beräkningar och analys. Slutligen diskuteras resultatet i kapitel 4.

Sammanfattning

Med tanke på produktionskostnader och kvalitet i byggprocessen ter sig alternativet att bygga hus i fabrik, så långt det är möjligt, intressant. I Open House Productions (OHP) regi i Arlöv tillverkas moduler, om ett eller flera bostadsrum, på löpande band i en industrihall. Modulerna, i form av volymelement, transporteras till byggplatsen, där de monteras ihop till flerfamiljshus med upp till åtta våningar. Därefter görs en del tilläggssarbete på plats som utvändig isolering och fasadbeklädnad, sammankoppling av installationer, montage av trappor, etc. En risk under den snabba utvecklingen av tillverkningsmetoden på OHP är att hänsyn bara tas till byggkostnaden och inte till livscykelkostnaden som även inkluderar energikostnaden.

Detta projekt syftar till att undersöka hur energianvändningen kan reduceras i industriellt nytillverkade hus enligt det koncept som OHP i Arlöv utvecklat för att främja samhällsmål, uppfylla nya byggregler och minska livscykelkostnaden. Fokus ligger på byggnadsskal och värmeåtervinning. Ett hus har valts ut som studieobjekt. Därefter har simuleringar har gjorts för att bestämma resultatet av åtgärdsförslag. Energiberäkningar har gjorts med energiberäkningsprogram för byggnader och livscykelkostnaderna, LCC, har beräknats. Livscykelkostnaden är då summan av nuvärdena för initialkostnader förknippade med byggnationen, energianvändningen under beräkningslängden, som kan benämnas livscykeln, och underhållet förknippat med åtgärderna under beräkningslängden. Åtgärderna, som påverkar OHPs produktion mer eller mindre, har avsett

- mindre transmissionsförluster genom bättre genomsnittligt U-värde genom bättre isolering i väggar eller tak eller bättre fönster.
- värmeåtervinning ur ventilationsluft med hjälp av frånluftsvärmepump eller centralt från- och tilluftssystem med värmeväxlare mellan från- och tilluft.
- mindre läckage genom bättre täthet av klimatskalet. Detta kan ske genom mindre läckage genom yttervägg eller mindre läckage in i de vertikala spalter som finns mellan modulerna.

Resultatet visar att nästan alla åtgärder minskar livscykelkostnaden både var för sig och i kombination samt med 50 års beräkningstid. Stora förändringar sker med värmeåtervinning, med bättre täthet eller med en kombination av U-värdessänkande åtgärder på skalet. Beräkningarna gäller Malmös uteklimat och har bekräftats för Kirunas uteklimat. Lägst livscykelkostnad över 50 år ger en kombination av alla föreslagna åtgärder antingen med frånluftsvärmepump eller från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning. Vilket som är bäst beror på uteklimat och förhållande mellan el- och värmepris. Det är heller inga problem att klara byggreglerna vad gäller energianvändning med lämpliga åtgärder och möjlighet finns att komma i närheten av kraven för passivhus. Mot slutet av projektet framkom att fabrik och produktion skulle upphöra inom kort. Förhoppningsvis kan slutsatserna användas i andra sammanhang.

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Med tanke på produktionskostnader och kvalitet i byggprocessen ter sig alternativet att bygga hus i fabrik, så långt det är möjligt, intressant. Man skulle kunna uppnå lägre kostnader, bättre noggrannhet både vad gäller mått och tekniska prestanda, skalfördelar vad gäller kostnader och teknisk optimering, goda förutsättningar för byggnadsfysikaliskt bra dimensionering, bra fuktförutsättningar vid byggnation och en stor flexibilitet. Detta tillsammans med krav på minskande boendekostnader ändrar bostadsbyggandet från traditionellt platsbyggande till industrialiserad produktion, vilket kan ske efter olika koncept.

I Open House Productions (OHP) regi i Arlöv tillverkas moduler, om ett eller flera bostadsrum, på löpande band i en industrihall. Konceptet har arbetats fram utifrån att den totala produktionen ska vara kostnadseffektiv utan avkall på formgivning, funktion och kvaliteter. Modulerna, i form av volymelement, transporteras till byggplatsen, där de monteras ihop till flerfamiljshus med upp till åtta våningar. Därefter görs en del tillägsarbete på plats som utvändig isolering och fasadbeklädnad, sammankoppling av installationer, montage av trappor, etc., vilket OHP benämner extallationer.

De flesta hus som har byggts av dessa moduler finns i Annestad i Bunkeflo. Hittills har drygt fyrtio byggnader med i genomsnitt fyrtio moduler per byggnad uppförts. Moduler till ett objekt i Oslo har också byggts i Arlöv, men där svarade ett annat företag för montaget.

OHPs produktionssystem och produktionsapparat har utvecklats med ekonomiskt stöd bland annat från Boverkets Byggekostnadsforum. Projektet och uppnådda resultat har bland annat redovisats i rapporten Open House utgiven i Byggekostnadsforums rapportserie (Boverket, 2006). Industriellt byggande har sina fördelar. Byggtiden kan förkortas och materialet kan skyddas från olämplig väderlek. Det kan vara kostnadseffektivt och fokus under utveckling av det aktuella konceptet har just legat på att få ner boendekostnaden genom låg byggkostnad. På kort sikt är tanken korrekt, men i takt med ökande energipriser spelar driftkostnaderna en allt större roll för totalekonomin.

Energifrågor är nationellt och internationellt i starkt fokus med tanke på dess inverkan på miljön och klimatet. Riksdagen har lagt fast miljö kvalitetsmål som utgångspunkt för samhällets miljöarbete som bland annat innebär att energianvändningen i byggsektorn skall halveras till år 2050. Bygg- och fastighetssektorn har en tung roll i arbetet att implementera energieffektiv teknik för att vi ska klara målen på bland annat minskade utsläpp av växthusgaser.

Det ökande miljöengagemang i samhället, som har lett till ökade krav på och ökat intresse för låg energianvändning i bebyggelsen, uppmärksammas bland annat i kravet från EU att energideklarerat byggnader och i de nya byggregler som finns i Sverige (BBR 12 och senare) som begränsar användningen av energi per m² uppvärmd yta. Dessa krav måste uppfyllas, men det kan mycket väl vara ekonomiskt lönsamt med ännu lägre energianvändning. De energitekniska egenskaperna i de industriellt tillverkade husen i OHPs regi uppfyllde BBR:s tidigare energihushållningskrav. Huruvida de nya kraven uppfylls vet man inte.

En risk under den snabba utvecklingen av tillverkningsmetoden på OHP är att hänsyn bara tas till byggkostnaden och inte till livscykelkostnaden som även inkluderar energikostnaden. När det gäller beslut om energieffektiv teknik i hus är det nödvändigt med ett längre tidsperspektiv i samband med lönsamhetsbedömningar. Huset har lång livslängd och de energitekniska egenskaper som byggs får man leva med länge. Inte minst gäller detta för klimatskalet som sällan är lönt att tilläggsisolera i efterhand. Resultat från undersökningar visar att under en åttioårsperiod kan utgifterna för kapital och ombyggnader uppgå till hälften av de totala – resten går till drift och underhåll. Energieffektivisering leder därmed förutom bättre förutsättningar för ett hållbart samhälle också till privatekonomiska fördelar, bland annat som en följd av ökande energipriser.

Enkla lönsamma åtgärder skulle uppskattningsvis kunna ge en ökad årlig besparing så stor att den skulle räcka för att försörja ytterligare 7 000 m² BOA per år, utan att energianvändningen totalt sett skulle öka. Viljan att investera i energieffektiv teknik kan bero på lägenheternas upplåtelseform. För förvaltningsbyggare är det enklare att motivera en höjd byggkostnad eftersom denne kan tillgodoräkna sig den sänkta driftkostnaden. Hus med låg energianvändning är också attraktiva för hyresgäster då delar av hyreshöjningar idag motiveras med ökade energipriser. I bostadsrätter kan det vara svårare att motivera energieffektiviserande åtgärder. Det kommer an på hur trovärdigt försäljaren kan visa att även om lägenheten är något dyrare i inköp så kommer driftkostnaden att bli lägre än i normala lägenheter. De hus som byggs av moduler levererade till Annestadsområdet i utkanten av Malmö omfattar både hyreslägenheter och bostadsrättslägenheter.

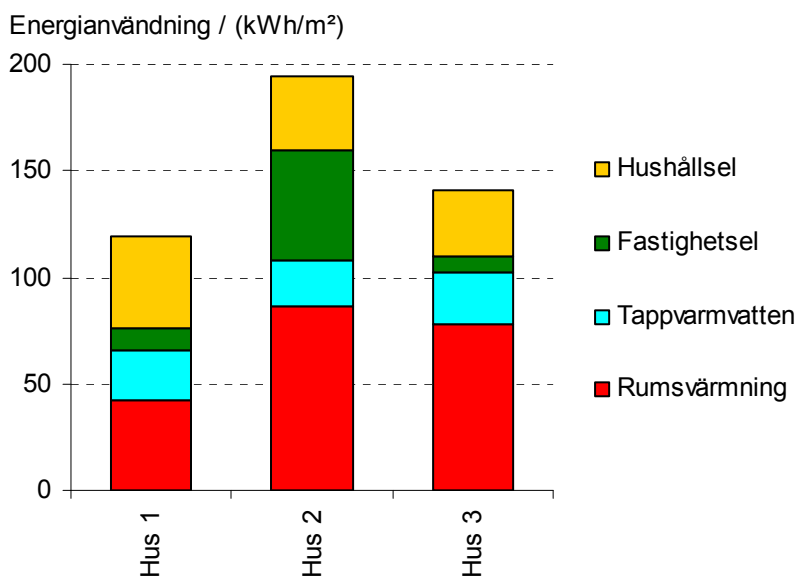
Detta projekt syftar till att undersöka hur energianvändningen kan reduceras i industriellt nytillverkade hus enligt det koncept som OHP i Arlov utvecklat. Den totala energisparpotentialen kan vara stor dels för att tillverkningsstakten är hög och dels för att man inte haft ambitionen att de hus som produceras ska vara energieffektiva utöver Boverkets krav.

Tanken är också att skapa argument för ett industrialiserat byggande som är långsiktigt hållbart såväl ekonomiskt som utifrån ett miljöperspektiv.

