

Optimering av energieffektiva byggnadsdelar

- studie av Lunds Kommuns Fastighets AB



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Byggnadsvetenskaper / Byggnadskonstruktion

Examensarbete:
Labinot Dakaj
Björn Lindholm

© Copyright Labinot Dakaj, Björn Lindholm

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2010

Sammanfattning

Byggbranschen står för 36 % av Sveriges totala energianvändning och det är av största vikt att förbrukningen i sektorn minskar. Lagar och regler genomgår ständiga förändringar och kraven på energiprestanda skärps för nybyggnation av bostäder. Det krävs trots det ett intresse för energieffektivisering hos byggherrar och entreprenörer vid nyuppförande av bostäder.

Fastighetsförvaltaren Lunds Kommuns Fastighets AB har ett väl utarbetat miljöarbete och följer regelbundet upp sin energiförbrukning och har ett stort intresse av att den ska fortsätta minska. Vid nyuppförande av bostäder ställer företaget internt krav på ingående byggnadsdelars energiprestanda, inte på den färdiga byggnaden. De interna energikraven har genomgått förändringar i samband med lagändringar i Boverkets byggregler. Framtida skärpningar av lagar och regler kan medföra att Lunds Kommuns Fastighets AB:s interna krav måste genomgå ytterligare förbättringar för att företaget ska ha högre ambitioner än vad lagen säger.

Med en simuleringsmodell i energiberäkningsprogrammet VIP-Energy har energibehovet för fastigheten Hårlemans Plats i Lund undersökts och jämförts med alternativa lösningar för byggnaderna, samtidigt som en ekonomisk analys har genomförts. Resultatet visar att det finns utrymme för förbättringar i Lunds Kommuns Fastighets AB:s interna krav vid nybyggnation. Jämfört med en byggnad som precis uppfyller företagets interna krav idag, görs för fastigheten Hårlemans Plats en årlig besparing på ca 58 MWh, eller ca 40 000 kronor. I många fall ger Hårlemans Plats, som har bättre ingående byggnadsdelar än de interna kraven, en bra grund till byggnadsdelars energiprestanda i eventuella framtida interna krav.

Nyckelord: lkf, lunds kommuns fastighets ab, hårlemans plats, energieffektiv, byggnadsdel, vip-energy.

Abstract

The construction industry stands for 36 percent of the total energy use in Sweden. It is therefore of great importance to reduce the consumption within the sector. Current guidelines undergo constant changes and the demands for low energy performance increases for new house constructions. However, there is a need for future proprietors and contractors to show interest in wanting to make energy more efficient when constructing new residential buildings.

The real estate administrator, Lunds Kommuns Fastighets AB, have a well complied environment work and have regularly follow ups for their energy consumption as they also have a great interest for it to continue to decrease. The company is undertaking an internal demand for detailed constructions parts energy performance for new house constructions but not for the new building in full. The internal demands for energy have experienced changes which are related to the changes of guidelines from Boverket's rules for construction. Further tightening of those guidelines may result in additional improvements for Lunds Kommuns Fastighets AB's internal demands so that they can reach higher ambitions than what the new guidelines from Boverket demands.

With a simulation model in the energy calculation program VIP-energy the requirement for energy for the real estate Hårlemans Plats in Lund has been examined and compared with alternative solutions for the buildings. An economical analysis was at the same time carried out. The result shows that there is need for improvements within Lunds Kommuns Fastighets AB internal demands for new house constructions. Compared to a real estate which precisely fulfils the company's internal demands required today, Hårlemans Plats makes an annual increase on 58 MWh or approximately SEK 40 000. Hårlemans Plats, which in many cases has better detailed construction parts than the internal demands, has a good foundation for construction parts when it comes to energy performance for possible further tightening of the internal demands even in the future.

Keywords: lkf, lunds kommuns fastighets ab, hårlemans plats, energy efficient, vip-energy.

Förord

Inledningsvis vill vi rikta ett stort tack till de personer som gjort det här examensarbetet möjligt genom att bidra med sin tid och kunskap.

Marika Andersson, Bengt Dahlgren AB

Håkan Ekelund, vVD, byggnadschef, Lunds Kommuns Fastighets AB

Åsa Johansson, miljöansvarig, Lunds Kommuns Fastighets AB

Bertil Lundström, fastighetschef, Lunds Kommuns Fastighets AB

Mats Olsson, VS-tekniker, Lunds Kommuns Fastighets AB

Anna Svensson, fastighetsassistent, Lunds Kommuns Fastighets AB

Ett extra stort tack riktar vi till vår handledare Catarina Warfvinge för den tid du lagt ner trots ditt ständigt fullbokade schema. De möten vi haft har varit ovärderliga i vårt arbete.

Vi tackar våra familjer och vänner för ert tålamod och den uppmuntran ni gett oss när vi som mest behövt det.

Helsingborg, 26 maj 2010

Labinot Dakaj och Björn Lindholm

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Målgrupp	2
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Metod	2
2 Nulägesbeskrivning	4
2.1 Energianvändning i bostadssektorn	4
2.2 Bostadsbyggandet under 2000-talet	7
2.3 Byggprocessen	7
2.4 Entreprenadformer	9
2.5 Regelverk	13
2.5.1 Energihushållning	15
3 Teori	17
3.1 Energibalans	17
3.1.1 Transmissionsförluster.....	18
3.1.2 Ventilationsförluster	19
3.1.3 Övriga energiförluster	20
3.1.4 Gratisvärmestillskott	20
3.1.5 Gradtimmar	21
3.2 Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient	22
3.2.1 BBR7	23
3.2.2 BBR16.....	24
3.3 Beräkningsprogram	24
3.3.1 VIP-Energy	25
3.3.2 UNorm	27
3.4 Investeringsbedömning	27
3.4.1 Pay back-metoden	27
3.4.2 Kapitalvärdesmetoden	28
3.4.3 Internräntemetoden	29
3.4.4 Annuitetsmetoden	30
4 Förutsättningar	31
4.1 LKF	31
4.1.1 Miljöarbete.....	31
4.2 Platsbeskrivning	35
4.2.1 Beskrivning.....	35
4.2.2 Lägenheter	36
4.2.3 Byggteknik.....	37
4.2.4 Ventilationssystem	38

5	Genomförande	40
5.1	Energiberäkningsmodell	40
5.1.1	Driftdata	43
5.1.2	Klimatdata	43
5.1.3	Köldbryggor	44
5.2	Alternativa lösningar	44
5.2.1	Tekniska lösningar	45
5.2.2	Lufttäthet	46
5.2.3	LKF:s krav	46
6	Resultat och analys	48
6.1	Investeringsbedömning	48
6.2	Möjligheter för LKF	51
7	Slutsatser	54
7.1	Resultat	55
7.2	Studiens trovärdighet	55
7.3	Fortsatta studier	56
8	Referenser	57
8.1	Tryckta källor	57
8.2	Elektroniska källor	58
8.3	Muntliga källor	59

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Lunds Kommuns Fastighets AB har ett väl utarbetat miljöarbete och ett stort intresse för energibesparande åtgärder. Företaget ligger långt framme med individuella avläsningar på tillförd mängd värme och tappvarmvatten vilket lockar företagets hyresgäster att välja en lägre inomhustemperatur och minska på användningen av varmvatten.

Företaget har internt utarbetat en mängd krav för de nya byggnader som uppförs, inte minst energirelaterade krav. Man har även ett stort intresse av att dessa finns tillgängliga och används vid projektering. En del krav är formulerade som kvantifierade värden, medan andra kan tolkas på flera olika sätt. Målet med dessa krav är att de ska utgöra en standard för nyuppförda bostäder i företagets regi, och kräver därmed fortlöpande tillsyn då lagar och regler skärps.

Ett företag har alltid ett ekonomiskt vinstintresse på både kort och lång sikt. Kortsiktigt är inga stora investeringskostnader lönsamma om ingen direkt återbetalning sker, men med ökade energipriser kan stora besparingar göras på lång skit genom att bygga energisnålt.

1.2 Syfte

Examensarbetets huvudsyfte är att undersöka möjligheten för Lunds Kommuns Fastighets AB att skärpa sina ställda krav på energisnåla byggnadsdelar, både vad gäller värmegenomströmning och lufttäthet i utförandefasen, då den senare inte dokumenterats i några riktlinjer tidigare.

Det har i regelverk aldrig ställts krav på enskilda komponenter i byggnader utan endast på helheten. Varför väljer då LKF att ställa sådana krav och vad ligger till grund för de minimivärden man valt? Det är i branschen känt att det nästan alltid är ekonomiskt försvarbart att ha ett välisolerat tak, vilket i sin tur kommer att minska kraven på andra komponenter då helheten beaktas. Vilka komponenter i byggnaden bör LKF beakta mer respektive mindre ur energisynpunkt men även ur ett ekonomiskt perspektiv? Vilka komponentkrav skulle det vara möjligt för LKF att ställa för ett fungerande energisnålt byggande, samt för att ytterligare trimma sig själva?

Lågenergihuset Kv Jöns Ols medförde att nya intryck förmedlades till de inblandade, däribland byggherren LKF. Konceptet, med välisolerade hus och värmeåtervinning, som kräver väldigt lite tillförd energi kräver nytänkande,

noggrann planering och precist genomförande. De byggnadstekniska lösningar man genomförde för att minimera effekten av köldbryggor har visat sig i Jöns Ols fungera tillfredsställande och huset har i sin helhet uppfyllt förväntningarna. Har LKF fortsatt att arbeta på samma sätt för att uppfylla sina önskemål om fungerande, energisnåla hus? Kan LKF integrera tekniska lösningar i sina framtida krav?

1.3 Målgrupp

Studien behandlar de interna standardkrav som Lunds Kommuns Fastighets AB ställer, varför främst studien riktar sig till företaget. Även andra fastighetsägare med intresse för energisnålt byggande är en målgrupp för studien.

1.4 Avgränsningar

Studien omfattar två byggnader uppförda på en fastighet i Lund och de parametrar som har använts i studien kan inte direkt tillämpas för likvärdiga studier för andra byggnader. Studiens tillvägagångssätt kan tillämpas på samma sätt om ingående parametrar ändras.

Ett generellt resultat kan inte ges med den begränsning av antalet byggnader som undersökts i den här studien. Fastigheten som har studerats avser att ge ett resultat för det specifika fallet, samtidigt som det förhoppningsvis ger en fingervisning för liknande projekt.

Studiens har begränsats till att bestämma behovet av tillförd värmeenergi och energi för tappvarmvatten. Fastighetsenergi och hushållsel har inte behandlas då det faller utanför byggnadernas behov av värmeenergi och är poster som är starkt relaterade till brukarvanor.

1.5 Metod

Utgångspunkten för undersökningen har varit två flerfamiljshus uppförda på fastigheten Hårlemans Plats i Lund.

En mängd data från det aktuella objektet har samlats in för att skapa en virtuell modell av byggnaderna i beräkningsprogrammet VIP-Energy. Relevant data har hämtas från arkitekturritningar (A-ritningar), konstruktionsritningar (K-ritningar), VVS-ritningar, energideklarationer, mätaravläsningar, andra beräkningsprogram, leverantörer samt muntliga referenser och besök på plats.

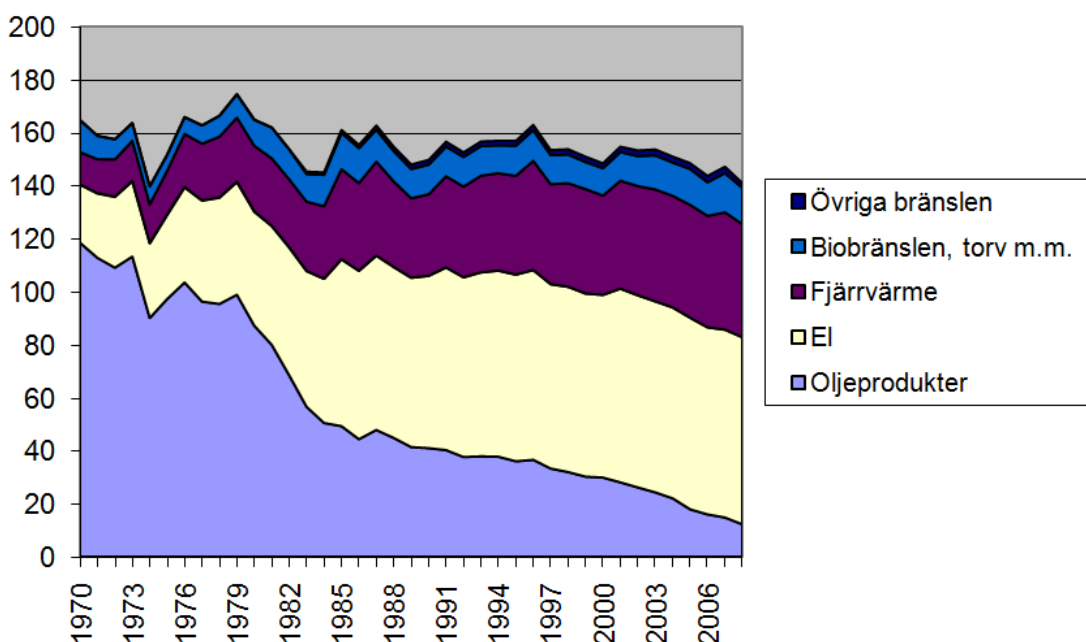
Gällande regelverk, riktlinjer från LKF i form av dokumenterade krav samt förväntade resultat har analyserats tillsammans med resultaten från VIP-Energy. Utifrån dessa analyser har alternativa lösningar och konstruktionsdetaljer jämförts för att optimera energibesparingen i byggnaden. En investeringsbedömning har även gjorts på de alternativa lösningarna för att ge en ekonomisk inblick i de energibesparande åtgärderna.

Slutligen har undersökningen sammanställts där ett generellt resultat fåtts fram i form av alternativa riktlinjer som LKF kan ställa som är både energibesparande och ekonomiskt försvarbara.