1.2 Energianvändning i byggnader

Energianvändningen för byggnader med kringutrustning utgör ungefär 40% av Sveriges totala energianvändning. Denna andel är ungefär lika stor i Europa som helhet. I byggnaderna behövs energi för uppvärmning, värmning av tappvatten, hushållsel och fastighetsel. Dessutom används en mindre del används till gatubelysning och annan utvändigt utrustning. Hushållsel är den el som hushållen betalar, som används till belysning och apparater i lägenheten och som i flerbostadshus oftast nästan helt kan tillgodogöras som värme medan fastighetsel betalas av husägaren och omfattar saker som tvättstuga, ventilation, hissar och allmänbelysning inne och ute. För småhus är vanligen all el hushållsel. Man kan tänka sig att kyla byggnader också men detta är ännu ovanligt vad gäller bostäder i Sverige. Det gäller att se till att fönsterarean inte blir för omfattande och ogenomtänkt så att kyla blir nödvändigt i en stor del av bostäderna för att inte få ökad energianvändning för kyla.

Figur 1.1 visar typisk fördelning mellan olika energislag för en del av Bo01-husen i Västra Hamnen i Malmö (Bagge, 2007). I normaliserade hus används mest energi till uppvärmning medan det i välisolerade hus blir annorlunda med en stor del för värmning av tappvatten och hushållsel.



Figur 1.1. Fördelning av årlig energianvändningen för tre hus i Västra Hamnen i Malmö (Bagge, 2007).

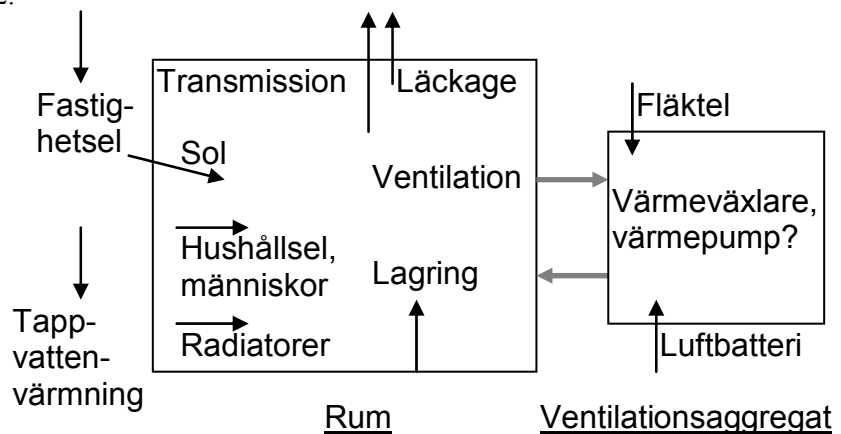
Det är alltid vanskligt att uttala sig om energianvändning i byggnader av flera skäl som exempelvis:

- Man vet sällan exakt vad som är inkopplat på en given mätare.
- Olika mätare täcker olika fysiska lokaler och områden.
- Flera, förhållandevis stora, energislag mäts sällan, som energi för värmning av tappvatten och tillskott av personvärme.
- Det sker ingen relevant uppdelning av elmätningar så att det kan avgöras om elen används till avsiktlig uppvärmning eller inte.
- Mätningar saknar ofta relevant tidsupplösning.

Slutsatsen av detta är att det är svårt att gå på djupet med att analysera energianvändningen i byggnader eftersom det normalt återstår flera gissningar om varför summan, som ibland går att reda ut, är som den är.

Energianvändning i byggnader kan också beräknas med hjälp av en effektbalans för byggnaden och modeller för hur byggnaden försörjs med effekt. Detta förutsätter att man känner alla poster i effektbalansen. Data för dessa saknas eftersom dessa sällan mäts. I synnerhet beteenderelaterade data har ganska stor spridning även om Bagge (2007) har visat att de poster som varierar mest är de som beror på byggnadstekniken.

Figur 1.2 beskriver förenklad effektbalansen för en byggnad. Årsenergianvändningen kan sedan beräknas genom att integrera effektbalansen över året med insättning av relevanta data för de olika posterna över året, som uteklimat, närvaro och hushållsel som värmer byggnaden. ISO 13790 beskriver effektbalansen mer detaljerat än figur 1.2.



Figur 1.2. Förenklad effektbalans för en byggnad.

1.3 Mål och avgränsningar

Målet med projektet är att studera några rimliga förändringar och åtgärder så att husen från Open House Production (OHP) använder mindre energi för att främja samhällsmål, uppfylla nya byggregler och minska livscykelkostnaden. Primärt avses att visa hur de nya energihushållningskraven i BBR 12 kan uppfyllas och hur livscykelkostnaden kan minskas. Sekundärt avses att se vad som är rimligt att uppnå. Fokus ligger på byggnadsskal och värmeåtervinning.

1.4 Metoder

Problemen med att mäta energianvändning i hus och brist på tillräckligt många hus med olika utförande gör det orimligt med deskriptiva studier för att avgöra nyttan med åtgärder. Istället har simuleringar gjorts för att bestämma resultatet av åtgärdsförslag. För att underlätta framtagning av ritningar och prisuppgifter och minska antalet parametrar som varierar i konstruktionen, har ett hus valts ut som studieobjekt. Detta hus har varit underlag för beräkningar och bedömningar och var nyligen färdigprojekterat men inte färdigställt. Därför har energianvändningsdata fått jämföras med data från tidigare färdigställda hus.

Energiberäkningar har gjorts med energiberäkningsprogram för byggnader. Livscykelkostnaderna, LCC, har beräknats med nuvärdesmetoden med utgångspunkt från offerter från OHP eller Sektionsfakta (Wikells, 2008). Livscykelkostnaden är då summan av nuvärdena för initialkostnader förknippade med byggnationen, energianvändningen under beräkningslängden, som kan benämnas livscykeln, och underhållet förknippat med åtgärderna under beräkningslängden.

2 Analys

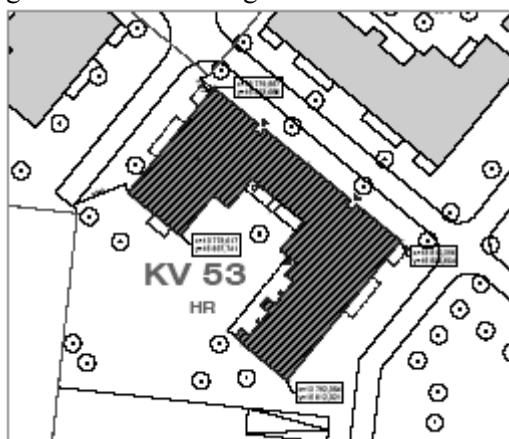
Det hus som valdes ut som studieobjekt för att vara rimligt representativt för de senaste husen var kv 53, beläget i området Annestad i stadsdelen Bunkeflo i Malmö, se figur 2.1. Detta objekt var ännu inte färdigställt men hela ritningsmaterialet fanns tillgängligt från OHP. Detta kapitel beskriver indata till beräkningarna som redovisas i kapitel 3 samt andra analyser som har gjorts.



Figur 2.1. Kv 53 i Bunkeflo.

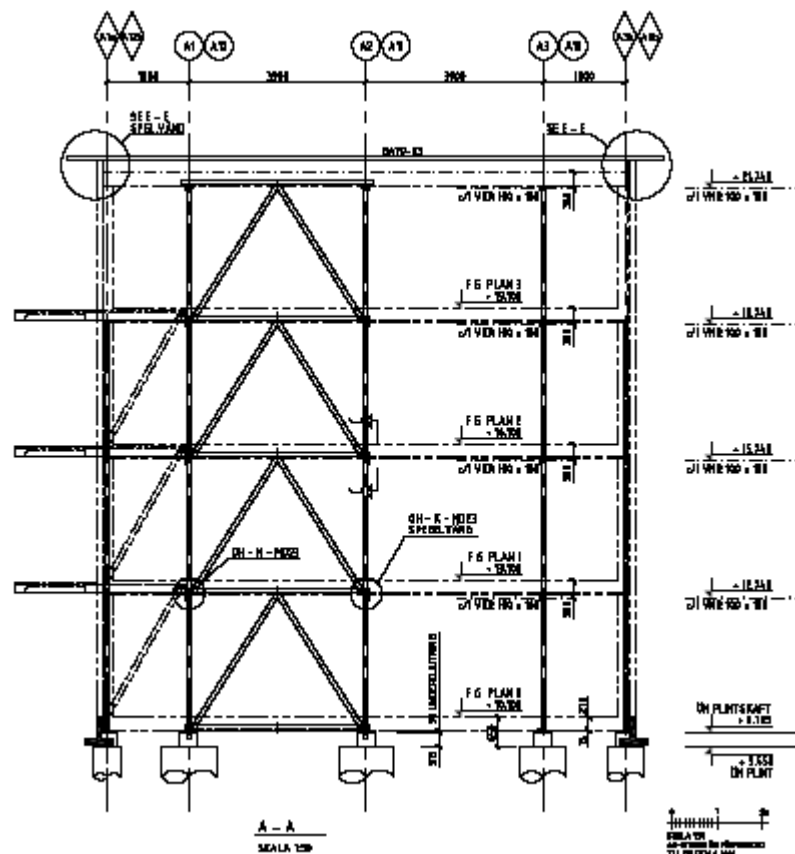
2.1 Byggnadens placering och konstruktion

Byggnaden är U-formad och uppförd i fyra plan, se figur 2.1 och 2.2. I de två innervinklarna är trapphus och hissar placerade. De två yttersta lägenheterna i den längre vinkeln nås via en kortare loftgång.



Figur 2.2. Studieobjektets placering i Bunkeflo.

Varje våningsplan består av totalt 18 moduler tillsammans innehållande 11 lägenheter som vardera upptar en och en halv eller två moduler. I bottenplan har dock 3 lägenheter ersatts med lägenhetsförråd och panncentral. Modulerna är monterade i ett skelett av stålprofiler och stabiliseras av de båda trapphusen med hisschakt, se figur 2.3. Byggnaden är grundlagd på prefabricerade betongplintar. Runt byggnaden finns sockelelement av betong innanför vilka ett 200 mm tjockt lager lättklinker lagts ut på vilket de nedersta modulerna placerats. Mellan modulerna, i den så kallade neutralzonen, finns en luftspalt på 130 mm där stålstommen ryms. Denna luftspalt avgränsas någorlunda väl i varje bjälklagsnivå med hjälp av tunnplåt och längst ner mot lättklinkern ligger remsor av 45 mm stenullsskivor.



Figur 2.3. Sektion visande stålstommen.