2 Nulägesbeskrivning

2.1 Energianvändning i bostadssektorn

Av hela Sveriges energianvändning utgjordes ca 36 % av sektorn bostäder och service 2008. Sedan 1970-talet är det endast en marginell minskning då andelen legat relativt konstant på drygt 40 % fram till slutet av 1990-talet. Senare användningsminskning kan bero på marknadsläget och betyder inte att någon drastisk åtgärd genomförts, varför energianvändningen inom sektorn kan anses vara relativt oförändrad. Figur 2.1 visar energianvändningen i sektorn bostäder och service, uppdelad på energibärare.



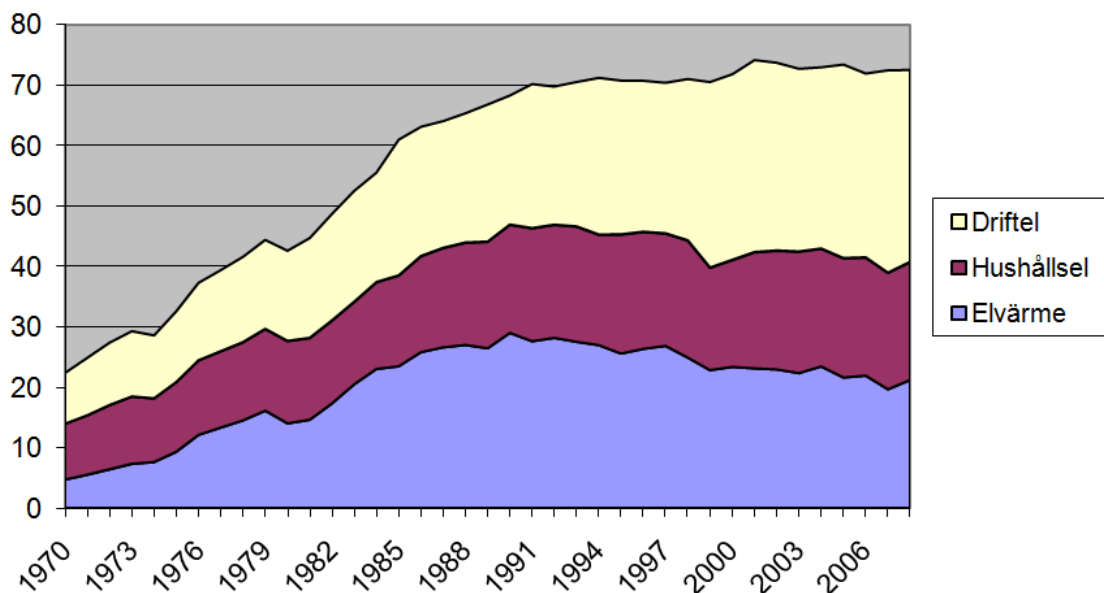
Figur 2.1 Slutlig energianvändning inom sektorn bostäder och service m.m., 1970–2008 [TWh]¹

I figuren framgår att den största förändringen är ersättningen av oljeanvändning till förmån för fjärrvärme och el. Anledningen är att oljekriserna på 1970-talet tvingade fram energieffektiviserande åtgärder. Regeringen införde 2006 konverteringsstöd för småhus med oljeuppvärmning eller direktverkande elvärme, vilket också har ökat takten på utbyte av uppvärmningssystem för villor som fortfarande värms med oljepannor.

Trots bostadsbeståndets ständiga ökning har energieffektiviserande åtgärder gjort att en ökning av energianvändningen har kunnat förhindras. Det används också betydligt mindre energi i nybyggda bostäder än i äldre, tack vare bättre värmeisolering, utnyttjande av överskottsvärme och värmeåtervinning.

¹ Energimyndigheten (2009): *Energiläget i siffror 2009*. www.energimyndigheten.se, 2010-04-30.

Samtidigt som det skett en marginell minskning av den totala användningen av energi i sektorn har elanvändningen ökat markant. Byggnaders energibehov utgörs, förutom av energi för uppvärmning och varmvatten, av hushållsel och fastighetsel, där hushållsel består av den el som hushållen betalar medan fastighetsel omfattar fastighetsägarens driftel för till exempel utomhusbelysning, maskiner i gemensamhetsutrymmen och hissar. I småhus delas sällan, eller aldrig, elförbrukningen upp på hushålls- och driftsel. Hur elanvändningen i sektorn har förändrats sedan 1970 visas i Figur 2.2.



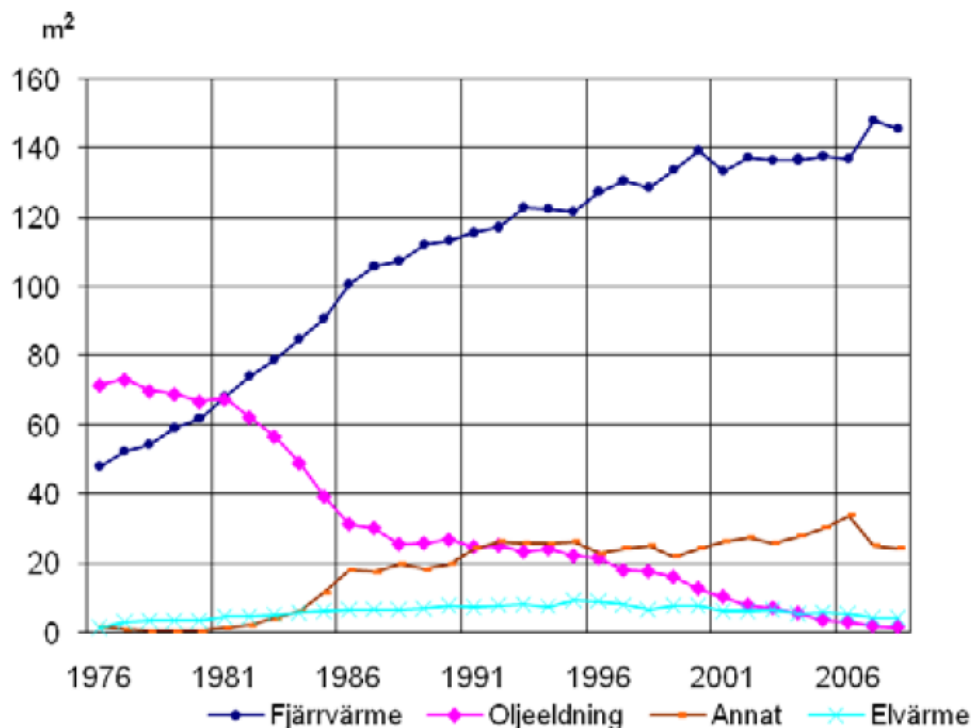
Figur 2.2 Elanvändning inom sektorn bostäder och service m.m., 1970–2008 [TWh]²

Enligt figuren ovan utgörs den största ökningen av elanvändningen inom områdena drift och värme. Användningen av hushållsel har fördubblats sedan 1970 och driftel har ökat med det tredubbla. Elvärme har i många fall ersatt olja som uppvärmningsmedium och användningen är idag fyra gånger större än 1970. Totalt har användningen av elenergi i sektorn under samma period ökat med över 300 %.

Som Figur 2.3 nedan visar är en stor majoritet av flerbostadshusen i Sverige anslutna till fjärrvärmenätet, där levererad energi debiteras enligt gällande taxa. Byggnader med låg energiförbrukning kan i och med prishöjningar göra att fastighetsägare kan göra stora ekonomiska besparingar, både på kort och på lång sikt, jämfört med ”sämre” hus.

² Energimyndigheten (2009): *Energiläget i siffror 2009*. www.energimyndigheten.se, 2010-04-30.

I ett livscykelperspektiv för en byggnad, där man tar hänsyn till byggnadens hela livslängd, används i storleksordningen 85 % av energin till drift under dess brukstid, 15 % under uppförandefasen och mindre än 1 % till rivning. Att energieffektivisera vid nybyggnad och fokusera på låga driftskostnader lönar sig alltså i regel i längden. Även energieffektiviserande åtgärder på befintligt byggnadsbestånd kan i många fall löna sig i och med den stora andelen energi som används till drift.



Figur 2.3 Total area i flerbostadshus fördelad på uppvärmningssätt [miljoner m²]³

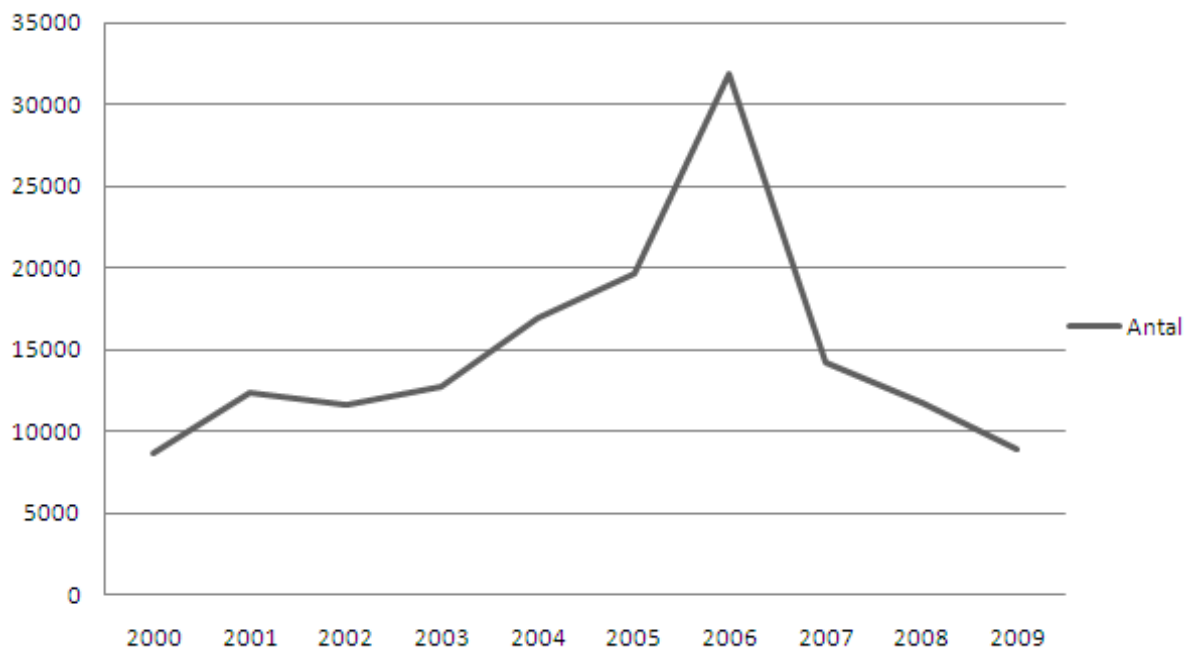
Att energianvändningen ökar är ett globalt problem, inte enbart i bostadssektorn. Det krävs dock åtgärder som, förutom att reducera ökningen, även bidrar till en minskning av energianvändningen. I sektorn bostäder och service skulle det krävas krafttag som tvingar fram energieffektiviserande åtgärder för att behovet skulle minska. Byggprocessen är komplicerad och ofta är många parter inblandade där alla ska sträva efter samma mål samtidigt som lagar och byggregler ska följas. För att få en inblick i byggprocessens intressenter beskrivs de närmare i avsnitt 2.3.

³ Energimyndigheten (2009): *Energistatistik för flerbostadshus 2008*. www.energimyndigheten.se, 2010-05-11.

2.2 Bostadsbyggandet under 2000-talet

Mängden nyuppförda bostäder i Sverige var som störst under miljonprogrammet då det från 1965 byggdes strax över en miljon lägenheter fram till 1974, då det istället uppstod ett bostadsöverskott.

Historiskt sett byggs det extremt lite bostäder idag, och har gjort det sedan lågkonjunkturen på 1990-talet. Figur 2.4 nedan visar antalet nybyggda lägenheter under 2000-talet och kan jämföras med de ovan nämnda siffrorna från miljonprogrammet.



Figur 2.5 Påbörjade nybyggda bostadslägenheter under 2000-talet⁴

Mängden bostäder som uppförs speglar däremot inte intresset för byggbranschen. Sedan 1999 har intresset för byggprogram på gymnasieskolor ökat markant och vida överskrider tillgången på platser och under samma period är intresset för högskolestudier inom byggt teknik på rekordnivå⁵.

2.3 Byggprocessen

Byggprocessen involverar, beroende på dess storlek, många olika aktörer som påverkar processen i olika avseenden. Parter som involveras i ett byggprojekt har olika roller och påverkar projektet på olika sätt, vilket beskrivs nedan.

⁴ Statistiska Centralbyrån (2010): *Påbörjade nybyggda bostadslägenheter*. www.scb.se, 2010-04-30.

⁵ Sveriges Byggindustrier (2010): *Byggarbetskraft*. www.bygg.org, 2010-05-11.

Byggherren

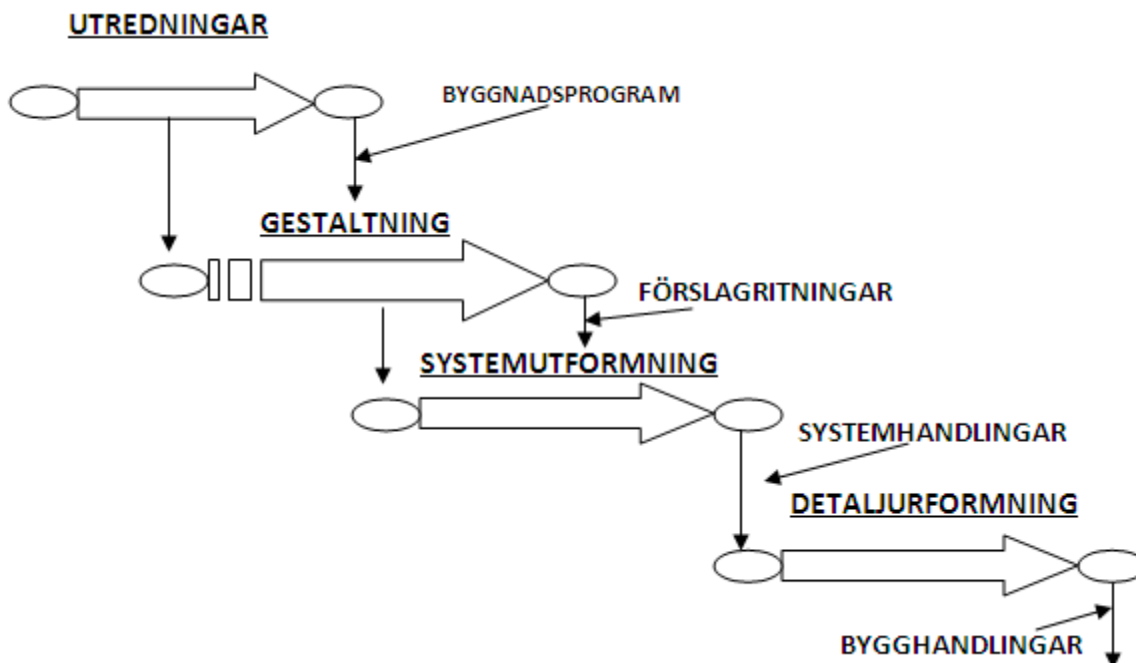
Byggprocessen inleds med att någon uttrycker ett intresse för att bygga eller förändra någon byggnad. Personen, företaget eller organisationen kallas byggherre och är den som beställer projektet och har ansvaret för att arbetet utförs enligt lagar och regler.

Boverket

De lagar som berör byggande sammanställs av förvaltningsmyndigheten Boverket i Boverkets byggregler, BBR, se avsnitt 2.5.

Projektörer

Projekteringen utförs av olika typer av konsulter med målet att utforma byggnaden enligt byggherrens specificerade krav. Projekteringen är i regel ett svårt och komplext arbete, se figur 2.5.



Figur 2.5 Projekteringsprocessen

Entreprenörer

Entreprenörer utför hela eller delar av produktionen och anlitas av byggherren. Beroende på entreprenadform anlitas även underentreprenörer och specialister av en huvudentreprenör. Olika typer av förekommande entreprenadformer beskrivs närmare i avsnitt 2.3.

Förvaltare

Efter byggnadens färdigställande anlitas en förvaltare för drift och fortlöpande underhåll och skötsel. Förvaltaren och byggherren är ofta samma person då projektet är byggt för eget förvaltningsbolag.

2.4 Entreprenadformer⁶

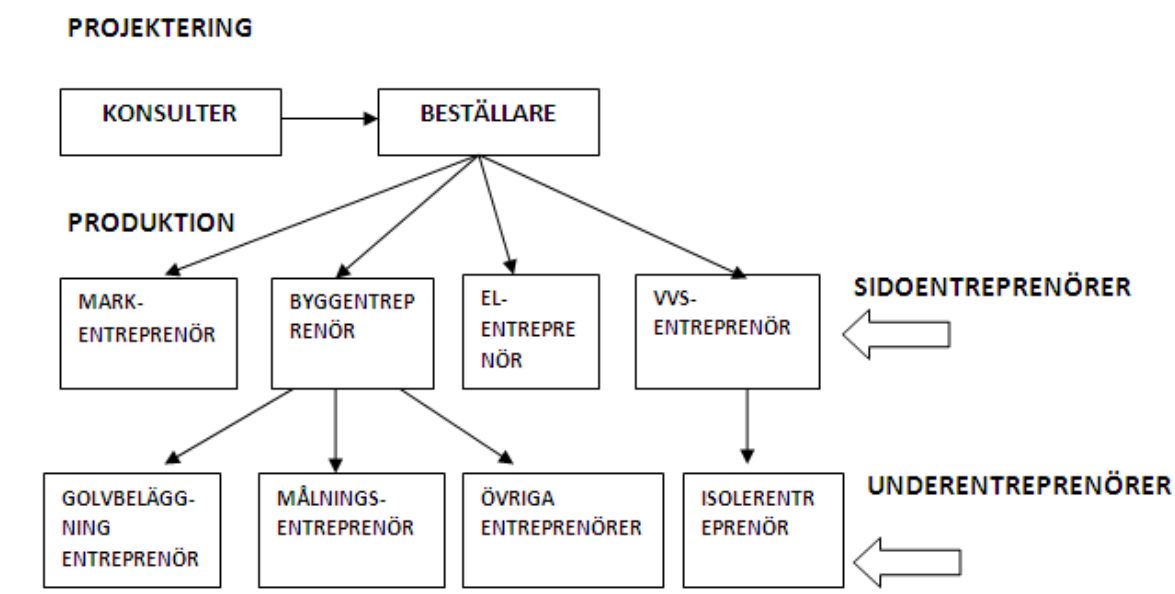
Vilken entreprenadform som är mest användbar för beställaren respektive entreprenörerna beror på byggprojektets storlek och omfattning, beställarens förmåga och vilja att delta i samordningen, vilken ersättningsform som är aktuell, o s v. Det är alltså olika faktorer i varje enskilt projekt som är avgörande för vilken entreprenadform som tillämpas.

Här nedan följer en kortfattad beskrivning av några av de vanligaste entreprenadformerna i byggprocessen. Utöver de entreprenadformer som redogörs förekommer olika varianter av kombinationer och mindre vanliga entreprenadformer.

Delad entreprenad

För husbyggande var delad entreprenad den vanligaste entreprenadformen fram till ca 1960. Beställaren låter, ofta med hjälp av konsulter, utföra projekteringen och sluter avtal med entreprenörer som ansvarar för sin del av byggandet, t ex mark, byggnad, el och VVS. Entreprenörerna anlitar i sin tur hantverkare, installatörer och specialföretag för delar av arbetet.

Entreprenörerna har gentemot varandra inga avtal och därmed ligger i regel hela samordningsansvaret hos beställaren. Denna form av entreprenad medför en del risker då ansvarsområdena är begränsade och skarvar mellan dessa kan uppstå. På samma sätt kan det vara svårt att fastställa vem som är ansvarig vid eventuella skador på byggnaden.



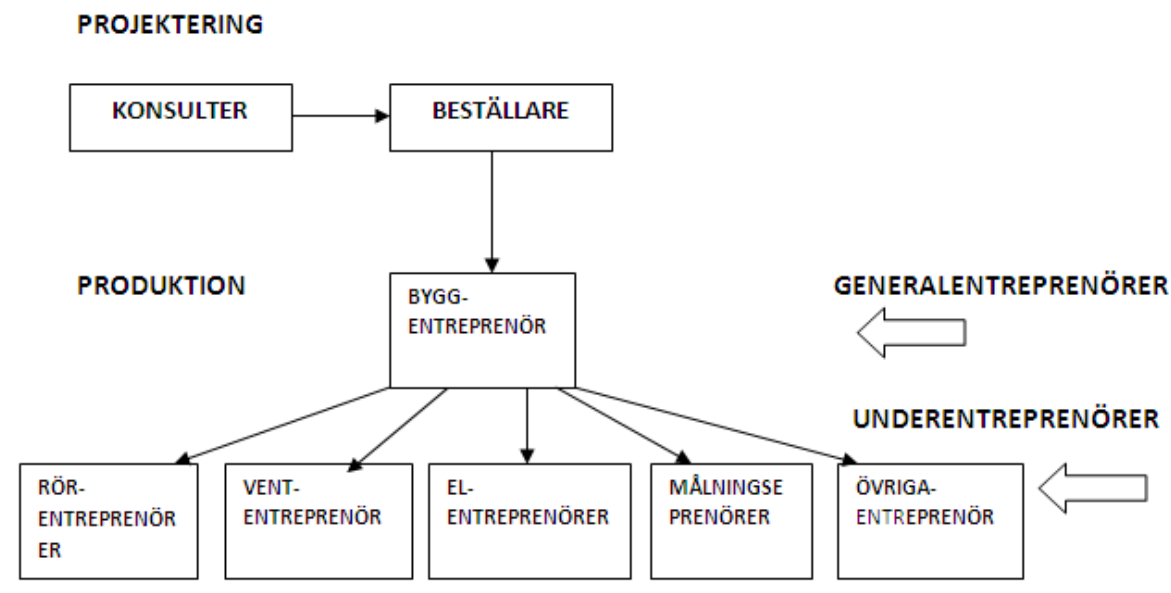
Figur 2.3 Delad entreprenad

⁶ Nordstrand, Uno (2000): *Byggprocessen, tredje upplagan*. Elanders Gummessons, Falköping. ISBN 91-47-01169-6

Generalentreprenad

Beställaren låter utföra projekteringen som vid delad entreprenad. Därefter anlitas en entreprenör som därmed övertar beställarens samordningsansvar och blir generalentreprenör. Denna anlitar därmed samtliga underentreprenörer, hantverkare, installatörer och specialföretag.

I en generalentreprenad slipper beställaren ansvaret för samordning, vilket minskar administrationskostnaderna jämfört med delad entreprenad. Samtidigt blir ansvarsförhållandena enklare eftersom det endast sluts avtal med en part. Projekteringsansvaret ligger dock fortfarande kvar hos beställaren.



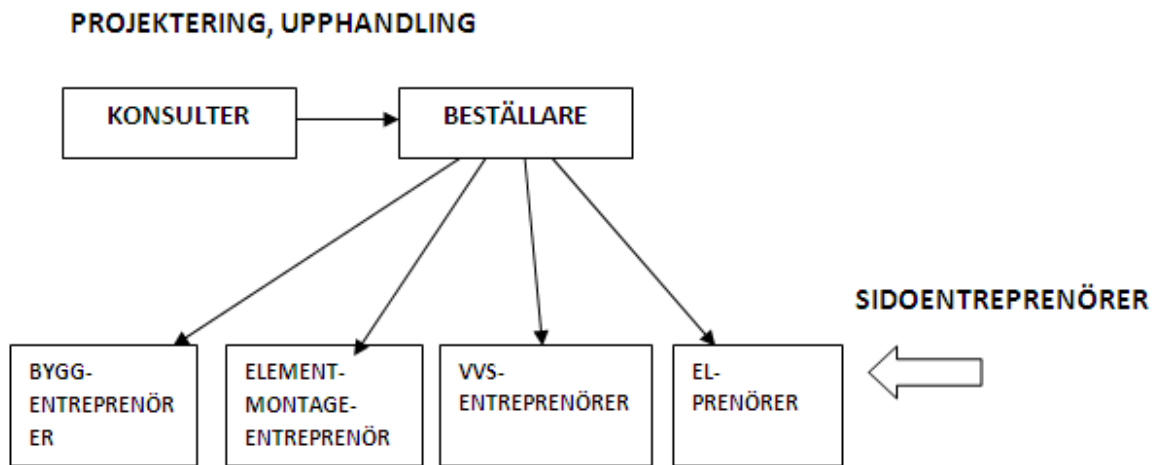
Figur 2.4 Generalentreprenad

Samordnad generalentreprenad

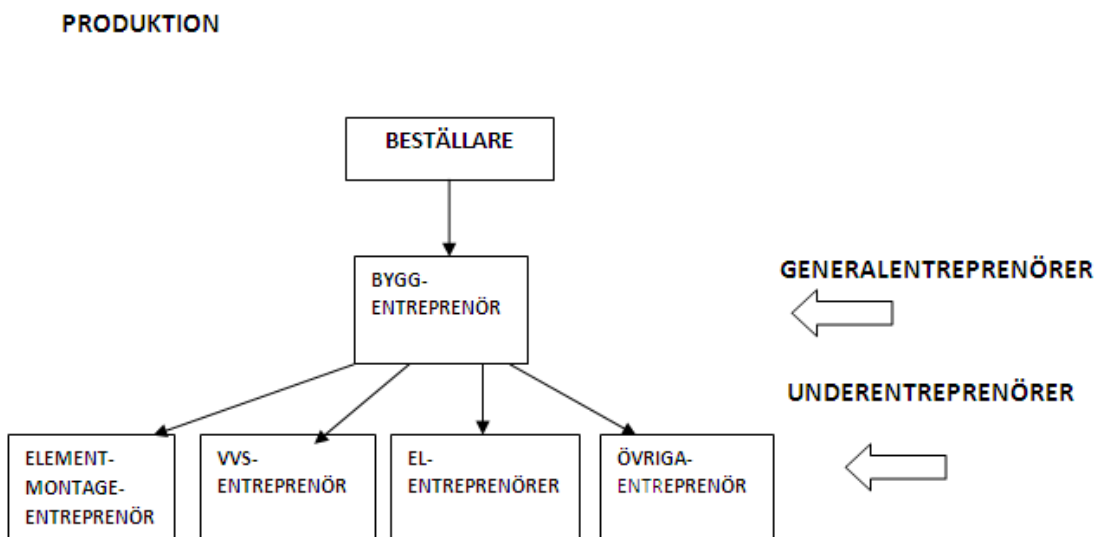
Beställaren låter utföra projekteringen likt ovanstående entreprenadformer. Även upphandling av samtliga entreprenörer för de olika delarna av byggandet görs av beställaren, som i delad entreprenad. Därefter övertar den blivande generalentreprenören kontrakten med övriga entreprenörer, som till skillnad från generalentreprenad är valda av beställaren. I det här skedet övergår entreprenadformerna till att likna generalentreprenad.

Beställaren får med samordnad generalentreprenad bättre grepp om kostnaderna för de olika delentreprenaderna. En annan fördel är att samordningsansvaret ligger hos generalentreprenören.

I många fall har ansvarsfördelningen varit otydlig i upphandlingen av entreprenaderna vilket har lett till tvister⁷. För att detta ska undvikas bör upphandlingen ske i samförstånd med beställare och entreprenörer.