Alla lägenheter har balkong eller uteplats på loftgången. Taket, som är låglutande, monteras i fabrik och på byggplatsen kompletteras taket över neutralzonen mellan modulerna. Innan dess sammankopplas frånluftskanaler placerade i vindsutrymmet varefter isolering och lufttätning över neutralzonen färdigställs.

Efter montering av modulerna i stålstommen sker avtätning av neutralzon i yttervägg. Ytterväggarna isoleras utvändigt och fasadbekläds. I kv 53 har tre olika fasadbeklädnader använts, tegel, träpanel respektive skivor. Där fasadtegel används är den utvändiga isoleringen 20 mm, i övrigt 70 mm.

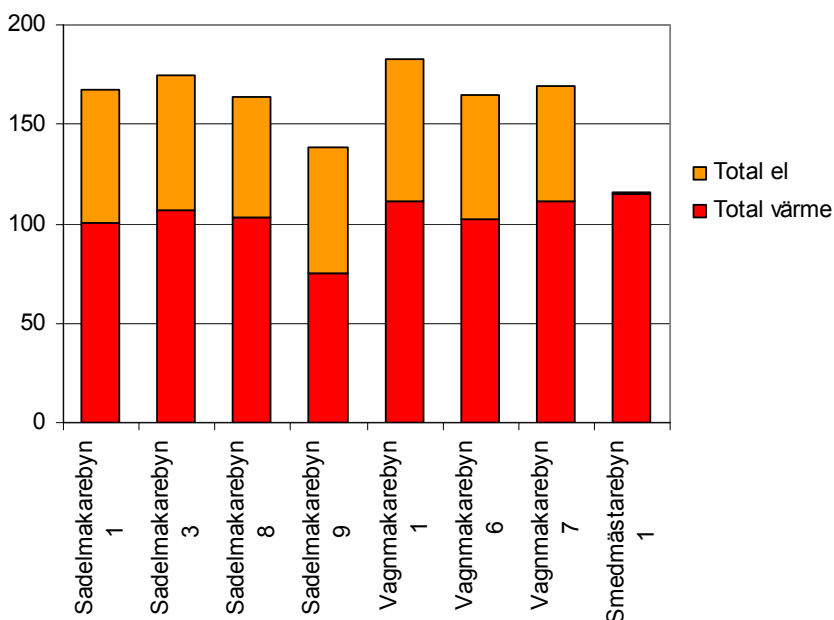
Själva modulen är i ytterväggar uppbyggd av 195 mm lättreglar s 600 med mellanliggande mineralull och gipsskivor på ömse sidor samt en plastfolie utanför den inre gipsskivan. Modulväggar som vetter mot neutralzonen är uppbyggda av 70 mm lättreglar s 600 med mellanliggande mineralull och mot lägenhet gipsskivor. I båda fall med avvikelser för avvaxlingar för fönster, dörrar, öppningar mellan moduler och liknande. Modulernas golv är uppbyggt av 200 mm höga C-profiler av plåt, s 600, med mellanliggande mineralull, trapetskorrugerad plåt, 2 lag gips samt golvbeläggning. Modultaket består underifrån räknat av gips, 25 mm plåtprofiler s 300, 100 mm C-profiler s 600 med mellanliggande mineralull samt 20 mm trapetskorrugerad plåt. Efter montage finns en horisontell luftspalt på 20 mm mellan modulerna.

2.2 Energianvändning och täthet i liknande objekt

Kv53 är ännu inte tagit i drift varför tidigare byggda hus har fått ligga till grund för mätningarna. Sedan de första byggnaderna uppfördes har konceptet utvecklats och en hel del förbättringar i konstruktion, detaljlösningar och utförande har genomförts, vilket torde innebära att energianvändningen har minskat något. Dock finns inte så mycket mätningar på energianvändningen gjorda utan begränsas till avläsningar av elenergi och energi från naturgas för några hus via EONs hemsida. Resultatet visas i Figur 2.4. Elanvändningen är hög men enligt uppgift är detta den totala elanvändningen och inte fastighetselen som normalt är det som betalas av förvaltaren. Även om elen avser både hushållsel och fastighetsel, är summan hög. Det har inte gått att få fram om elen är gratis för hyresgästerna eller om förvaltaren fördelar ut elkostnader själva. Den rimliga tolkningen av Boverkets krav är att elen måste räknas med eftersom den har formen av fastighetsel, som betalas av förvaltaren, där det inte går att utskilja hushållselen. I så fall måste en ny redovisning införas om det ska vara rimligt att klara kraven. För Smedmästarebyn 1 är elen nästan 0, vilket borde bero på mätfel eller att det inte är känt vad mätaren mäter. Enligt uppgift betalar inte förvaltaren all el i de hus som byggs nu.

Värmeanvändningen med värme till tappvatten inkluderat är rimlig om än på gränsen till för hög för att man ska klara Boverkets nya krav. Till värmen ska adderas fastighetsel som uppmättes till i genomsnitt 18 kWh/m² för hus med frånluftsventilation på Bo01 (Bagge, 2007).

Energi/(kWh/(m²·år))



Figur 2.4. Energianvändning i de tidigare byggda husen i Bunkeflo.

2.3 Energiberäkningsindata för projekterad byggnad

Energiberäkningarna som har gjorts med VIP+ version 4.1 (Strusoft, 2007), redovisas med indata och utdata var för sig.

Byggnaden har betraktats som en zon trots att den delvis skuggar sig själv. Detta beroende på att man i VIP+ 4.1 måste koppla alla zoner till en huvudzon. I detta fall följer inte ventilationssystemen samma gränser som det vore naturligt att dela huskroppen i. Trapphusen borde t.ex. kunna vara egna zoner med en lägre temperatur. Hela huset har därför antagits ha samma inomhustemperatur. Skuggning av omgivning har satts till minst 10° och där närliggande byggnader skuggar har en avskärmningsvinkel beräknats, som mest till 38°. VIP+ klimatfil för Malmö har använts. Vindhastighet har reducerats till 70% av klimatfilens värde, vilket anges som normalvärde för ”något skyddad bebyggelse”. Solavskärmning för fönster under balkonger har antagits vara samma överallt. Alla fönster har antagits ha samma glasandel. Ingen hänsyn har tagits till att fönsteröverstycken är tunnare än övrig vägg.

Klimatskalets geometri

	NÖ	SO	SV	NV	summa
fönster oskuggade	95	104	40	57	296
fönster skuggade	0	43	53	75	171
fönsterbröstningar	27	18	8	27	79
fasad tegel	262	118	166	113	659
fasad skiva/panel	121	198	115	189	623
fasad trapphus	0	56	104	82	242
					2 070
Tak					760
platta på mark 0-1 m					161
platta på mark 1-6 m					600
totalt omslutande area					3 593
total uppvärmd area (A_{temp})					2 750
uteluftsventil (antal)	25	25	14	14	78

Tabell 2.1. Geometriska indata för projekterat hus

Klimatskalets värmeisoleringsegenskaper

För att beräkna de olika byggnadsdelarnas värmeisoleringsegenskaper har ett par olika beräkningsprogram använts, beroende på byggnadsdelens uppbyggnad. U-värde i ytterväggar med slitsade regler har beräknats med programmet LINDAB WALLANALYZER (Lindab, 2007), som kan hantera väggar med Lindabs slitsade regler. (se tabell 2.2). U-värde för trapphusväggar är beräknat med VIP+. U-värde för platta på mark, exklusive mark, har beräknats med HEAT2 (Blocon, 2007), varefter dessa värden lagts in i VIP+ där marken tas med. För att i VIP+ lägga in

U-värden beräknade med annat program har här valts att göra en fiktiv konstruktion, dvs. en anpassning av en isolertjocklek tills önskat U-värde erhålls. Detta isoleringsskikt måste finnas utanför materialskikt med stor värmelagringsförmåga.

byggnadsdel	U (W/m ² K)	
fönster oskuggade/skuggade	1,20	från fönsterleverantör
fönsterbröstningar	1,199	ber med Isover Energi
fasad tegel	0,187	ber med Wallanalyser
fasad skiva/panel	0,180	ber med Wallanalyser
fasad trapphus	0,292	ber med VIP+
Tak	0,092	ber med VIP+
platta på mark 0–1 m	0,174	ber med HEAT2
platta på mark 1–6 m	0,127	ber med HEAT2

Tabell 2.2. U-värden för projekterat hus

Köldbryggor vid anslutning golv/mark, ytterväggshörn respektive fönsterinfästning har beräknats med HEAT2. De slitsade reglarna har därvid först räknats om så att den slitsade delen har ersatts med ett fiktivt material med ett λ -värde som beräknats med SWEDISOLs hjälpprogram för köldbryggor, ett program som kan laddas ner från SWEDISOLs hemsida (Swedisol, 2007).

För utåtgående ytterväggshörn har med HEAT2 en extra värmeförlust beräknat till 0,0621 W/mK. Kv 53 har totalt 6 utåtgående hörn med en total längd på 60 m, vilket ger en total extra värmeförlust på 3,73 W/K.

För fönsterinfästningar har med HEAT2 en extra värmeförlust på 0,0859 W/mK beräknats, vilket ger en total extra värmeförlust på 100 W/K.

Anslutning golv/mark är så väl konstruerad att köldbryggan där kan försummas liksom för balkonginfästningar och stålpelare nära fasad.

Köldbrygga	ψ (W/K)	
fönsterinfästning	104	ber med Swedisols program samt Heat2
ytterväggshörn	3,73	ber med Swedisols program samt Heat2

Tabell 2.3. Värmeflöden för köldbryggor.

Ventilationssystem

I projekterat hus är ventilationssystemet av typen mekanisk frånluft med två frånluftsfläktar placerade i anslutning till respektive trapphus. Luftflödet i normaldrift har i handlingarna angetts till 470 l/s respektive 575 l/s. På grund av att forcering kan ske i spiskåporna måste detta flöde ökas. Härvid har antagits att forcering sker 2 timmar per dygn och lägenhet och att flödet i en spiskåpa ökas från 10 till 30 l/s. Med hänsyn till detta har ventilationsflödet ökat till 500 respektive 610 l/s med ständig drift. Luftintag sker via 78 st uteluftsventiler (fasaddon) fördelade på de olika fasaderna enligt tabell 2.1. Fläkttrycken har överslagsmässigt beräknats till 200 Pa respektive 250 Pa för de båda fläktarna och fläktverkningsgrad till 50%.