Figur 2.5 Samordnad generalentreprenad, projektering och upphandling



Figur 2.6 Samordnad generalentreprenad, produktion

Totalentreprenad

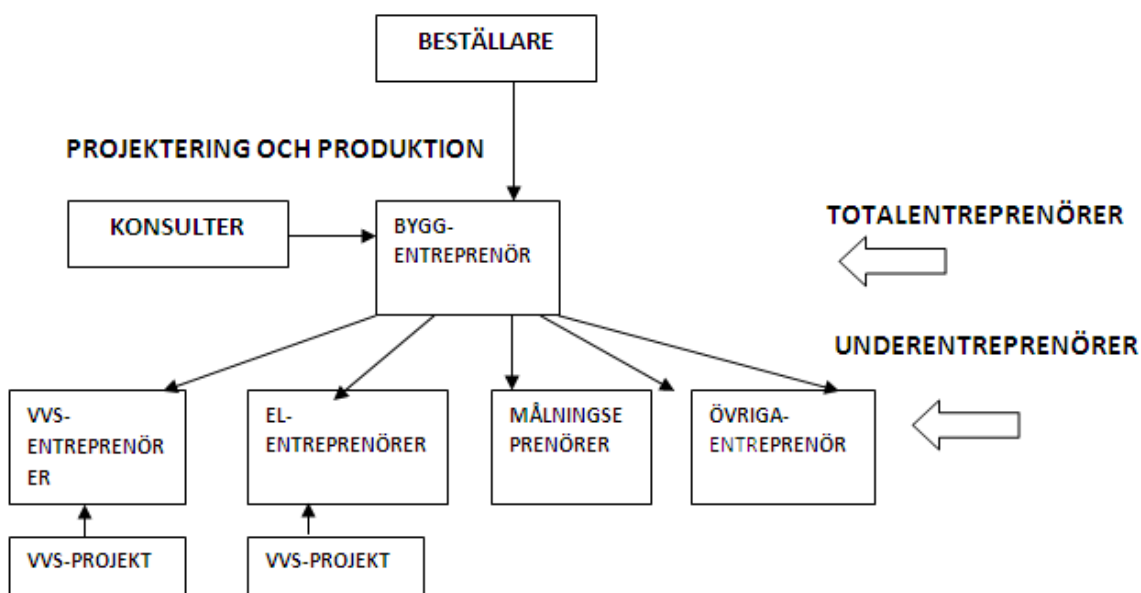
Beställaren preciserar de krav som ställs på byggnaden avseende t ex standard, funktion och utformning i ett byggnadsprogram. Utifrån ställda krav utformar olika entreprenörer förslag till byggnadsverk som kan bedömas av beställaren.

⁷ Söderberg, Jan (2005): *Att upphandla byggprojekt, femte upplagan*. Studentlitteratur AB, Lund. ISBN 91-44-03153-X

Redan i tidigt skede krävs viss projektering för att en entreprenör ska kunna bedöma omfattningen av entreprenaden innan anbud kan lämnas. Den entreprenör som får beställningen blir totalentreprenör och genomför både projektering och anlitar underentreprenörer, hantverkare, installatörer och specialföretag.

Totalentreprenören har både samordningsansvar och funktionsansvar. Det sistnämnda innebär att den färdiga byggnadens egenskaper ska uppfylla de krav som ställts av beställaren. Kraven bör vara formulerade så att de är mätbara i den färdiga byggnaden, t ex effektförbrukning, luftflöden och isolering.

För beställaren är totalentreprenad den enklaste formen ur ansvarssynpunkt eftersom det endast finns en part att vända sig till som är ansvarig för både projektering och utförande. Vid eventuella brister eller skador på byggnaden är det alltså upp till totalentreprenören att åtgärda felen. Kostnadmässigt bedöms totalentreprenad i regel bli dyrare än andra entreprenadformer.

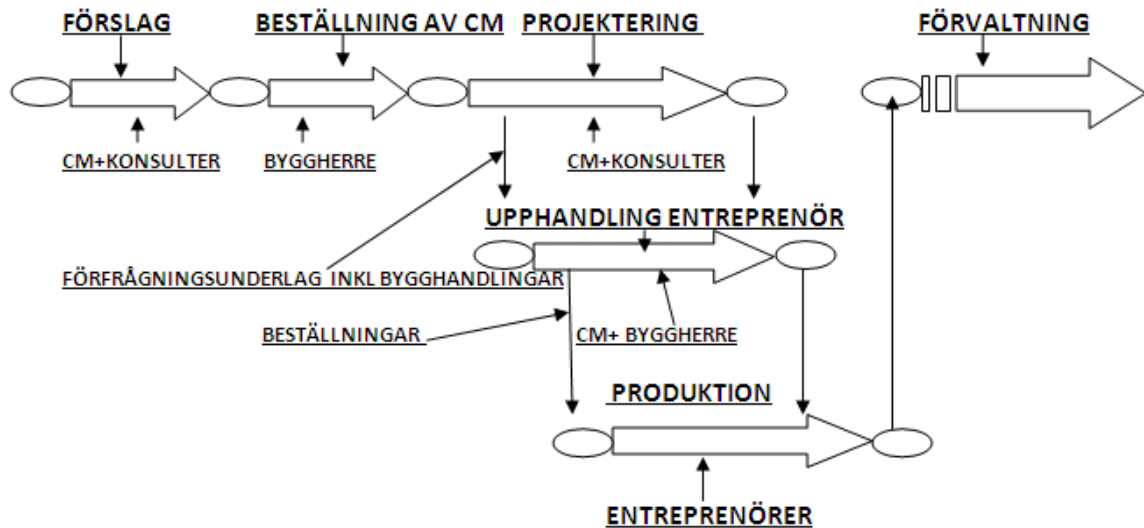


Figur 2.7 Totalentreprenad

Construction Management (CM)

Construction Management kan liknas vid delad entreprenad där ett byggledningsföretag (CM-företag) i samarbete med beställaren genomför dennes byggprojekt. CM-företaget låter arkitekt och konsulter utarbeta förslag på byggnadsverk, utför projektering, handlar upp entreprenörer och samordnar på arbetsplatsen. Byggherren har full insyn genom hela projektets gång.

CONSTRUCTION MANAGEMENT (CM)



Figur 2.6 Construction Management

2.5 Regelverk

Bostadsbyggandet regleras av lagar, förordningar och föreskrifter. Lagar beslutas av riksdagen och kan kompletteras med förordningar. Förordningar kan innehålla förtydliganden, tillägg och direktiv till en lag. Föreskrifter, hur lagen ska tillämpas, utfärdas av förvaltningsmyndigheter och registreras hos dessa som författningar. Författningar gäller alltså som lagar och måste följas. Central myndighet för byggande och samhällsplanering är Boverket.

De viktigaste lagar och förordningar som styr byggandet är⁸:

- Plan- och bygglagen
- Plan- och byggförordningen
- Lagen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m.
- Förordningen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m.
- Miljöbalken

Utifrån ovanstående lagar och förordningar utfärdar Boverket föreskrifter i Boverkets byggregler, *BBR*, och Boverkets konstruktionsregler, *BKR*, vilka är delar av Boverkets författningssamling, *BFS*.

Det ges då och då ut nya författningar medan andra ändras eller tas bort. Vid förändringar förekommer i regel en övergångsperiod då det går att tillämpa de

⁸ Boverket (2008): *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. www.boverket.se, 2010-04-30.

gamla såväl som de nya bestämmelserna. Det är därför av största vikt att alla som medverkar vid ett byggprojekt känner till vilka bestämmelser som gäller.

BKR

Boverkets konstruktionsregler innehåller regler för utformning och dimensionering av den bärande konstruktionen. 1 januari 2011 kommer BKR att avvecklas och ersättas av eurokoder, det vill säga europeiska konstruktionsstandarder. BKR kommer inte att bearbetas vidare i den här studien.

BBR

Boverkets byggregler innehåller funktionskrav på byggnader. I en del fall förekommer allmänna råd om hur föreskriften kan tillämpas. BBR omfattar följande nio huvudavsnitt⁹:

1. Inledning
2. Allmänna regler för byggnader
3. Tillgänglighet, bostadsutformning, rumshöjd och driftutrymmen
4. Bärförmåga, stadga och beständighet
5. Brandskydd
6. Hygien, hälsa och miljö
7. Bullerskydd
8. Säkerhet vid användning
9. Energihushållning

AMA

AMA står för Allmän Material- och Arbetsbeskrivning och ges ut av Svensk Byggtjänst. Den är en regelsamling som innehåller beskrivningar och tekniska lösningar som används vid i stort sett alla byggprojekt. AMA finns för områdena:

- AF (Administrativa föreskrifter)
- Anläggning
- Hus
- VVS
- El
- Kyl

Hus-AMA beskriver arbetsutförandet vid husbyggnad och tillämpas vid ett projekt om det anges i AF för projektet. AMA kommer inte att bearbetas vidare i den här studien.

⁹ Boverket (2008): *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. www.boverket.se, 2010-04-30.

2.5.1 Energihushållning¹⁰

BBR har genomgått stora förändringar sedan författningssamlingen gavs ut första gången 1993. Boverket gav ut en komplett författningssamling med samtliga tillägg författningar 2008, och har redan fått ett omfattande tillägg i avsnittet om energihushållning. De största förändringarna i avsnittet sedan grundförfattningen är:

1. Tidigare krav på en byggnads energiförluster har ändrats till krav på till byggnaden tillförd energi per uppvärmd golvarea, vilket innebär att tillförd energi från exempelvis solfångare kan tillgodoräknas.
2. Kraven för eluppvärmda byggnader har skärpts samt maximalt installerad eleffekt för uppvärmning av dessa har införts.
3. Sverige har delats in i klimatzoner och därefter specificerat krav på energiförbrukning beroende på lokala förutsättningar.
4. Kravet på klimatskalets täthet är inte längre kvantifierat.
5. Krav har införts på energideklaration vid nybyggnation och försäljning av bostäder.

För att en bostadsbyggnad ska uppfylla Boverkets byggregler gäller förutsättningarna enligt Tabell 2.1a) och b) nedan.

Klimatzon	I	II	III
Specifik energianvändning [kWh/m ² A _{temp} år]	150	130	110
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [W/m ² K]	0,50	0,50	0,50

Tabell 2.1a Bostäder som har annat uppvärmningssystem än elvärme¹¹.

¹⁰ Boverket (2008): *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. www.boverket.se, 2010-04-30.

¹¹ Boverket (2009), *Regelsamling för byggande, BBR 2008 Supplement februari 2009, 9 Energihushållning*. www.boverket.se, 2010-04-30.

Klimatzon	I	II	III
Specifik energianvändning [kWh/m ² A _{temp} år]	95	75	55
Eleffekt för uppvärmning [kW]	5,5	5,0	4,5
+ tillägg då A _{temp} är större än 130 m ²	0,035(A _{temp} -130)	0,030(A _{temp} -130)	0,025(A _{temp} -130)
Genomsnittlig Värme genomgångskoefficient [W/m ² K]	0,40	0,40	0,40

Tabell 2.1b Bostäder med elvärme¹².

¹² Boverket (2009), *Regelsamling för byggande, BBR 2008 Supplement februari 2009, 9 Energihushållning*. www.boverket.se, 2010-04-30.

3 Teori

Kapitlet behandlar beräkningsteori och begrepp inom områdena energi- och effektbehov för byggnader samt investeringsbedömning.

3.1 Energibalans¹³

Då utomhustemperaturen är kallare än rumsluften inomhus kommer värme på olika sätt lämna byggnaden. För att önskat inomhusklimat ska erhållas krävs att värme på något sätt åter tillförs.

En byggnads energibalans utgörs, enligt Ekvation 3.1, av att samma mängd energi som lämnar byggnaden måste tillföras.

$$E_{\text{använd}} = E_{\text{tillförd}} \quad [\text{Wh}] \quad (3.1)$$

Ekvation 3.1 Energibalans

Värmeenergiförlusterna $E_{\text{använd}}$ sker över tiden och är olika stora vid olika tidpunkter. Det totala behovet av tillförd energi $E_{\text{tillförd}}$ är enligt Ekvation 3.2 produkten av värmeeffekten P och den tid som den verkar.

$$E_{\text{tillförd}} = \int P dt \quad [\text{Wh}] \quad (3.2)$$

Ekvation 3.2 Värmeenergibehov

Värmeeffektbehovet P beräknas enligt Ekvation 3.3 och är beroende av den temperaturskillnad som råder.

$$P = Q_{\text{tot}} \cdot (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) - P_{\text{gratis}} \quad [\text{W}] \quad (3.3)$$

där

Q_{tot} = total specifik värmeeffektörlust [W/°C]

T_{inne} = inomhustemperatur [°C]

T_{ute} = utomhustemperatur [°C]

P_{gratis} = gratisvärme [W]

Ekvation 3.3 Värmeeffektbehov

¹³ Jensen, Lars (2001): *Värmebehovsberäkning, Installationsteknik FK*. Kursmaterial. Lund.

3.1.1 Transmissionsförluster

Med transmissionsförluster menas värmeförluster genom byggnadens klimatskal som väggar, tak och fönster. Där konstruktionen lokalt har sämre värmeisolerande förmåga uppstår köldbryggor, som också räknas till transmissionsförlusterna. De totala transmissionsförlusterna Q_t beräknas enligt Ekvation 3.4.

Köldbryggor kan vara linjära eller punktformiga. Linjära köldbryggor uppstår exempelvis där en yttervägg ansluter till grund, tak eller balkonger på grund av tvådimensionella värmeflöden. Punktformiga köldbryggor uppstår på grund av tredimensionellt värmeflöde som exempelvis ytterväggshörn. De totala värmeförlusterna kan utgöras till en stor del av köldbryggor, vilka måste beaktas vid en byggnads energibalans.

$$Q_t = \sum_i U_i \cdot A_i + Q_k \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (3.4)$$

där

U_i = värmegenomgångskoefficienten för byggnadsdelen i $[\text{W}/\text{m}^2\text{C}]$

A_i = ytan för byggnadsdelen i $[\text{m}^2]$

Q_k = specifik förlust genom köldbryggor $[\text{W}/^\circ\text{C}]$

Ekvation 3.4 Specifik transmissionsförlust

Värmeförlusterna genom köldbryggor Q_k beräknas enligt Ekvation 3.5 där värmegenomgångskoefficienterna för de punktformiga och linjära köldbryggorna behöver vara kända. Dessa värden fås normalt från beräkningsprogram.

$$Q_k = \sum_i l_i \cdot \psi_i + \sum_j \chi_j \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (3.5)$$

där

l_i längden av den linjära köldbryggan i $[\text{m}]$

ψ_i värmegenomgångskoefficienten för den linjära köldbryggan i $[\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}]$

χ_j värmegenomgångskoefficienten för den punktformiga köldbryggan j $[\text{W}/^\circ\text{C}]$

Ekvation 3.5 Specifik förlust genom köldbryggor

Det är i en byggnadsdel de ingående materialens värmemotstånd R som bestämmer hur stora värmeförlusterna genom byggnadsdelen blir. Denna storhet kallas värmegenomgångskoefficient eller U -värde och är mängden

energi som förloras per ytenhet och temperaturgrad. U -värdet beräknas enligt Ekvation 3.7.

Byggnadsmaterialens värmemotstånd beräknas, enligt Ekvation 3.6, utifrån materialets tjocklek och värmekonduktivitet, λ . Utöver de enskilda materialens värmemotstånd tillkommer ett inre och ett yttre värmeövergångsmotstånd som betecknas R_{si} respektive R_{se} .

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{°C/W}] \quad (3.6)$$

där

$$d = \text{det enskilda materialets tjocklek} \quad [\text{m}]$$

$$\lambda = \text{det enskilda materialets värmekonduktivitet} \quad [\text{W/m}^2\text{°C}]$$

Ekvation 3.6 *Värmeövergångsmotståndstalet*

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2\text{°C}] \quad (3.7)$$

där

$$R_{si} = \text{inre värmeövergångsmotstånd} \quad [\text{m}^2\text{°C/W}]$$

$$R_1 - R_n = \text{värmeövergångsmotstånd för skikten 1 till n} \quad [\text{m}^2\text{°C/W}]$$

$$R_{se} = \text{yttre värmeövergångsmotstånd} \quad [\text{m}^2\text{°C/W}]$$

Ekvation 3.7 *Värmegenomgångskoefficient*

3.1.2 Ventilationsförluster

Ventilationsförlusterna Q_v utgörs av både styrd och okontrollerad ventilation. Kontrollerad ventilation avser luftväxling genom byggnadens ventilationssystem och kan beräknas med Ekvation 3.8.

$$Q_v = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (1 - v) \cdot d \quad [\text{W/°C}] \quad (3.8)$$

där

$$q_v = \text{kontrollerat ventilationsflöde} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$\rho = \text{luftens densitet} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$c_p = \text{luftens värmekapacitet} \quad [\text{J/kg°C}]$$

$$v = \text{återvinningens verkningsgrad} \quad [-]$$

$$d = \text{relativ drifttid} \quad [-]$$

Ekvation 3.8 *Specifik förlust genom ventilation*

Den okontrollerade ventilationen Q_{ov} beror på läckage genom otätheter i byggnadens klimatskal och energiförlusterna sker, enligt Ekvation 3.9 då den kalla luften måste värmas.

$$Q_{ov} = q_{ov} \cdot \rho \cdot c_p \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (3.9)$$

där

$$q_{ov} = \text{okontrollerat ventilationsflöde} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Ekvation 3.9 Specifik förlust genom okontrollerad ventilation

3.1.3 Övriga energiförluster

Utöver energiförluster genom transmission och ventilation tillkommer för en byggnad fastighets- och hushållsel samt spillvattenförluster. Av den köpta elenergin blir en del gratisvärme. Energiförlusterna genom spillvatten avser den energi som tillförs för uppvärmning av tappvarmvatten.

3.1.4 Gratisvärmertilskott

Med gratisvärme P_{gratis} menas värmertilskott från processer som inte i första hand är avsedda för uppvärmning. Gratisvärmertilskott, även kallat tillskottsvärme, avges från bland annat människor, belysning, maskiner och solinstrålning oavsett vilket uppvärmningsbehov som föreligger. Gratisvärmerna från exempelvis belysning härstammar från energi i form av köpt hushållsel medan värmen från människor och solinstrålning är just gratis.

Sammanfattningsvis kan byggnadens totala effektbehov beskrivas enligt Ekvation 3.10 där samtliga värmetransporter i byggnaden redovisas.

$$P = (Q_t + Q_{ov}) \cdot (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) + Q_{ov} \cdot (T_{\text{inne}} - T_{\text{fyll}}) + P_{\text{spillvatten}} - P_{\text{gratis}} \quad [\text{W}] \quad (3.10)$$

Ekvation 3.10 Total effektbehov

Gränstemperatur

Med en byggnads gränstemperatur $T_{\text{gräns}}$ menas vid vilken utomhustemperatur det inte krävs någon aktiv uppvärmning. Då gränstemperaturen är nådd utgörs hela byggnadens uppvärmningsbehov av gratisvärmertilskottet. Gränstemperaturen beräknas enligt Ekvation 3.11.

$$T_{\text{gräns}} = T_{\text{inne}} - \frac{P_{\text{gratis}}}{Q_{\text{tot}}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.11)$$

Ekvation 3.11 Gränstemperatur

Med gränstemperaturen känd kan ekvationen för värmeeffektbehovet skrivas om enligt Ekvation 3.12.

$$P = Q_{\text{tot}} \cdot (T_{\text{gräns}} - T_{\text{ute}}) \quad [\text{W}] \quad (3.12)$$

Ekvation 3.12 Värmeeffektbehov med avseende på gränstemperaturen

Även värmeenergibehovet kan formuleras om enligt Ekvation 3.13. På samma sätt kan energiförluster behandlas med motsvarande omskrivning.

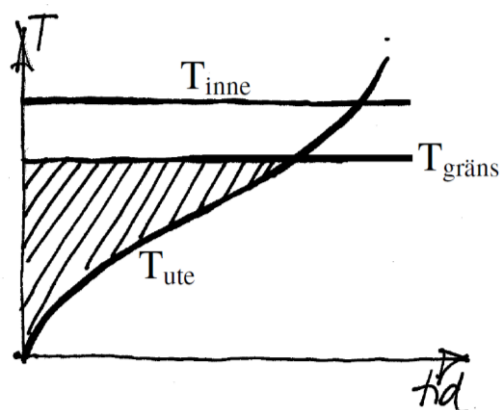
$$E_{\text{tillförd}} = Q_{\text{tot}} \int (T_{\text{gräns}} - T_{\text{ute}}) dt \quad [\text{Wh}] \quad (3.13)$$

Ekvation 3.13 Värmeenergibehov med avseende på gränstemperaturen

3.1.5 Gradtimmar

Gränstemperaturen är beroende av utformning, tekniska lösningar och gratisvärmetilskottet för den aktuella byggnaden. Vilket uppvärmningsbehov byggnaden har är också beroende av lokala klimatförutsättningar. En längre eldningssäsong gör att utomhustemperaturen överskrider gränstemperaturen i mindre utsträckning.

Ett varaktighetsdiagram för värmebehovsberäkning, se figur 3.1, visar utomhustemperaturen för aktuell ort som funktion av tiden.



Figur 3.1 Varaktighetsdiagram för värmebehovsberäkning. Inomhustemperatur, utomhustemperatur och gränstemperatur som funktion av tiden.¹⁴

Arean mellan byggnadens gränstemperatur och utomhustemperaturen får enheten °Ch och kallas gradtimmar G_t . Antalet gradtimmar utgör det specifika värmeenergibehovet för byggnaden och är, enligt Ekvation 3.14, summan av temperaturskillnaden mellan inom- och utomhusluften multiplicerat med tiden då skillnaden råder.

$$G_t = \int_{\text{året}} (T_{\text{gräns}} - T_{\text{ute}}) dt \quad [\text{°Ch}] \quad (3.14)$$

Ekvation 3.14 Gradtimmar

Värmeenergibehovet för byggnaden kan med hjälp av antalet gradtimmar beräknas enligt Ekvation 3.15.

$$E = Q_{\text{tot}} \cdot G_t \quad [\text{Wh}] \quad (3.15)$$

Ekvation 3.15 Värmeenergibehov med avseende på gradtimmar

3.2 Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient

I Boverkets byggregler, Avsnitt 9 Energihushållning, ställs krav på byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient. Då regelsamlingen har förnyats har de reglerna ändrats, varför två olika beräkningssätt redovisas här.

¹⁴ Jensen, Lars (2001): *Värmebehovsberäkning, Installationsteknik FK*. Kursmaterial. Lund. s 7.

3.2.1 BBR7

Energiushållningskraven i den sjunde upplagan av BBR uppfylls om byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient U_m inte överstiger högsta tillåtna genomsnittliga värmegenomgångskoefficient $U_{m,krav}$, vilken för bostäder beräknas enligt Ekvation 3.16.

$$U_{m,krav} = 0,18 + 0,95 \frac{A_f}{A_{om}} \quad [\text{W/m}^2\text{°C}] \quad (3.16)$$

Arean A_f får därvid medräknas med högst $0,18 A_{upp}$.

Beteckningar:

A_f	sammanlagd area för fönster, dörrar portar o.d., beräknat med karmytternått	$[\text{m}^2]$
A_{om}	sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft. med omslutande byggnadsdel avses sådan byggnadsdel som begränsar uppvärmda delar av bostäder eller lokaler mot det fria, mot mark eller mot delvis uppvärmt eller icke uppvärmt utrymme.	$[\text{m}^2]$
A_{upp}	uppvärmd bruksarea	$[\text{m}^2]$

Ekvation 3.16 Högsta tillåtna värmegenomgångskoefficient enligt BBR 7¹⁵

En byggnads U_m beräknas enligt Ekvation 3.17a) och b).

$$\text{a) } U_m = \sum_{i=1}^n \frac{U_i \cdot A_i}{A_{om}} \quad [\text{W/m}^2\text{°C}] \quad (3.17a)$$

För varje omslutande byggnadsdels yta mot uppvärmd inneluft beräknas därvid värmegenomgångskoefficienten, U_i , enligt nedanstående formel:

$$\text{b) } U_i = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot (U_p - \alpha_3) \quad [\text{W/m}^2\text{°C}] \quad (3.17b)$$

Beteckningar:

U_p	praktiskt tillämpbar värmegenomgångskoefficient för en byggnadsdel	$[\text{W/m}^2\text{°C}]$
A_i	arean för byggnadsdelens yta mot uppvärmd	$[\text{m}^2]$

¹⁵ Boverket (1998): Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 1998:38. www.boverket.se, 2010-04-30.

	innetluft. För fönster, dörrar, portar o.d. beräknas A_i med karmyttermått.	
α_1	reduktionsfaktor avseende markens värmelagring	[-]
α_2	temperaturfaktor för korrigering till innetemperaturen + 20°C	[-]
α_3	avdrag från fönsters mörker- U -värde med hänsyn till solinstrålningen	[-]

Ekvation 3.17 *Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient enligt BBR7¹⁶*

Observera att i BBR7 tillämpas *praktiskt tillämpbar* värmegenomgångskoefficient vilket är ett korrigerat värde med avseende på köldbryggor, ofullkomligheter vid montering, nederbörd och vind.¹⁷

3.2.2 BBR16

De nyare kraven gällande energihushållning, som trädde i kraft i och med BBR16 (BFS 2008:20), tar bland annat hänsyn till byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient U_m , som beräknas enligt Ekvation 3.18.

$$U_m = \frac{(\sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^m l_k \psi_k + \sum_{j=1}^p \chi_j)}{A_{om}} \quad [\text{W/m}^2\text{°C}] \quad (3.18)$$

Ekvation 3.18 *Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar och köldbryggor¹⁸*

Om kraven på U_m uppfylls beror på uppvärmningssystem och i vilken klimatzon byggnaden befinner sig. Dessutom ställs det andra energihushållningskrav utöver U_m .

3.3 Beräkningsprogram

Kapitlet beskriver de beräkningsprogram som använts i examensarbetet.

¹⁶ Boverket (1998): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 1998:38*. www.boverket.se, 2010-04-30.

¹⁷ Ibid.

¹⁸ Boverket (2008): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 2008:20*. www.boverket.se, 2010-04-30.

3.3.1 VIP-Energy¹⁹

VIP-Energy, i fortsättningen kallat VIP, är ett validerat beräkningsprogram för byggnaders energibehov utvecklat av Structural Design Software in Europe AB, vars olika mjukvaror har över 10 000 användare och 1 000 sålda licenser i 20 länder världen över²⁰.

Energibehovsberäkningarna i VIP sker genom simuleringar timme för timme under en tidsperiod, vanligtvis ett år, och redovisas som energibehov för uppvärmning under önskat tidsintervall, exempelvis per månad. Programmet beräknar samtliga delenergiflöden utifrån faktorer som är kända eller mätbara, vilka emellanåt kräver stor noggrannhet hos användaren för ett slutresultat som efterliknar verkligheten. I regel krävs att information hämtas från materialtillverkare och i vissa fall bör dessutom andra beräkningsprogram användas för att ge korrekt indata till VIP. Exempel på sådana indata är *U*-värden för byggnadsdelar och köldbryggor trots att dessa kan korrigeras i programmet.

På grund av begränsningar i programmet bör andra data behandlas först efter VIP:s simuleringar. Ett exempel på sådan är byggnadens energibehov för tappvarmvatten eftersom programmets simuleringar visat sig variera stort från verkligheten²¹.

Det som talar till VIP:s fördel är den mängd data som behandlas. En användbar funktion i VIP gör att en byggnad kan delas upp i flera zoner som kan beräknas separat eller sammankopplas, och då få fram den summerade energiförbrukningen för ett helt projekt. Följande parametrar behandlas i energiflödessimuleringarna.

Utomhusklimat

Yttre påverkan beror på lokala förutsättningar som utomhustemperatur, skuggning och hur utsatt för vind byggnaden är belägen. Utifrån medföljande klimatfiler och användarspecificerade reduktionsfaktorer beroende på omgivning och material behandlas vindpåverkan, solinstrålning, temperatur och fuktighet.

Installationer

Inre påverkan på byggnaden innefattar installerad värmepump, kylmaskin, solfångare, golvvärme och ventilation. Användaren anger högsta och lägsta tillåtna inomhustemperatur, drifttider och brukarvanor och specifikationer på ventilationsaggregat och värmepumpar.