Lufttäthet

Luftläckaget i projekterat har satts till $0,8 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ vid 50 Pa, vilket var det krav som gällde i BBR 10. En svårighet som inte uppstår i traditionellt byggda flerbostadshus, men som på grund av denna typ av modulbygge tillkommer, är hur man ska hantera de luftspalter som finns mellan modulerna såväl i horisontell som vertikal led. De horisontella spalterna, mellan golv i en modul och tak i underliggande modul, är ca 20 mm, medan de vertikala, som i vad som kallas neutralzoner inrymmer det vertikala stålbärverket, är 130 mm bred och våningsvis avdelad i höjdled. Dessa spalter diskuteras i kapitel 2.5.

Termisk lagring

Inga inre väggar eller golv har lagts in. Det har antagits att de lätta konstruktioner det handlar om här påverkar värmelagringen i ringa omfattning.

Brukarberoende parametrar

Energibehovet för varmvatten har satts till $4,30 \text{ W}/\text{m}^2 A_{\text{temp}}$ och hushållsel (i VIP+ kallad processenergi) har satts till $3,5 \text{ W}/\text{m}^2 A_{\text{temp}}$, båda erfarenhetsvärden (C. Warfvinge). Personvärme har satts till $0 \text{ W}/\text{m}^2$, eftersom det är ytterst svårt att förutsäga hur många som bebor lägenheterna och i vilken utsträckning de är hemma och bidrar till uppvärmningen. Inomhustemperaturen har satts till lägst 22°C , en normalt förekommande temperatur i flerbostadshus idag och till högst 29°C varefter det räknas med att vädring sker.

2.4 Alternativa utformningar

Ett antal åtgärder har valts ut baserat på rimlighet och på erfarenheten att de minskar energianvändningen. Det projekterade husets har modellerats med dessa åtgärder var för sig och i vissa kombinationer. Till att börja med har de åtgärder som inte bedöms kosta något att genomföra analyserats. Det projekterade huset i kombination med alla åtgärder utan kostnad har kallats för "Grundfall". Därefter har åtgärder med kostnader och större eller mindre konsekvenser för produktionen beräknats. Till sist har dessa åtgärder kombinerats. Beroende på vilka åtgärder som kombineras blir nyttan antingen adderad eller någonstans mellan summan och den bästa enskilda åtgärden. I resultatkapitlet numreras beräkningsfallen från och med 01 till och med 21. Fall 01 avser det projekterade huset. I det följande redogörs för vad som är gjort och vilka kostnader som är förknippade med dessa åtgärder.

I princip kan man tänka sig följande åtgärder:

- Mindre transmissionsförluster genom bättre genomsnittligt U-värde. Detta kan ske genom
 - Bättre isolering. Detta kan principiellt göras i modulerna som av transportskäl inte enkelt kan få större yttermått. I så fall blir innerytan och innervolymen mindre. Det kan också göras genom platsmonterad isolering, vilket redan görs med viss tjocklek. Huvudalternativet är därför att öka den platsmonterade, utvändiga isoleringen.
 - Bättre fönster. Dels förekom i kv53 en bröstning under fönstren med fönstrets egenskaper som dåligt isolerad vägg men utan transparens. Den del borde kunna ersättas med normal vägg. Dels kan fönstrens U-värde sänkas för att minska värmeförlusten. Ett tredje alternativ är att öka ljustransmissionen för att få in mer värme, men eftersom detta medför ökat kylbehov, och vid avsaknad av kylsystem, mer övertemperaturer, är detta ingen bra lösning.
- Värmeåtervinning ur ventilationsluft.
 - Detta kan ske med hjälp av frånluftsvärmepump såvida värmen kan distribueras till tappvattenvärmning eller uppvärmningssystem. Då får man fortsatt stå ut med ett ventilationssystem där tilluften håller utetemperatur, vilket uppfattas som drag stora delar av året. Man får en värmepump som kräver service. Man bygger dessutom in sig i ett elberoende där framtida kvot mellan el- och värmepris är okänd. Å andra sidan gör det undertryck som skapas av detta system att det ofrivilliga luftutbytet, läckaget, minskar (Johansson, 2008).
 - Det andra alternativet är centralt från- och tilluftssystem med värmeväxlare mellan från och tilluft. Då kan ingen värme tas tillvara på sommaren eftersom avsättning inte kan ske till tappvatten. Å andra sidan får man ett system som ger tilluft där man vill ha tilluft, ger förvärmad tilluft och som inte har något större elbehov. Den stora nackdelen är att det behövs ytterligare ett kanalsystem i både lägenheter och byggnad.
 - Från- och tilluft kan också utföras med lägenhetsaggregat. Den stora fördelen är om avluft och uteluft, eller åtminstone en av dem, kan tas genom fasad så att man slipper schaktkanaler.
- Mindre läckage genom bättre täthet av klimatskalet. Detta kan ske genom
 - Mindre läckage genom yttervägg
 - Mindre läckage in i de vertikala spalter som finns mellan modulerna.

2.4.1 Åtgärder utan kostnad. "Självklara åtgärder"

Åtgärder som minskar energianvändningen utan att öka initialkostnad eller underhåll bör göras så fort som möjligt. Att livscykelkostnaden minskar är säkert. Efter montering av modulerna i stålskelettet sker avtätning av luftspalterna mellan modulerna i ytterväggar. Ytterväggarna isoleras utvändigt och fasadbekläds, i kv 53 har tre olika fasadbeklädnader använts, tegel, träpanel respektive skivor.

- Fall 02: Istället för tegelvägg kan man ha skiva eller panel vilket innebär att man får 50 mm utvändigt platsmonterad isolering istället för 20 mm. Detta är en arkitektonisk fråga, men ur energianvändningssynpunkt är det en självklar åtgärd. Kostnaderna har satts till samma som fall 01 eftersom detta är en designfråga.
- Fall 03: Den icketransparenta bröstningen under fönstren har högt U-värde och antas kunna ersättas med vägg till samma kostnad.
- Fall 04: Fall 02 och 03 i kombination skapar det "Grundfall" som fortsatta alternativa ändringar utgår ifrån.

2.4.2 Åtgärder med ökade initialkostnader

Om initialkostnaden, som inträffar vid byggnation, ökar, måste besparingen till följd av lägre energianvändning bli högre för att livscykelkostnaden ska minska med åtgärden. Underhållskostnaden kan också stiga med ökad initialkostnad eftersom det ibland innebär fler eller mer komplicerade komponenter. Följande förändringar är gjorda var för sig med utgångspunkt från Fall 04, "Grundfall".

- Fall 05: Dubbel otäthet, $1,6 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ vid 50 Pa tryckdifferens, har använts. Det är svårt att uppskatta minskningen i initialkostnad för detta men Sektionsfakta ger 27,2 SEK/m² tätad yta. Det har antagits att denna kostnad försvinner per ytterväggsyta med sämre tätning, vilket är en approximation. Inget minskat underhåll har antagits.
- Fall 06: Halv otäthet, $0,4 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ vid 50 Pa tryckdifferens. Det har antagits att man måste täta modulerna även invändigt för att uppnå detta vilket innebär att 27,2 SEK/m² har antagits för dubbla ytterväggsytan plus den värmda golvytan A_{temp} . Inget utökat underhåll har antagits, vilket innebär att åtgärden antas hålla under beräkningslängden, 50 år.
- Fall 07: Ökad platsmonterad utvändigt isolering till 100 mm istället för 50 mm. Sektionsfakta ger kostnadsökningen 28,8 SEK/m² omräknat till A_{temp} . Inget ökat underhåll har antagits.
- Fall 08: Ökad platsmonterad utvändigt isolering till 200 mm istället för 50 mm. Sektionsfakta ger kostnadsökningen 90,4 SEK/m² omräknat till A_{temp} . Inget ökat underhåll har antagits.
- Fall 09: Ökad isolering i tak med 400 mm. Sektionsfakta ger kostnadsökningen 53,4 SEK/m² omräknat till A_{temp} . Inget ökat underhåll har antagits.

- Fall 10: Bättre fönster med U-värde 0,9 W/(m²·K). OHP anger kostnadsökningen till 250 SEK/m² fönster vilket blir 42,5 SEK/m² A_{temp}. Inget ökat underhåll har antagits.
- Fall 11: FTX-ventilation lägenhetsvis med temperaturverkningsgrad 60% motsvarande en dålig värmeväxlare. Kanalkostnad har antagits vara densamma som i fall 04 men två takfläktar har dragits bort för totalt 25 673 SEK enligt Sektionsfakta. Ett lägenhetsaggregat kostar 18 837 SEK. Kostnadsökningen per A_{temp} blir då 272 SEK. Tillufttemperaturen har antagits till 19°C. Möjligheten att sätta mindre radiatorer har försumrats men bedöms i Malmö kunna ge en minskad initialkostnad på 28,0 SEK/m² A_{temp}. En årlig underhållskostnad på 3,76% av initialkostnadsökning har antagits baserat på beräkningar från REPAB (2004) och Johansson (2005). Detta avses täcka både underhåll och reparation och utbyte av komponenter vart 15 år.
- Fall 12: Som fall 11 men med en temperaturverkningsgrad på 70% motsvarande en normal plattväxlare. Kostnadsökningarna har varit samma som i fall 11.
- Fall 13: FTX-ventilation med centralt aggregat med en verkningsgrad på 80% motsvarande en bra värmeväxlare. OHP har angett en ökad kanalkostnad på 150 000 SEK, frånluftsfläktarna försvinner, det tillkommer aggregat samt fläktrumsinstallation vilket ger en ökad initialkostnad på 95,4 SEK/m² A_{temp}. Underhåll antas som i Fall 11.
- Fall 14: Frånluftsvärmepump, FVP, ansluten till det befintliga frånluftssystemet för att värma tappvatten och radiatorvatten med en kondensoreffekt på 25 kW och COP=3,4. Nibe ger pris för värmepump och Sektionsfakta för installation till 66,0 SEK/m² A_{temp}. En högre årlig underhållskostnad på 4,76% av initialkostnadsökning har antagits baserat på antagandet att värmepumpens reparationsbehov är större än för ett FTX-aggregat.
- Fall 15: Behovsstyrt luftflöde där det antas att flödet styrs lägenhetsvis baserat på närvaro så att flödet i genomsnitt blir 737 l/s istället för 1110 l/s motsvarande ungefär 60% närvaro med 0,1 l/(s·m²) A_{temp} vid frånvaro. Det behövs frånluft samt givare i varje lägenhet. Baserat på Johansson (2007) uppskattades kostnaderna till 68,2 SEK/m² A_{temp}. Underhåll antogs som i fall 11.

2.4.3 Kombinerade åtgärder

Kombinationer av åtgärder ur 2.4.2 baserat på fall 04 minskar energianvändningen ytterligare.

- Fall 16: Fall 12 med FTX-ventilation lägenhetsvis med 70% temperaturverkningsgrad i kombination med behovsstyrning enligt fall 15. I detta fall erfordras inga spjäll eftersom aggregatet finns i lägenheten utan endast givare vilket ger en initialkostnadsökning på 11,4 SEK/m²

- A_{temp} för behovsstyrningen. Underhåll antogs som i fall 11.
- Fall 17: Kombination av bättre isolering i väggar, tak samt bättre fönster, fall 08, 09 och 10. Initialkostnadsökningarna har summerats. Inget ökat underhåll antogs.
- Fall 18: Fall 17 byggs på med central FTX-ventilation från fall 13. Initialkostnaderna summeras medan underhållskostnadsökningen viktas från ursprungsfallen baserat på ökning i initialkostnad.
- Fall 19: Fall 17 byggs på med frånluftsvärmepump, FVP, från fall 14. Underhållet hanteras som i fall 18.
- Fall 20: Fall 18 kombineras med fall 06, vilket ger bättre isolering från fall 08, 09 och 10 samt FTX-ventilation med bra temperaturverkningsgrad och bättre täthet. Underhållet hanteras som i fall 18.
- Fall 21: Fall 19 kombineras med fall 06, vilket ger bättre isolering från fall 08, 09 och 10 samt FVP och bättre täthet. Underhållet hanteras som i fall 18.

2.4.4 Ej analyserade tänkbara åtgärder

Bland åtgärdsförslagen har fokus varit på byggnadsskal och värmeåtervinning. Minskade köldbryggor skulle minska energianvändningen såväl som risken för kondens och fuktproblem. Då dessa redan är relativt små har de inte analyserats i detalj utan istället påpekas vikten av att OHP är vaksamma för möjligheter i produktionen för att minska köldbryggorna. Det gäller till exempel balkonginfästning, som i ursprungligt utförande bedömdes ge en liten köldbrygga, som blivit ännu mindre i nya utförandet som OHP har tagit fram under projektets gång.

Fönsterareorna skulle kunna minskas. Detta har inte analyserats eftersom det är en arkitektonisk fråga. Många har dock visat att minskad fönsterarea innebär minskad energianvändning såväl som minskade övertemperaturer sommartid (Hellström, 2008; Bagge, 2007).

Man kan tänka sig att förändra försörjningssystemen som idag är naturgas i Bunkeflo-området. Syftet har varit att hålla arbetet generellt och oberoende av lokala möjligheter för energiförsörjning och fokusera på bygganden som troligen överlever försörjningssystemet flera gånger.

Värmepump som försörjningssystem för hela uppvärmningen har inte analyserats eftersom Boverkets remissutgåva för nya byggregler ställer större krav på elvärmade byggnader till vilka värmepumpsvärmda hus föreslås räknas. Om dessa krav blir verklighet finns risk att byggnaden blir för dålig samtidigt som det kan vara ett sätt att minska den totala energianvändningen markant om regelförslagen inte godtas.

Beteenderelaterade parametrar som hushållselanvändning och tappvarmvattenanvändning genom exempelvis snålspolande munstycken eller individuellt debiterad värme har inte undersökts. Vare sig det rör sig om parametrar som påverkar effektbalansen eller inte bör dessa data kunna hämtas från andra undersökningar i den mån sådana finns. Fastighetsel är ytterligare en parameter som inte har analyserats.

2.5 Läckage mellan modulerna och i de vertikala spalterna

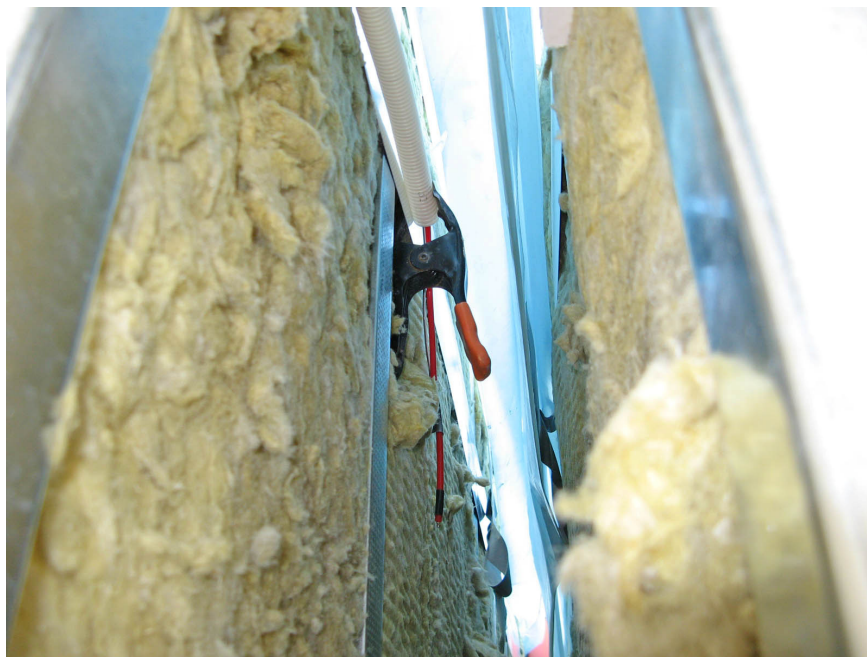
Mellan många av modulerna i husen från OHP finns vertikala spalter som man försöker täta upp och nere. Om det läcker mycket i dessa spalter, inser man att ytan som vetter mot kall luft ökar. Genom att uppskatta mått på ritningarna fås en kvot mellan transmissionsarea med arean i spalterna och transmissionsarean för skalet som vetter utåt på 2,6. Det har då antagits en byggnadsbredd på 10 m, en genomsnittslängd på 78 m och att det finns 14 spalter inne i byggnaden. Om läckorna är väldigt omfattande, uppstår uteklimat i spalterna och då blir värmeförlusten mycket högre, dels på grund av att transmissionsytan ökar till 2,6 gånger den utan spaltläckage, dels på grund av att U-värdet för denna ökning är ungefär dubbelt så högt som för övrig konstruktion.

U-värdet för värmegenomgång mellan inneluften och luften i dessa spalter har räknats till $0,73 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Spalterna är ungefär 12 m höga och 8 m breda. Genom att anta att spalten har två hål, ett högst upp och ett längst ner med en viss yta och att värmeöverföringen mellan modulinnerväggar och spalt fungerar som en värmeväxlare, kan temperaturen i spalten räknas ut vid givna ute- och innetemperaturer. Den termiska tryckskillnad som då uppstår ger approximativt luften ett lika stort dynamiskt tryck och därmed en fart in i och ut ur hålen.

Med en hålyta på $0,005 \text{ m}^2$ för vart och ett av hålen, en innetemperatur på 20°C och en utetemperatur på 0°C fås en spaltmedeltemperatur på ungefär 19°C . Hålytan $0,005 \text{ m}^2$ motsvarar en kvadrat med sidan 71 mm. Med en sådan, rimligen ganska stor, läckande yta indikerar analysen att dessa hål kan behandlas som byggnadsskalets övriga läckor eftersom den genomläckande luften måste värmas till rumstemperatur.

Detta skulle innebära att den inre isoleringen mellan modulerna är av underordnad betydelse vad gäller energianvändningen så länge den inte blir väl tilltagen. Med ett lågt U-värde för mellanliggande isolering dämpas förlusterna av omfattande läckor. U-värdet kan antas högre än vad transmissionsberäkningen ger för att modellera ett termiskt luftläckage mellan modul och spalt om det är så att modulerna är otäta invändigt.

Någon korrigerig av U-värde eller transmissionsytor har inte gjorts eftersom varken täthetsmätningar eller energidata från närliggande hus pekar på att detta skulle vara något större problem. För att möjliggöra framtida utredning av problemets omfattning har temperaturgivare och tryckmätningsslang monterats i två spalter i kv53. Figur 2.5. Jensen (2008) har analyserat strömning i dessa typer av spalter.



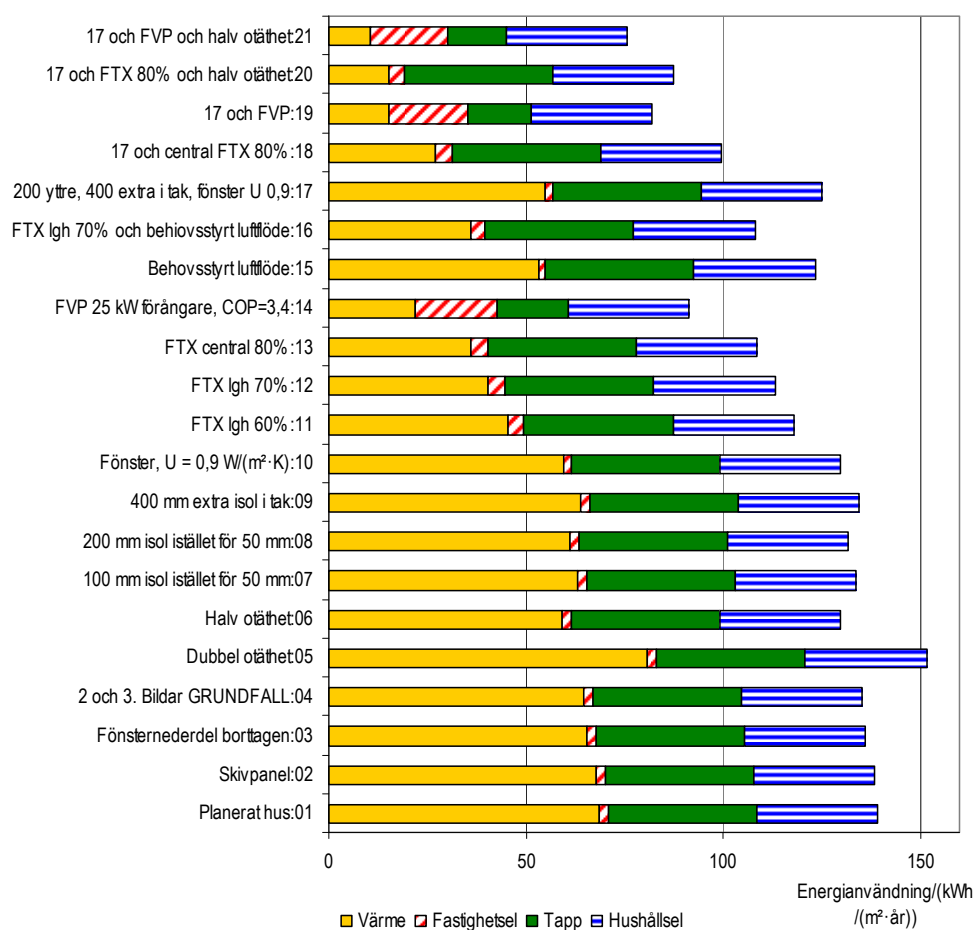
Figur 2.5. Montering av temperaturgivare i spalt mellan moduler. De vertikala plåtreglerna löper vertikalt i bilden.