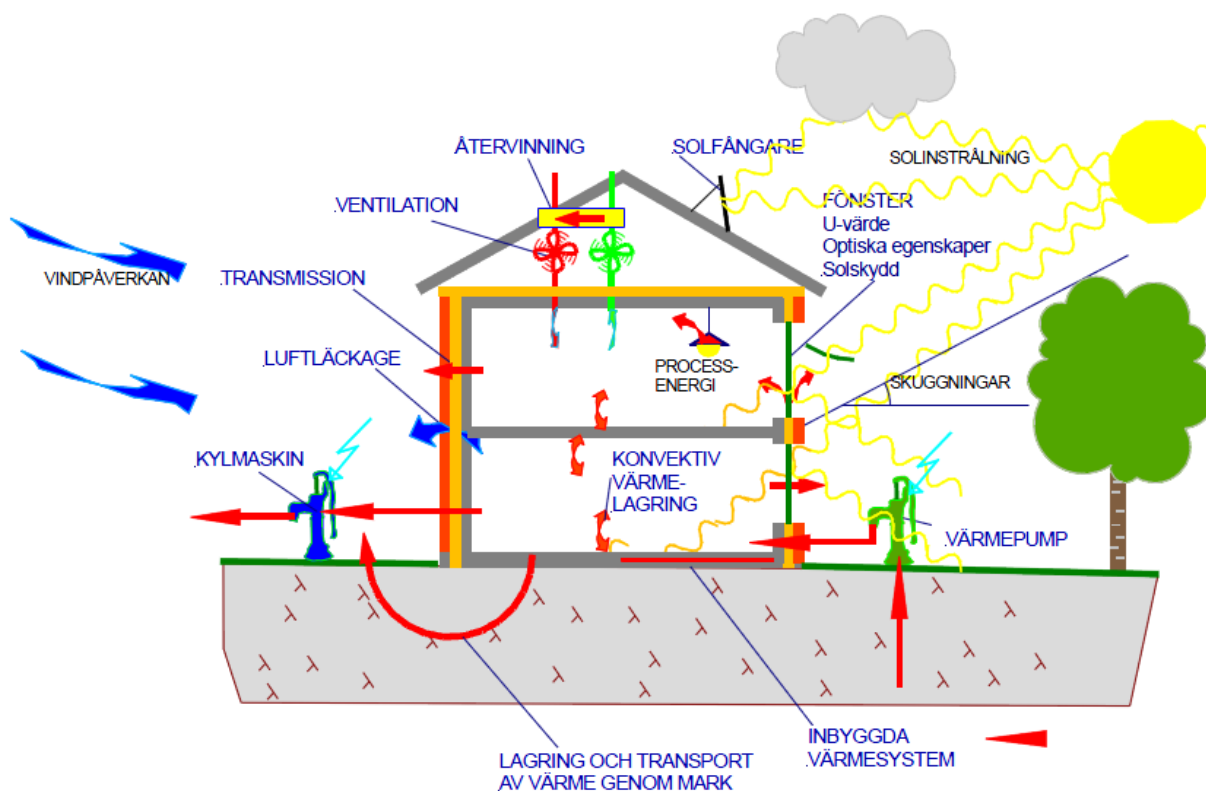
¹⁹ Structural Design Software (2009): *VIP Energy*. Manual version 1.0.0 svensk.

²⁰ Structural Design Software (2010): *Company Profile*. www.strusoft.com, 2010-05-04.

²¹ Andersson, Marika, Bengt Dahlgren AB (2010): *Personlig kommunikation*, 2010-04-27.

Byggnadsfysik

Alla material och byggnadsdelars areor anges och placeras i rätt väderstreck eller som innerväggar och mellanbjälklag. I programmet används antingen fördefinierade material eller så skapas nya där variablerna värmekonduktivitet λ , densitet ρ och värmekapacitet c_p anges. För fönster, dörrar och ventiler anges U -värde, glasandel, solavskärmning och luftflöden.



Figur 3.2 Energiflöden som behandlas i VIP-Energy²²

Resultat

Redovisning av resultatet sker grafiskt i diagram eller i tabeller, som enskilda timvärden eller summerat per dygn, vecka, månad eller år. Resultatet kan exporteras till en datafil för vidare bearbetning i annat program, exempelvis Microsoft Excel.

Resultatet jämförs också med kraven för energihushållning enligt BBR10, BBR12 och BBR16.

²² Structural Design Software (2009): *VIP Energy*. Manual version 1.0.0 svensk.

3.3.2 UNorm²³

UNorm är ett gratisprogram framtaget av GAD Byggnadsfysik med den senast släppta versionen 2010-1. Programmet beräknar köldbryggor genom att jämföra värmeflödet för ett beräkningsfall, där köldbryggan ingår, och ett referensfall vilken U -värdet är beräknat på.

I Sverige beräknar man värmeförlusten genom köldbryggor på den yta som är synlig inifrån, medan man i andra länder kan räkna på den utvändiga ytan. UNorm är utvecklat med förutsättningen att invändig yta ska användas.

Resultat

Resultatet för respektive köldbrygga ges i form av ett ψ -värde vilket i efterhand multipliceras med längden på köldbryggan. Även grafiska redovisningar av resultatet fås på värmeflöde och temperaturdifferenser.

3.4 Investeringsbedömning

Målet med att investera kapital i ett projekt är naturligtvis att få tillbaka minst det investerade kapitalet. En vanlig modell för investeringsbedömning är LCC, *life cycle cost*, där tanken är att alla kostnader som kommer påverkas eller uppstå under projektets livscykel tas med i beräkningen. Exempel på sådana kostnader är investering, inköp, uppförande, drift- och underhållskostnad. Syftet med att genomföra en investeringsbedömning för ett projekt är att bestämma lönsamheten av investeringen. Den totala livslängdskostnaden säger, förutom *om* en investering är lönsam, också *hur* lönsam den är. Vanliga metoder för LCC är kapitalvärdesmetoden eller nuvärdesmetoden, internräntemetoden och annuitetsmetoden.

3.4.1 Pay back-metoden²⁴

En betydligt enklare variant av investeringsbedömning är pay back-metoden. Som namnet antyder anger metoden enbart hur lång tid det tar att få tillbaka det investerade kapitalet i form av årliga överskott, se Ekvation 3.19. Den beräknade pay back-tiden jämförs med den tid man på förhand bestämt att det högst bör ta innan investeringen är intjänad.

Fördelen med pay back-metoden är att den är enkel att tillämpa, och används också relativt mycket. Den kan lämpligtvis användas i ett tidigt skede för att sedan göra en noggrannare kalkyl om återbetalningskravet uppfylls. Nackdelen med metoden är att ingen kalkylränta tas med i beräkningen. Efter

²³ GAD Byggnadsfysik (2010): *UNorm*. www.gadbyggnadsfysik.se, 2010-04-12.

²⁴ Nilson, Sven-Åke och Persson, Ingvar (1999): *Investeringsbedömning*. Liber AB, Malmö. ISBN 978-91-04393-4.

återbetalningstiden tas det ingen hänsyn till inbetalningsöverskotten och det är svårt att få ett mått på investeringens lönsamhet.

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{G}{a} \quad [\text{år}] \quad (3.19)$$

där:

$$G = \text{Grundinvestering} \quad [\text{kr}]$$

$$a = \text{årligt inbetalningsöverskott} \quad [\text{kr}/\text{år}]$$

Ekvation 3.19 Pay back-metoden

Pay back-metoden tar i sin grundform ingen hänsyn till ränta men finns också i en utvecklad form där räntan på det investerade kapitalet beaktas, se Ekvation 3.20.

$$\frac{G}{a} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad [\text{år}] \quad (3.20)$$

där:

$$i = \text{ränta på investerat kapital} \quad [-]$$

$$n = \text{ekonomisk livslängd} \quad [\text{år}]$$

Ekvation 3.20 Pay back-metoden med hänsyn till kalkylränta

3.4.2 Kapitalvärdesmetoden²⁵

Kapitalvärdesmetoden kallas också nuvärdesmetoden och innebär att alla in- och utbetalningar beaktas vid investeringstillfället. Alla framtida in- och utbetalningar räknas om till nuvärde, vilket är lägre än vid den tidpunkt då inbetalningen sker. Metoden tar hänsyn till kalkylränta, inflation och prispförändringar. Resultatet ges som kapitalvärde, vilket är ett mått på hur mycket investeringen är värd utöver kalkylräntan enligt Ekvation 3.21.

$$\text{Kapitalvärde} = -G + a \sum_i \text{nuv}_i^n + S \cdot \text{nuv}_i^n = -G + a \frac{(1+i)^n - 1}{i - (1+i)^n} + \frac{S}{(1+i)^n} \quad [\text{kr}]$$

där:

$$\text{nuv} = \text{nuvärde av besparing} \quad [\text{kr}]$$

$$S = \text{restvärde} \quad [\text{kr}]$$

$$i = \text{kalkylränta} \quad [-]$$

²⁵ Nilson, Sven-Åke och Persson, Ingvar (1999): *Investeringsbedömning*. Liber AB, Malmö. ISBN 978-91-04393-4.

n = teknisk livslängd [år]

Ekvation 3.21 Kapitalvärdesmetoden

Nuvärdet, nuv , av de årliga besparingarna beräknas enligt Ekvation 3.22.

$$nuv = \frac{\$n}{(1 + i_r)^n} \quad [\text{kr}] \quad (3.22)$$

där:

n = aktuellt år [-]
 $\$n$ = pris år n [kr]
 i_r = real kalkylränta [-]

Ekvation 3.22 Nuvärde

3.4.3 Internräntemetoden²⁶

Med internräntemetoden beräknas investeringens procentuella avkastning, kallad internräntan. Om denna är högre än den på förhand bestämda kalkylräntan är investeringen lönsam. Kapitalvärdet beräknas med internräntemetoden enligt Ekvation 3.23 och den procentuella avkastningen enligt Ekvation 3.24.

$$\text{Kapitalvärde} = -G + a \sum nuv_{i\%}^{n \text{ år}} \quad [\text{kr}] \quad (3.23)$$

där:

n = ekonomisk livslängd [år]
 i = kalkylränta [-]

Ekvation 3.23 Kapitalvärde enligt internräntemetoden

$$\frac{G}{a} = \sum nuv_{r\%}^{n \text{ år}} \quad [-] \quad (3.24)$$

där:

n = ekonomisk livslängd [år]
 r = internränta [-]

Ekvation 3.24 Procentuell avkastning enligt internräntemetoden

²⁶ Nilson, Sven-Åke och Persson, Ingvar (1999): *Investeringsbedömning*. Liber AB, Malmö. ISBN 978-91-04393-4.

3.4.4 Annuitetsmetoden²⁷

Med annuitetsmetoden beräknas det årliga överskottet över den ekonomiska livslängden. Överskottet blir lika stort varje år och investeringen är lönsam om detta är större än noll. Kapitalkostnad och årligt överskott enligt annuitetsmetoden beräknas enligt Ekvation 3.25 vilken ur teoretisk synpunkt är densamma som kapitalvärdesmetoden. En investering som är lönsam enligt kapitalvärdesmetoden är också lönsam enligt annuitetsmetoden, vid samma ekonomiska livslängd.

$$\text{Kapitalkostnad} = (G - S \frac{1}{(1+i)^n}) \cdot ann_{i\%}^{n \text{ år}} \quad [\text{kr}] \quad (3.25)$$

$$\text{Årligt överskott} = a - (G - S \frac{1}{(1+i)^n}) - ann_{i\%}^{n \text{ år}} \quad [\text{kr}]$$

där:

a = Årligt inbetalningsöverskott [kr]

n = ekonomisk livslängd [år]

S = restvärde [kr]

i = kalkylränta [-]

Ekvation 3.25 Annuitetsmetoden

²⁷ Nilson, Sven-Åke och Persson, Ingvar (1999): *Investeringsbedömning*. Liber AB, Malmö. ISBN 978-91-04393-4.

4 Förutsättningar

4.1 LKF

Lunds Kommuns Fastighets AB, i fortsättningen kallat LKF, är ett helägt kommunalt bolag som äger och förvaltar hyreslägenheter, äldreboenden och affärslokaler. Bostadsbeståndet består av ca 8 700 lägenheter i Lund, Södra Sandby, Veberöd, Genarp och Revinge.

4.1.1 Miljöarbete

LKF är ett företag som ligger långt fram i sitt miljöarbete och blev 2008 för tredje gången miljöcertifierade av Lunds kommun.

Lagen om genomförande av energideklARATIONER för byggnader innebär att samtliga byggnader i vilka energi används för att påverka inomhusklimatet ska kartläggas och förslag på energibesparande åtgärder för byggnaden ska tas fram. Statistik från Boverket visar att endast 52 % av de byggnader i Lunds kommun som omfattas av lagen var energideklarerade i april 2009²⁸. LKF anlätade hösten 2007 en konsult för att genomföra energideklARATIONER åt företaget, vars hela bostadsbestånd nu är kartlagt²⁹.

Det finns en rad energibesparande åtgärder företaget har gjort som en del i sitt miljöarbete.

Individuell mätning av värme och tappvarmvatten

Att ge hyresgäster möjligheten att påverka sin boendekostnad i hyreslägenheter genom att sänka inomhustemperaturen kan minska uppvärmningsbehovet med 10-20%³⁰. Varmvattenbesparingen kan med individuell mätning bli 15-30%³¹.

Både debitering för temperatur i lägenheterna, *komfortvärme*, och tillförd mängd värme och varmvatten, *individuell värmemängdsmätning*, tillämpas i LKF:s bostadsbestånd. Komfortvärmeavläsningen innebär en högre, eller lägre, hyra då inomhustemperaturen överstiger, respektive understiger, den temperatur som ingår i hyran, vanligtvis 21°C. Avläsning sker via givare i sovrum och vardagsrum under perioden 1 oktober till och med 30 april. De 16 högsta temperaturavläsningarna per dygn räknas bort för att aktiviteter som

²⁸ Boverket (2010): *Energideklarerade byggnader per kommun exklusive egna hem (2010-03-31)*. www.boverket.se, 2010-05-07.