3 Resultat

3.1 Energianvändning

Figur 3.1 visar den beräknade energianvändningen för det projekterade huset samt för de alternativa fallen. Fallen beskrivs i kapitel 2.4. De tre första delarna av staplarna, "Värme", "Fastighetsel" och "Tapp" ingår i BBRs krav. Hushållsel påverkar framför allt behovet av energi för att värma byggnaden och har ingått i vissa kravställningar för exempelvis Bo01.

Det som enskilt minskar energianvändningen markant är värmeåtervinning med antingen värmeväxlare eller värmepump. Med frånluftsvärmepump minskas energianvändningen mest, men med ökad elanvändning som följd. För övrigt krävs flera kombinerade åtgärder för att uppnå betydande minskningar.



Figur 3.1. Beräknad energianvändning för projekterat hus och alternativa åtgärder. "Värme" avser byggnadens uppvärmning medan "Tapp" avser energi till uppvärmning av tappvatten.

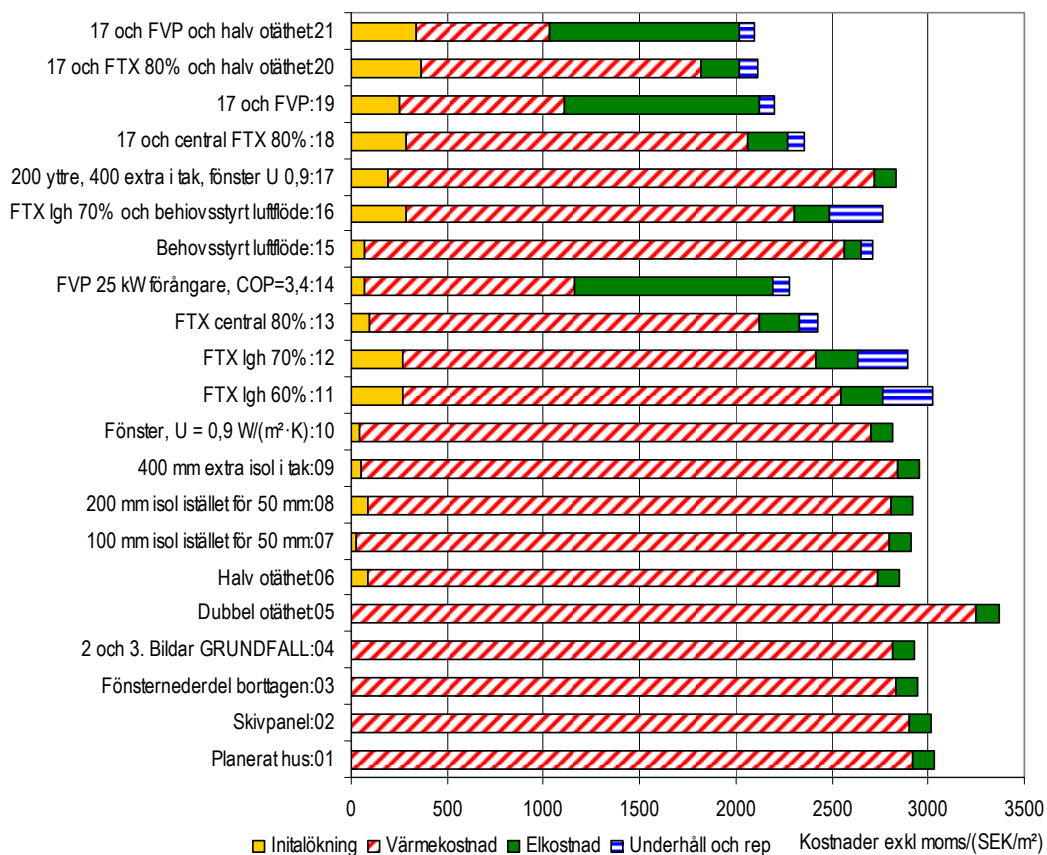
3.2 Kostnader

Figur 3.2 visar beräknade livscykelkostnader för det projekterade huset och de alternativa fallen. Indata som används i livscykelkostnadsberäkningen, om inget annat anges, redovisas i tabell 3.1. Värmepris och elpris kommer från genomsnittspriser tagna från OHPs el- och gasräkningar. Diskonteringsräntorna är satta för att beskriva en realprisökning på el på 3% och en realprisökning på värme på 2%. Det har antagits att värdet av investeringen har varit noll efter beräkningslängden (vid livscykels slut).

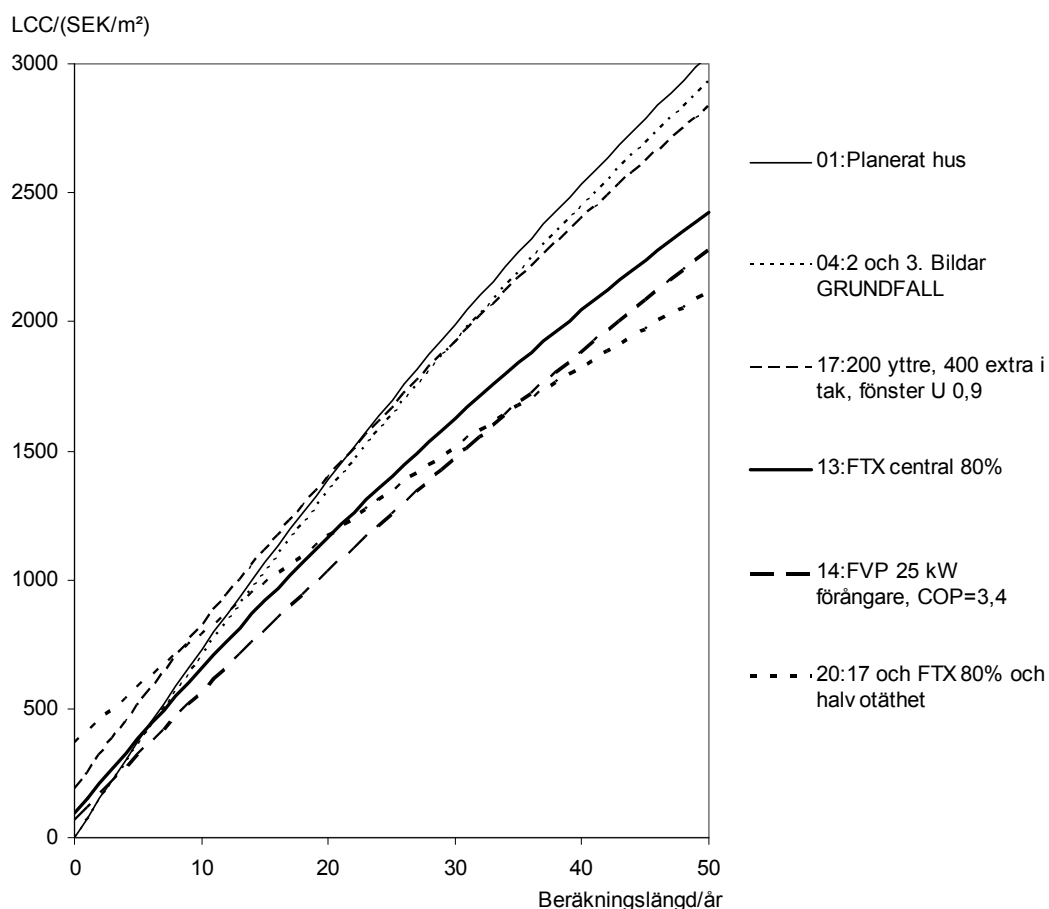
Värmeåtervinning påverkar livscykelkostnaden mest, men nästan alla åtgärder, inklusive kombination av åtgärder minskar livscykelkostnaden. Figur 3.3 visar hur livscykelkostnaderna ackumuleras över tiden. Exempelvis lönar sig fall 20 i förhållande till fall 04 efter cirka 13 år. Efter 13 år skulle Fall 14 ha kostat minst. Först efter cirka 35 år skulle Fall 20 ha kostat minst av de redovisade fallen.

Värmepris	0,7	kr/kWh
Elpris	1	kr/kWh
Diskonteringsränta värme	1	%
Diskonteringsränta el	0	%
Diskonteringsränta övrigt	3	%
Beräkningslängd	50	År

Tabell 3.1. Indata i livscykelkostnadsberäkningen



Figur 3.2. Livscykelkostnader per A_{temp} uppdelat på kostnadsslag. Här ingår inte hushållsel. Summan av staplarna är den totala livscykelkostnaden över 50 år. För "Värmekostnad" och "Elkostnad" avses totala livscykelkostnaden för dessa energier medan "Initialökning" och "Underhåll och rep" avser ökning i förhållande till projekterat hus. "Initialökning" inträffar vid byggnation medan övriga kostnadsslag inträffar under brukstiden.

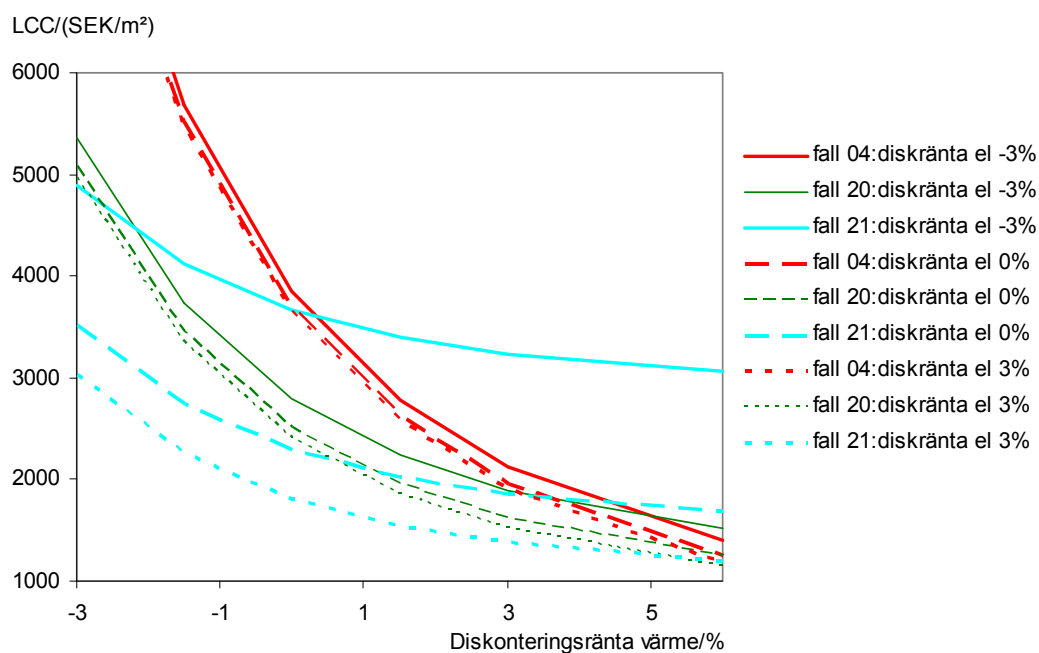


Figur 3.3. Livscykelkostnad (LCC) per A_{temp} som funktion av beräkningslängden för några av fallen.

3.3 Parameterstudier

I livscykelkostnadsanalyser av åtgärder kan man visa att det går att hitta en diskonteringsränta som visar att en åtgärd är lönsam liksom man kan visa det omvända (Jensen, 1986). Figur 3.4 visar livscykelkostnaden för tre av fallen med olika diskonteringsräntor för el respektive värme.

Målsättningen bör vara att bygga hus även utanför Malmö. Tabell 3.2 visar livscykelkostnaden om Fall 04, 20 och 21 beräknas med Kirunas uteklimat. Här blir energikostnaderna betydligt högre samtidigt som värmeåtervinningen kan användas mer i FTX-aggregatet än i FVP-aggregatet vilket gör att energianvändningen blir lägre i Fall 20 än i Fall 21.



Figur 3.4. Parameterstudie med olika diskonteringsräntor för el respektive värme för Fall 04, 20 och 21.

	Grundfall Kiruna	Fall 20 i Kiruna, central FTX, bättre skal	Fall 21 i Kiruna, FVP bättre skal
Tappvattenenergi/(kWh/(m²·år))	38	38	24
Hushållsel/(kWh/(m²·år))	31	31	31
Värme/(kWh/(m²·år))	138	46	54
Fastighetsel/(kWh/(m²·år))	3,0	4,3	223
Total energi/(kWh/(m²·år))	209,1	119,1	131,6
Initialkostnadsökning/(SEK/m²)	0	366	337
Värmekostnad/(SEK/m²)	4 814	2 307	2 143
Elkostnad/(SEK/m²)	150	217	1 139
Underhåll och rep/(SEK/m²)	0	92	80
LCC/(SEK/m²)	4 964	2 983	3 700

Tabell 3.2. Livscykelkostnad för Fall 04, 20 och 21 med Kirunas uteklimat. För "Värmekostnad" och "Elkostnad" avses totala kostanden för dessa energier medan "Initialökning" och "Underhåll och rep" avser ökning i förhållande till projekterat hus. "Initialökning" inträffar vid byggnation medan övriga kostnadslag inträffar under brukstiden. Här ingår också hushållsel.

4 Diskussion och slutsatser

Under projektets gång har en del utvecklingsarbete gjorts av OHP oberoende av projektet har bröstningar ersatts med normal vägg och generellt har 50 mm utvändigt isolering läggs till på plats istället för tegelfasader. Detta innebär att de senare husen stämmer överens med Fall 04.

Figur 3.2 visar att en kombination av alla beräknade åtgärder skulle ge lägst livscykelkostnader. Att genomföra alla dessa skulle innebära ganska omfattande produktionsförändringar hos OHP. En del enskilda åtgärder som frånluftsvärmepump och bättre fönster skulle kunna genomföras utan några större ändringar i produktionen men med en mindre sänkning av livscykelkostnaden.

4.1 Mätningar

De mätningar som vi fått tillgång till för de av OHP tidigare uppförda och idrifttagna byggnaderna inom Annestad är svårtolkade (se avsnitt 2.2). För att det överhuvudtaget ska vara möjligt att göra en uppföljning erfordras en mer uppdelad mätning, så att energimängder för uppvärmning, eventuell komfortkyla, tappvarmvatten, fastighetsel och helst även hushållsel samt processel tydligt kan särskiljas, vilket också föreslås i Boverkets remiss 2008-04-29 till ändring av BBR.

Det finns mycket att önska vad gäller uppföljning och redovisning av energianvändning i byggnader i drift. OHP skulle behöva ett internt system för uppföljning så att användningar finns tillgängliga i de fall där mätningar existerar.

Täthetsmätningar har gjorts liksom termograferingar av OHP i några lägenheter i byggnader uppförda vid olika tidpunkter, bland annat för att konstatera huruvida täthetsproblem funnits och vilken omfattning de haft vid olika produktionstid. Resultaten är enligt uppgift i paritet med täthetskraven i föregående byggregler. Dessa provningar har enligt uppgift från OHP resulterat i att svaga punkter beträffande täthet identifierats bland annat i anslutning till vissa schakt, varefter OHP utvecklat lösningar för detta. Eftersom arean som det uppmätta flödet divideras med kan variera allt från area mot ytterfasad till hela

lägenhetens innerarea, kan läckfaktorn variera flera gånger. Frågan är vilka luftflöden som är intressanta. Läckage till grannlägenhet inverkar normalt inte på energianvändningen medan läckage ut gör. Att mäta vad som passerar varje yta i en lägenhet är svårt och dyrt. Mätmetod-utveckling på området behövs.

4.2 Åtgärder

Alla åtgärder utom Fall 05 minskar energianvändningen. Fall 05 var en försämring för att bedöma påverkan av täthet. Vad gäller livscykelkostnaden minskar den för alla åtgärder utom Fall 09 och 11. Fall 09 avser 400 mm extra isolering i tak. I kombination med andra åtgärder minskar livscykelkostnaden, men den hade troligen kunnat minska ännu mer om mindre isolering hade lagts till. Hade huset haft färre våningsplan hade åtgärden haft större betydelse för energianvändningen. Fall 11 avser från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning med 60% temperaturverkningsgrad och lägenhetsaggregat. Från- och tilluftsventilation med lägenhetsaggregat ökar initialkostanden ganska mycket samtidigt som 60% är en temperaturverkningsgrad som kan tänkas beskriva vätskekopplade batteriåtervinnare, vilket normalt inte är aktuellt. 70% kan man lätt uppnå med plattväxlare i Malmö. Vid nordligare klimat blir det större problem med påfrysning, vilket inte hanteras i detalj av VIP+. Fall 13 med från- och tilluftsventilation med centralt aggregat får normalt högre verkningsgrad och om det går att lösa luktöverföringen med en roterande växlare, vilket har gjorts i en del fall i Sverige, blir det normalt inget problem med påfrysning ens i norra Sverige. Fall 15 och 16 beskriver resultat med behovsstyrt flöde. Med behovsstyrt flöde är besparingen med värmeåtervinning mindre eftersom det finns mindre luftvolym att växla värme från. Detta leder till att från- och tilluftsventilation får något högre livscykelkostnad i dessa fall än frånluftsventilation. Mer utvecklingsarbete behövs för behovsstyrning av ventilationen i bostäder, både vad gäller beräkningsindata, kravställande och utförande. Därmed är det svårt att införa detta i produktion omgående. I Norge har intresset varit större. Där har man också högre luftflöden per golvyta än i Sverige.

Tätheten är framför allt viktig om den är dålig från början eller om huset har från- och tilluftsventilation och därmed nästan balans mellan flödena och nästan samma tryck inne som ute. Skillnaden mellan Fall 04 och Fall 05 med dubbel otäthet är stor, medan skillnaden mellan Fall 04 och 06 är mindre. Skillnaden mellan Fall 18 och 20 är dock större eftersom detta avser ett från- och tilluftssystem. Skillnaden mellan fall 19 och 21 är återigen mindre eftersom det avser ett frånluftsventilerat hus. Detta beror på att undertrycket som skapas av frånluftsventilationen hindrar luft som kommer in på grund av vind och termik att ta sig genom byggnaden och därmed bli till läckage. Kostnaden för täthet är grovt uppskattad. Därmed är det svårt att avgöra vad optimal täthet är. Å andra sidan kan ökad täthet säkert i vissa fall vara nästan kostnadsfri genom att man kommer på bättre lösningar i OHPs produktion.

Okänsligheten för täthet är en stor fördel med frånluftsventilation. Detta leder också till mindre risker framför allt för fukttransport till

vindsutrymme i hus som har misslyckade tätskikt. Några nackdelar med frånluftsventilation är drag vid tilluftsventilerna på vinterhalvåret på grund av för låg temperatur, därmed kalla golv, samt svårigheten att kontrollera tilluften i olika rum. Genom att öppna ett köksfönster kan luftomsättningen i t ex sovrummet nästan utebli. Om otätheter inte är jämt fördelade kan samma situation uppstå. I passivhussammanhang kan inte tilluften bära in värme och den kan heller inte bära in kyla.

Var isoleringsåtgärd för sig ger ganska liten minskning av energianvändningen, men med alla i kombination blir påverkan större. Att i efterhand åtgärda fönster och isolering av vägg och tak blir mycket dyrare än extrakostnaden för att nå samma energianvändning i nyproduktion. Vad som är optimal isolering ur livscykelkostnadssynpunkt har inte undersökts. Då skulle många fler tjocklekar behöva jämföras, men kanske har den optimala nivån passerats eftersom 200 mm isolering i vägg ger något högre livscykelkostnad än 100 mm isolering i vägg, samtidigt som 400 mm extra isolering i tak ökade livscykelkostnaden.

Lägst livscykelkostnad av de simulerade åtgärderna ger en kombination av allt. Fall 21 med frånluftsvärmepump i kombination med andra åtgärder ger allra lägst livscykelkostnad i Malmö medan Fall 20 med från- och tilluftsventilation i kombination med andra åtgärder ger näst lägst livscykelkostnad efter 50 år. Längre norrut blir förhållandet det omvända. Realränta på el respektive värme påverkar direkt detta förhållande. Längre norrut blir också optimala isoleringsnivåer högre.