²⁹ Lunds Kommuns Fastighets AB (2009): *Årsredovisning 2008*.

³⁰ Berndtsson, Lennart (2003): *Individuell värmemätning i svenska flerbostadshus – en lägesrapport*. Energimyndigheten Projekt P11835-2.

³¹ Ibid.

höjer temperaturen inte ska påverka uppvärmningskostnaderna. Dessutom sker ingen debitering under den tiden då utomhustemperaturen är över 12°C.

Individuell värmemängdsmätning innebär att en preliminär avgift för använd värme och varmvatten debiteras varje månad och faktisk avläsning och korrigerings sker en gång om året.

Standarder vid projektering

Utöver Boverkets byggregler ställer LKF vid nybyggnation standardkrav på anlätade projektörer och entreprenörer. Företaget har under hela 2000-talet utgått från företagets interna dokument *LKFs miljö- och kvalitetskrav, standard vid bygg- och markprojektering* innehållande ställda krav inom områdena:

- Miljö
- Trygghet Säkerhet
- Tillgänglighet
- Lägenheter
- Tvättstuga
- Cykelrum
- Källsorteringsutrymmen
- Garage
- Fasad
- Stomme
- Stomkompletteringar
- Markprojektering

LKF ställer, till skillnad från Boverket, energikrav på enskilda byggnadsdelar vid projektering. Kraven ställs i form av största tillåtna U -värde för fönster, dörrar, tak, väggar och bjälklag samt isoleringstjocklek för grunden.

I och med regeländringar i Boverkets byggregler har även LKF:s standardkrav uppdaterats. Detta har gjorts vid tre tillfällen under 2000-talet och inneburit högre ställda krav vid projektering. År 2000 byggdes med stor framgång lågenergihuset Jöns Ols, då de enda dokumenterade energirelaterade standardkraven LKF hade var att fönster fick som högst ha U -värdet 1,3 W/m² K, samt att det var minst 100 mm isolering i grundkonstruktionen. Lågenergiprojektet visade snarare att företaget hade en stor vilja att skapa ett miljövänligt hus, än att man med minsta möjliga marginal skulle följa ställda krav från interna dokument. De interna kraven var med dagens mått relativt lågt ställda, i synnerhet för ett företag som vill framstå som miljövänligt. LKF har i senare interna dokument skärpt sina standardkrav gällande energihushållning, vilka fortfarande avser enskilda byggnadsdelar.

De standardkrav som under 2000-talet ställts internt av LKF är inte juridiskt bindande utan ett från företaget minimalt önskat resultat. De regler som gäller vid nybyggnation hämtas från kapitlet Energihushållning i BBR. I Tabell 4.1 redovisas omfattningen och ändringar av LKF:s interna krav och samtidigt gällande regler enligt BBR.

<i>Daterat</i>	<i>LKF</i> ³²	<i>Samling</i>	<i>Boverket*</i>
	<i>Interna krav</i>		<i>Energikrav</i>
1999-10-01	$d_{\text{iso,grund}} \geq 100$ $U_f \leq 1,3$	BBR7	$U_m < U_{m,\text{krav}}$
2006-04-28	$d_{\text{iso,grund}} \geq 200$ $U_f \leq 1,3$ $U_{f,\text{glas}} \leq 1,0$ $U_{\text{vägg}} \leq 0,2$ $U_{\text{tak}} \leq 0,15$	BBR14	110 kWh/m ² år $U_m < 0,50$
2009-03-20	$d_{\text{iso,grund}} \geq 200$ $d_{\text{bjälklag,kant}} \geq 100$ $U_f \leq 1,3$ $U_{f,\text{glas}} \leq 1,0$ $U_{\text{vägg}} \leq 0,2$ $U_{\text{tak}} \leq 0,15$ $U_{\text{dörr}} \leq 1,0$	BBR16	110 kWh/m ² år $U_m < 0,50$

*Energikraven enligt BBR gäller klimatzon söder/klimatzon III och bostäder som har annat uppvärmningssystem än elvärme.

där:

$d_{\text{iso,grund}}$ = Isoleringstjocklek grund	[mm]
$d_{\text{bjälklag,kant}}$ = Isoleringstjocklek utanför bjälklagskant	[mm]
U_f = U -värde på hela fönstret	[W/m ² K]
$U_{f,\text{glas}}$ = U -värde glasdelen av fönstret	[W/m ² K]
$U_{\text{vägg}}$ = U -värde yttervägg	[W/m ² K]
U_{tak} = U -värde tak	[W/m ² K]
$U_{\text{dörr}}$ = U -värde dörr	[W/m ² K]
U_m = Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient	[W/m ² K]

Tabell 4.1 LKF:s standardkrav och BBR:s energikrav

En viktig faktor med avseende på byggnaders energiförbrukning är byggnadens lufttätethet. Ett mätbart värde på lufttätetheten är dock mycket svår att projektera fram och kan snarare sägas är utförandeberoende. Därmed kan

³² Lunds Kommuns Fastighets AB (2006): *LKFs miljö- och kvalitetskrav, standard vid bygg- och markprojektering*. Internt dokument.

det i stället för vid projektering ställas krav på berörda hantverkare. Boverket ställde t o m BFS 2005:17 (BBR11) krav på klimatskärmens lufttäthet vid en tryckskillnad på ± 50 Pa. I Tabell 4.2 visas ställda krav på byggnadens lufttäthet av LKF internt och enligt BBR.

<i>Daterat</i>	<i>LKF</i>		<i>Boverket</i>	
	<i>Interna krav</i>	<i>Samling</i>	<i>Täthetskrav</i>	
1999-10-01	inga	BBR7	0,8 l/s	
2006-04-28	ej mätbara*	BBR14	inga**	
2009-03-20	ej mätbara*	BBR16	inga**	

*LKF formulerar sina täthetskrav sedan internt dokument daterat 2006-04-28 enligt ”Ytterväggar av regelsystem och isolering bör utformas med ett isolerat installationsutrymme innanför diffusionsspärr för att förbättra lufttäthet tex 70 mm regler och isolering. Särskild hänsyn bör läggas på att uppnå god lufttäthet i konstruktionerna.”³³

**Täthetskraven upphörde i och med BBR12 att vara kvantifierade.

Tabell 4.2 LKF:s interna krav och BBR:s täthetskrav

³³ Lunds Kommuns Fastighets AB (2006): *LKFs miljö- och kvalitetskrav, standard vid bygg- och markprojektering*, internt dokument.

4.2 Platsbeskrivning³⁴

I undersökningen har kvarteret Hårlemans Plats i Lund valts, i första hand eftersom fastigheten har relativt låg energiförbrukning och utformningen på byggnaderna kan möjliggöra en minimering av köldbryggor.



Figur 4.1 Hårlemans Plats, Lund den 25 maj 2010.

4.2.1 Beskrivning

På 1940-talstorget Hårlemans Plats, kvarteret Solgårdarna 5, uppfördes år 2002 två fyravåningshus med inredda vindsvåningar för LKF:s räkning. Byggnaderna består av 34 så kallade seniorbostäder, det vill säga lägenheter främst avsedda för bostadssökande som har beviljats förtur av Vård- och omsorgsförvaltningen. I övrigt erbjuds lägenheterna till äldre personer i LKF:s bostadskö. I båda byggnaderna finns hiss.

Hårlemans Plats 3 är gatuadressen på huset placerat i norr. I detta ryms 13 tvårumslägenheter och en trerumslägenhet. Förutom bostäder finns i byggnaden även en jourbutik för livsmedel och en gemensamhetslokal för de boende. En del av huset har källare med lägenhetsförråd samt ett teknikutrymme. I fortsättningen kallas byggnaden för Hus A.

Byggnaden placerad i öster, Hårlemans Plats 7, är något större och rymmer 11 tvårums- och 9 trerumslägenheter. På bottenplanet finns, förutom lägenheter,

³⁴ Lunds Kommuns Fastighets AB (2001): *Hårlemans Plats*. Broschyr.

även en fastighetsexpedition. Lägenhetsförråden i byggnaden är belägna på vindsvåningen. I fortsättningen kallas byggnaden för Hus B.

4.2.2 Lägenheter

Lägenheterna är anpassade för sitt ändamål som seniorbostäder. De är yteffektiva, ofta med gemensamt kök och vardagsrum vilket benämns som *rum med kök* eller r.m.k. Lägenheterna ovanför bottenplan har balkong och på markplan finns uteplats i direkt anslutning till bostaden. Samtliga lägenheter har i badrummen tvättmaskin och torktumlare, och i grundutförandet förberett för inkoppling av diskmaskin i köket. Lägenhetsfördelning och boarea, *BOA*, framgår i Tabell 4.3.

<i>Hårlemans Plats 3 (Hus A)</i>			<i>Hårlemans Plats 7 (Hus B)</i>		
<i>Typ</i>	<i>Antal</i>	<i>BOA [m²]</i>	<i>Typ</i>	<i>Antal</i>	<i>BOA [m²]</i>
2 r.m.k.	6	54,2	3 r.o.k.	4	78,5
2 r.m.k.	3	54,0	2 r.m.k.	4	38,9
2 r.m.k.	3	38,7	2 r.m.k.	4	56,8
3 r.o.k.	1	74,0	3 r.m.k.	4	66,1
2 r.o.k.	1	61,9	2 r.m.k.	3	34,6
			3 r.o.k.	1	78,4
Totalt	14	739,2	Totalt	20	1 143,4

Tabell 4.3 *Lägenhetsfördelning och BOA*

Total *BOA* är alltså totalt 1 882,6 m² och är naturligtvis mest intressant för lägenhetsuthyrare eftersom den är uthyrningsbar och därmed inkomstbringande. Utöver *BOA* tillkommer lokalarea, *LOA*, för övriga utrymmen om totalt 250 m². Summan av *BOA* och *LOA* kallas bruksarean, *BRA*, och är för fastigheten alltså 2 132,6 m².

4.2.3 Byggteknik

Båda husen är byggda på liknande sätt, med den största skillnaden att Hus A delvis har källargrund. Byggnadsdelarna beskrivs nedan och de U -värden som beräknats och kommer att användas som indata i beräkningsmodellen anges.

Källarväggen i hus A består av 200 mm betong med 65 mm utanpåliggande isolering. U -värdet för källarväggar varierar med djupet under mark. För väggen gäller U -värdet $0,44 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 0-1 m under mark, $0,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 1-2 m under mark och $0,21 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ >2 m under mark.

Källargolvet består av 60 mm cellplast och ett makadamlager under betongplattan och har U -värdet 0,197.

Övrig grundläggning är av typen platta på mark med makadam, 200 mm cellplastisolering och 100 mm betong. Konstruktionen innebär två olika U -värden beroende på vilken randzon som avses. Yttre randzon utgör plattans yttre del och har U -värdet $0,156 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Resterande area, inre randzon, har ett U -värde på $0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Ytterväggarna består huvudsakligen av 87 mm fasadtegel, luftspalt, 50 mm cellplast, 170 mm+45 mm stenullsisolering mellan korslagda träreglar med mellanliggande åldersbeständig plast och 13 mm gips med ett totalt U -värde på $0,154 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ enligt handberäkningar. Vid projektering har däremot ett högre U -värde på $0,175 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ använts.

I trapphus och hisschakt består ytterväggen av fasadtegel och luftspalt enligt ovan, samt 50 mm+80 mm cellplast och 150 mm betong, vilket ger ett U -värde på $0,265 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Taket ovanför trapphuset består av 250 mm betong och har utvändigt 400 mm lösullsisolering, totalt U -värde $0,138 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Hisschaktets tak består av 200 mm betong och 220 mm isolering vilket ger U -värdet $0,22 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Taket i övrigt är ett så kallat kallt tak och är isolerat i vindsbjälklaget. Den horisontella delen består, utifrån och in, under taktegel, läkt, takpapp och råspont av 400 mm lösullsisolering mellan takstolarna, åldersbeständig plast, 28 mm glespanel, 13 mm gips och en 15 mm brandgipsskiva. Totalt U -värde för konstruktionen är handberäknat till $0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Vid projektering har däremot ett högre U -värde på $0,138 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ använts.

Snedtaket består av taktegel, läkt, takpapp YAP2500, 17 mm råspont, 45 mm luftspaltbildande reglar, 3,2 mm hård träfiberskiva, 220 mm isolering mellan takstolarna, åldersbeständig plast, 45 mm isolering mellan reglar, 28 mm

glespanel, 13 mm gips och 15 mm brandgipsskiva. Konstruktionens U -värde är $0,195 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Lägenhetsskiljande innerväggar och mellanbjälklag består av 200 mm respektive 250 mm betong. Även de prefabricerade balkongerna är av betong och är infästa i mellanbjälklaget.

Samtliga fönster och fönsterdörrar har U -värdet $1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ och ytterdörrar har ett U -värde på $1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, vilket är bättre än LKF:s standardkrav.

I konstruktionen finns det köldbryggor i följande delar:

- Infästningar av mellanbjälklag
- Infästningar av balkong
- Övergång mellan ytterväggstyper vid trapphus
- Övergång mellan yttervägg och vindsbjälklag
- Övergång mellan yttervägg och grundkonstruktion
- Övergång mellan källarvägg och källargolv
- Lokala förstärkningar i form av ståpelare
- Ytterväggshörn

Beräkningarna av ovanstående köldbryggor behandlas i avsnitt 5.1.

4.2.4 Ventilationssystem

Fastigheten är ansluten till fjärrvärmenätet och lägenheterna värms upp via ett vattenburet radiatorsystem. Bakom radiatorerna finns uteluftsventiler placerade i syfte att tilluften ska värmas innan den når inomhusluften. Lägenhetsinnehavarna kan själva påverka sin boendekostnad enligt principen individuell värmemängdsmätning, se avsnitt 4.1.1., där 22°C ingår i hyran.