Med bättre isolering och lägre undertryck inomhus ökar riskerna med byggfukt i konstruktionen samtidigt som exempelvis risken att få in radon minskar. Fuktdimensionering är viktigt i lågenergihus. Isolering på vind minskar temperaturen på vinden vilket ställer större krav på täthet underifrån. Det kan bli problem ändå om isoleringen är för tjock. Isolering under platta har inte varierats i denna studie, men norrut kan det bli problem med för mycket grundisolering och tjäle. Bättre isolering och framför allt bättre fönster minskar kondensrisken inomhus. Inverkan från behovsstyrt flöde är inte särskilt utredd men det kan vara rimligt att kombinera någon form av närvarogivare med fuktgivare för att undvika problem om sådana system ska utvecklas.

4.3 Beräknade resultat jämfört med krav på energianvändning

I gällande byggregler, BBR 12, föreskrivs att energibehovet, exklusive hushållsel, för bostadsbyggnader i klimatzon söder högst får vara 110 kWh/m² A_{temp}. Dessutom får det genomsnittliga U-värdet inte överstiga 0,50 W/(m²·K). Resultatet av VIP+-beräkningarna för dessa parametrar redovisas i tabell 4.3.1 för några av de beräknade fallen. Även Fall 01 (planerat hus) klarar således nätt och jämt nuvarande krav, men med tanke på att det är den faktiska energianvändningen efter två år som ska uppfylla kravet är marginalen för liten.

Fall	U_m (W/m ² K)	E (kWh/m ² A _{temp})
:01	0,346	109
:04	0,319	105
:18	0,243	69
:19	0,243	52
:20	0,243	57
:21	0,243	45

Tabell 4.3.1 Utdata för BBR-jämförelse från VIP+ för sex av de beräknade fallen

I Boverkets REMISS 2008-04-29 föreslås ändrade föreskrifter för byggnaders energihushållning. Sverige föreslås delas i tre klimatzoner i stället för nuvarande två. Förslaget innebär främst en skärpning vad gäller eluppvärmda byggnader. Med elvärme avses ”uppvärmningssätt där elektrisk energi, med installerad effekt större än 10 W/m²A_{temp}, omvandlas till värme för uppvärmningsändamål”.

Högsta tillåtna specifika energianvändning, E_{max} , för elvärmda bostäder i klimatzon III är 55 kWh/m²A_{temp}. Installerad effekt för värme och tappvatten föreslås vara 3,5 kW med tillägg på 0,025 kW för varje m² utöver 130 m² för byggnader > 130 m². Tillåtet U_m begränsas till 0,40 W/(m²·K). E_{max} för icke elvärmda bostäder i klimatzon III är samma som för klimatzon söder i BBR12, det vill säga 110 kWh/m²A_{temp}. Tillåtet U_m är också oförändrat, 0,50 W/(m²·K). I båda fall ges rådet att energiberäkningar görs för inomhustemperaturen 22°C.

Effektbehovet för uppvärmning av kv 53 har inte beräknats i detta projekt, men för ”planerat hus:01” har OHP beräknat den till 31,5 W/m² A_{temp}. I de beräkningsfall där frånluftsvärmepump användas för återvinning har dess tillförda effekt uppskattats till 7,5 kW, dvs. 2,7 W/m²A_{temp}. Installerad eleffekt för uppvärmning ligger således under förslaget krav på 10 W/m², och resterande effekt kan t ex vara fjärrvärme, även om det i nuläget är naturgas. Om remissförslaget ska tolkas på detta sätt är dock oklart.

I ”Kravspecifikation för passivhus i Sverige – Energieffektiva bostäder. Energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus. Version 2007:1” (Energimyndigheten, 2007) uttrycks två krav, dels på maximalt avgiven effekt för hela byggnaden för direkt uppvärmning (P_{max}) och dels på maximal total köpt energi för hela byggnaden exklusive hushållsel (E_{max}). Dessa är uppdelade på två klimatzoner som överensstämmer med BBR 2006. Se tabell 4.3.1. För mindre byggnader finns specialkrav som medger högre värden. Övriga krav på byggnaden är att luftläckning genom klimatskalet maximalt får vara 0,3 l/(s·m²) vid 50 Pa tryckdifferens och att fönstrens genomsnittliga U-värde får vara max 0,9 W/(m²·K).

	Klimatzon söder	Klimatzon norr
Effektkrav, P_{max}	10 W/m ²	14 W/m ²
Energikrav, E_{max}	45 kWh/m ²	55 kWh/m ²

Tabell 4.3.1 Passivhuskrav

Vid beräkning av en byggnads effekt- respektive energibehov enligt ovan, sätts dimensionerande inomhustemperatur till 20°C och man får högst inkludera 4 W/m² frivärme, alltså värme från apparater och personer. Soltillskott får ej medräknas vid effektberäkningen.

Beräkning av varmvattenenergi (E_{vv}) görs utifrån en standardiserad användning som baseras på antal lägenheter och antal boende, som i sin tur baseras på lägenhetsstorlekar.

I kv 53 finns totalt 41 lägenheter varav 1 st 1½ rok, 26 st 2 rok och 14 st 2½ rok och byggnadens A_{temp} är 2750 m². Med standardanvändningen erhålls för kv 53 ett energibehov för varmvattenuppvärmning på 34,5 kWh/m² A_{temp} . I VIP+-beräkningarna har varmvatteneffekten generellt satts till 4,3 W/m², vilket ger varmvattenenergin 37,7 kWh/m² A_{temp} , alltså närmare 10% högre. Denna energi tillförs dock inte huset i VIP+-beräkningarna, såvida inte spillvattenvärmeväxlare förekommer.

I VIP+-beräkningarna har luftläckaget generellt satts till 0,8 l/(s·m²) vid 50 Pa tryckdifferens, men kontrollberäkning av betydelsen av tätare respektive otätare hus har genomförts, med 0,4 l/(s·m²) respektive 1,6 l/(s·m²).

I Fall 01 var fönstrens U-värde 1,2 W/m²K, men ändrades till 0,9 W/m²K efter ”enkla åtgärder” som därefter kallats Fall 04 (grundfall).

Inomhustemperaturen har i VIP+-beräkningarna för alla fall satts till +22°C, då det i praktiken är mer vanligt förekommande än 20°C.

Processenergi i VIP+ (hushållsel) har satts till 3,5 W/m². Denna tillförs byggnaden, liksom personvärme, som i VIP+-beräkningarna för aktuella fall satts till 0 W/m². Summan av dessa motsvarar alltså passivkravets begrepp ”frivärme”.

Fall 21, som ger lägst totalt energibehov, ger i VIP+-beräkningen 45 kWh/m² för uppvärmning och tappvarmvatten, men då är läckfaktor 0,4 l/(s·m²). Fall 19 är samma men med läckfaktor 0,8 l/(s·m²). VIP+-beräkningar för Fall 21 med inomhustemperaturen ändrad till 20°C ger energibehov 38 kWh/m² för uppvärmning och tappvarmvatten, dvs. klart under passivkravet, trots läckfaktor 0,4 l/(s·m²). Även Fall 20 torde klara kravet med lägre inomhustemperatur och mindre läckagefaktor.

Eftersom VIP+ inte beräknar dimensionerande effekter kan en jämförelse med effektkravet inte genomföras.

4.4 Framtiden

Mot slutet av projektet framkom först via media, sedan direkt från OHP, att fabrik och produktion skulle upphöra inom kort. Förhoppningsvis kan slutsatserna användas i andra sammanhang.

Mätutrustning har monterats för mätning av temperaturer och tryck i de vertikala spalterna mellan modulerna där luftomsättningen är oviss. Förhoppningen är att få medel att utföra dessa mätningar och tillhörande analys.

5 Referenser

- Bagge, H. (2007), Energy Use in Multi-family Dwellings, licentiate dissertation, department of Building Physics, Lund University, Sweden, report TVBH-3049
- Blocon (2007), Heat2, Datorprogram, Blocon, Lund,
<http://www.buildingphysics.com/>
- Boverket (2006), Open House- En rapport om tillkomsten av en ny produktionsmetod för prefabricerade flerbostadshus, Boverket, Karlskrona, Diarienummer 509-339/2002
- Forum för energieffektiva byggnader (2007), Kravspecifikation för passivhus i Sverige – Energieffektiva bostäder, Energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus, version 2007:1, Energimyndigheten, Eskilstuna,
<http://www.energieffektivabyggnader.se>
- Johansson, D. (2005), Modelling life cycle cost for indoor climate systems, Report TVBH—05/1014, Building Physics, Lund University, Lund, Sweden, Available at:
http://www.byfy.lth.se/Publikationer/1000pdf/TVBH-1014_web.pdf
- Johansson D. (2007), Variable ventilation airflow rate in dwellings – costs and benefits, Proceedings of Clima 2007 Wellbeing Indoors Conference, Id 1044, Helsinki, Finland
- Johansson D. (2008), Under-balancing mechanical supply and exhaust ventilation systems with heat recovery – effects on energy use, Proceedings of Nordic Building Physics Symposium 2008, Copenhagen, Denmark
- Jensen, L. (1986), Energiberäkningsekonomi, Installtionsteknik, Lunds universitet, Raport BKL1986:24

Jensen, L. (2008), Luftströmning i byggnadskonstruktion, Installtionsteknik, Lunds universitet, Lund, Rapport TVIT—08/7021, <http://www.hvac.lth.se>

Hellström, B. (2008), Impact of window properties on the heating demand of a passive house, Konferensartikel på Passivhus Norden 2008, Trondheim, Norge

Lindab (2007), Lindab Wallanalyser, datorprogram, Grevie, <http://www.lindab.se>

REPAB AB (2004), Årskostnader - Bostäder, Mölndal, ISSN 1404-6377, <http://www.repab.se>

Strusoft (2007), VIP+, datorprogram, Limhamn, <http://www.strusoft.se>

Swedisol (2007), Swedisol, datorprogram, <http://www.swedisol.se>

Wikells byggberäkningar AB (2008), Sektionsfakta, Wikells byggberäkningar AB, Växjö, <http://www.wikells.se>

Boverket

Box 534, 371 23 Karlskrona
Tel: 0455-35 30 00. Fax: 0455-35 31 00
www.boverket.se