Ventilationssystemet i lägenheterna är för respektive byggnad ett frånluftssystem, F-system, med möjlighet att öka frånluftsflödet i kök och badrum genom att aktivera en timer. Även trapphus, hiss, lägenhetsförråd och teknikutrymme är för respektive hus kopplade till dessa ventilationssystem.

Jourbutiken i Hus A är utrustad med ett från- och tilluftssystem, FT-system, som enbart behandlar butiken. Även byggnadens gemensamhetslokal har ett separat ventilationssystem av typen FTX, det vill säga med värmeväxlare.

Hus B har också ett ventilationssystem utöver F-systemet för lägenheter och trapphus. Det utgörs av ett FTX-system som enbart behandlar fastighetsexpeditionen i byggnaden.

Totalt finns i de två husen alltså fem olika ventilationssystem som behandlar olika delar av fastigheten. Detta innebär helt olika förutsättningar vid beräkningar av värmeenergiebehov för dessa. De aggregat som behandlar fastigheten på Hårlemans Plats sammanställs i Tabell 4.4 tillsammans med respektive ventilationsutrymme de besörjer.

<i>Hus A</i>				
<i>Fabrikat</i>	<i>Modell</i>	<i>Typ</i>	<i>Verkningsgrad vvx</i>	<i>Utrymme</i>
NILAN	VPL-30	FT	-	Butik
EXHAUSTO	VEX-250	FTX	83 %	Gemensamhetslokal
Systemair	TOD 400-4	F	-	Lägenheter
<i>Hus B</i>				
<i>Fabrikat</i>	<i>Modell</i>	<i>Typ</i>	<i>Verkningsgrad vvx</i>	<i>Utrymme</i>
Fläkt Woods	ABE RDKR	FTX	80 %	Fastighetsexpedition
Systemair	TOD 450-4	F	-	Lägenheter

Tabell 4.4 Ventilationsaggregat

Med en värmeväxlare med 80 % temperaturverkningsgrad kan i storleksordningen 50 % av en byggnads värmeenergiebehov sparas in³⁵. Det är anmärkningsvärt att LKF valt att inte använda den typen av system för bostadslägenheterna på Hårlemans Plats.

³⁵ Sentler, Lars, Lunds Tekniska Högskola (2010). *Personlig kommunikation*, 2010-05-25.

5 Genomförande

Grundtanken med valet av byggnaderna på Hårlemans Plats var att en till synes ”enkel” byggnad vore den lättaste att efterlikna i ett beräkningsprogram för att kunna energieffektivisera i ett tidigt skede. Beräkningsmodellen visade sig dock bli mer komplicerad än vad som först förväntats. Det beror till största delen på fastighetens komplexa installationssystem som kräver att byggnaden delas in i flera olika zoner som i efterhand integreras med varandra och jämförs med verkliga mätvärden.

Med hjälp av avläsningar av tillförd mängd fjärrvärme och tappvarmvatten under tolv månader för respektive lägenhet har energiflödena kunnat delas upp på de olika zonerna. Från Lunds Kommuns Fastighets AB har en komplett ritningssamling för projektet erhållits i form av arkitekturritningar, konstruktionsritningar, VVS-, el- samt markritningar. Utifrån dessa har för arbetet relevanta ytor, volymer och mängder kunnat bestämmas. Värmemängdsberäkning för projektet utförd av konsult med beräkningar av areor och U -värden har också erhållits. En del av dessa har dock fått korrigeras då de inte stämt överrens med bygghandlingar eller inte varit kompletta. Hårlemans Plats har också besökts i studiesyfte.

5.1 Energiberäkningsmodell

Utifrån de handlingar som erhållits från LKF samt handberäknade ytor, areor, volymer och U -värden har en beräkningsmodell skapats i VIP-Energy, uppdelad på för varje ventilationssystem egna zoner. Från programmet erhållet resultat i form av tillförd mängd energi för uppvärmning har jämförts med verkliga avläsningar. Då en beräkningsmodell av det här slaget aldrig i sin helhet kan efterlikna verkligheten krävs att lämpliga variabler i programmet justeras så att energitillförseln ska stämma överrens med avlästa värden. Förändringar som gjorts för respektive beräkningszon beskrivs nedan.

Lägenheter

För samtliga lägenheter bestämdes i ett första beräkningsfall processenergin till 2 W/m^2 . För hus A sänktes den till $1,70 \text{ W/m}^2$. Motsvarande förändring för hus B var en höjning till $2,75 \text{ W/m}^2$. En förklaring till den relativt stora skillnaden är att hus B har fler större lägenheter, med plats för fler boende, samtidigt som en stor del av resterande lägenheter i huset är mindre än motsvarande lägenheter i hus A, det vill säga processenergin är fördelad på en mindre boyta. Energitillförsel för uppvärmning av tappvarmvatten härstammar från avläsningar för respektive lägenhet, med det genomsnittliga värdet $13,7 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$.

Jourbutik

Tillförd processenergi i jourbutiken på bottenvåningen i hus A uppskattades i ett första skede till 12 W/m^2 under öppettider och 4 W/m^2 kvällar och helgdagar. Efter korrigering av övriga zoner gjordes bedömningarna om då de överskattats. I den slutgiltiga beräkningen är processenergin under öppettider 8 W/m^2 och 2 W/m^2 övrig tid.

Gemensamhetslokal

Processenergin för gemensamhetslokalen på bottenvåningen i hus A ändrades, från som för lägenheterna 2 W/m^2 , till $2,5 \text{ W/m}^2$. Temperaturverkningsgraden på värmeväxlaren i lokalens ventilationssystem justerades från tillverkarens angivna värde 80% ³⁶, som använts i grundmodellen, till det rimligare driftsvärdet 70% .

Fastighetsexpedition

Fastighetsexpeditionen på bottenvåningen i hus B hade i första beräkningen processenergitillskottet 8 W/m^2 åtta timmar på vardagar och 0 W/m^2 övrig tid. De värdena användes också i den slutliga modellen. Även i den här lokalen justerades temperaturverkningsgraden på värmeväxlaren. Tillverkarens angivna värde 83% ³⁷ justerades till 73% i den slutgiltiga beräkningsmodellen.

Hiss/trapphus/lägenhetsförråd

Övriga utrymmen i byggnaderna utgörs av hiss, trapphus och lägenhetsförråd. I den slutgiltiga beräkningsmodellen uppskattades processenergin till 1 W/m^2 jämfört med tidigare noll.

För en så sanningsenlig beräkningsmodell som möjligt har enbart värmeenergibehovet beräknats med VIP. Behovet av varmvatten och fastighetsenergi har kunnat behandlas separat, vilket minimerar antalet uppskattade parametrar i energiberäkningsmodellen. Energibehovet för tappvarmvatten har med stor säkerhet kunnat adderas i efterhand från av LKF dokumenterade mätaravläsningar.

Energiberäkningarna för byggnaderna, före och efter ovanstående justeringar, redovisas i Tabell 5.1. Mängden tappvarmvatten för samtliga utrymmen utöver bostäder är dokumenterade för ett helt år och har räknats om till tillförd energi och fördelats jämnt över året.

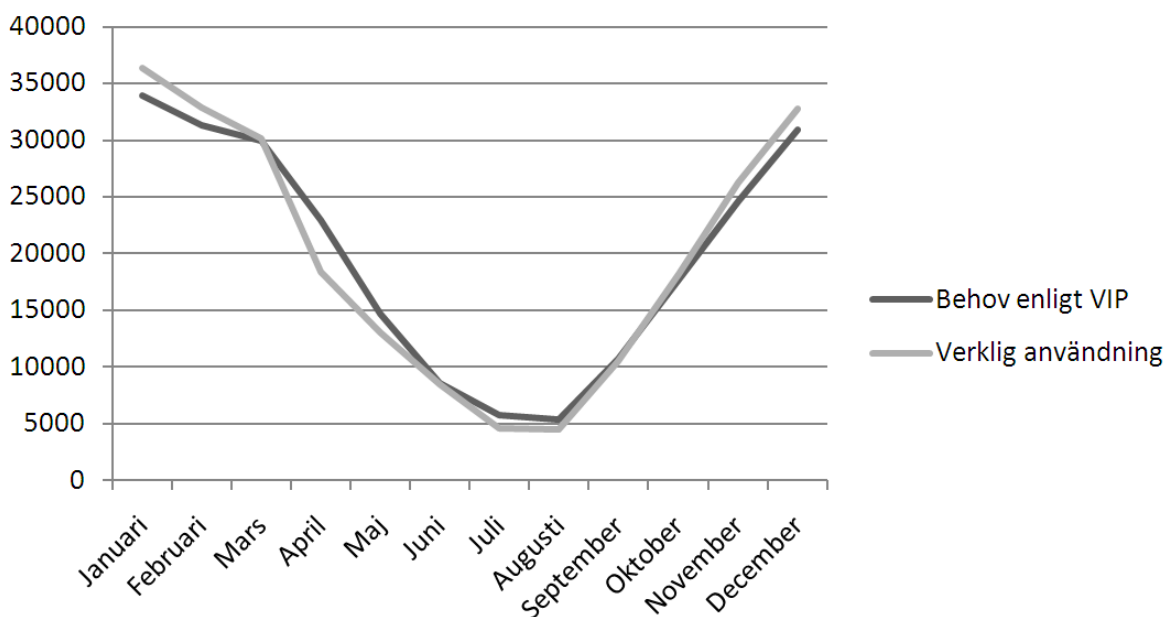
³⁶ Lans, Stefan, EXHAUSTO AB (2010): *Personlig kommunikation*, 2010-04-20.

³⁷ Fläkt Woods Sverige (2009): *Återvinningsaggregat RDKR*, www.flaktwoods.se, 2010-04-20.

	<i>Behov enligt VIP före korrigering [kWh]</i>	<i>Behov enligt VIP efter korrigering [kWh]</i>	<i>Verklig användning [kWh]</i>
Januari	30 454	33 937	36 404
Februari	28 047	31 318	32 853
Mars	26 434	29 920	30 150
April	19 798	22 946	18 400
Maj	12 217	14 729	13 087
Juni	7 003	8 576	8 446
Juli	4 472	5 719	4 637
Augusti	4 190	5 367	4 496
September	9 004	10 710	10 522
Oktober	15 330	17 739	18 190
November	21 760	24 581	26 277
December	27 633	30 921	32 744
Året totalt	206 345	236 464	236 200

Tabell 5.1 Jämförelse mellan energibehovsberäkningar och verklig energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten

Målet med energiberäkningsmodellen var att få ett korrekt värmeenergiebehov över året. Däremot uppkommer det differenser månadsvis, vilket visas grafiskt i Figur 5.1.



Figur 5.1 Jämförelse mellan energibehovsberäkningar och verklig energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten [kWh]

Beräkningsmodellen är utgångspunkten för de alternativa lösningar för byggnaderna som har studerats. Att modellen efterliknar verkligheten är därför av största vikt för ett sanningsenligt slutresultat.

De alternativa lösningar som undersökts har getts samma förutsättningar som beräkningsmodellen i VIP. Tappvarmvattenbehovet adderas på samma vis som tidigare för att minimera möjliga risker för felkällor och avvikelser.

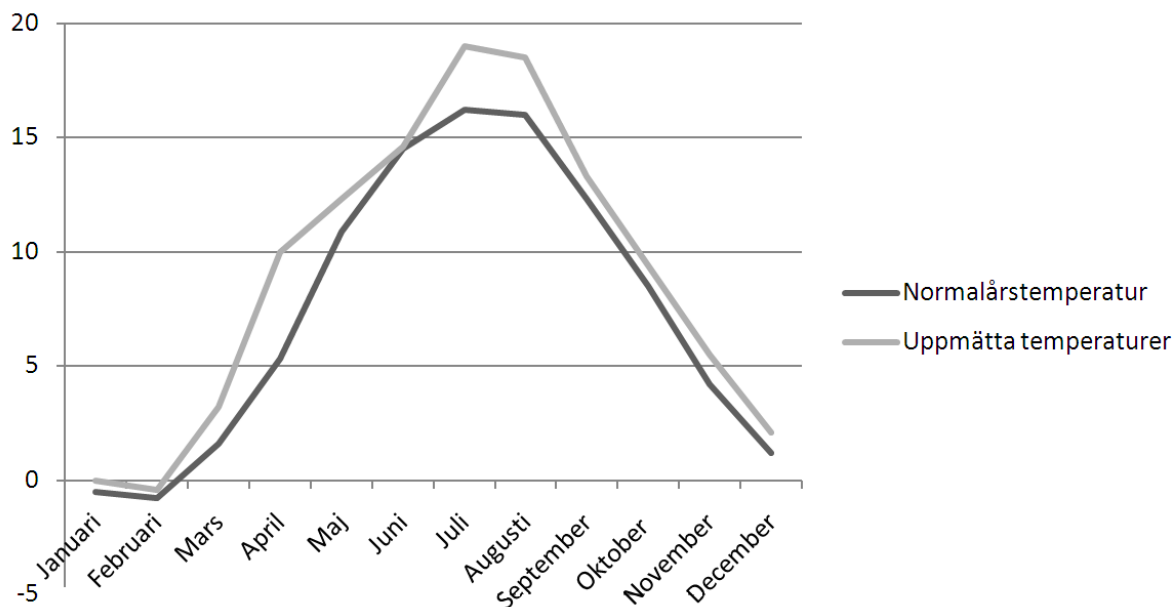
5.1.1 Driftdata

För de två byggnaderna på Hårlemans Plats fanns avläsningar för energitillförsel för uppvärmning av lägenheterna under perioden september 2008 – augusti 2009. Avläsningarna har skett separat för varje lägenhet, varför stor noggrannhet har kunnat erhållas för varje enskild byggnad var för sig. Energibehovet för uppvärmning av butikslokal, gemensamhetslokal, fastighetsexpedition och övriga utrymmen har fått uppskattas utifrån de bygghandlingar som tillhandahållits av LKF. Den totala mängden köpt fjärrvärme för hela året finns dokumenterad och skillnaden mellan sammanlagd förbrukning och lägenheternas värmeenergibehov har fördelats på övriga utrymmen enligt avsnitt 5.1.

Avläsningar finns också för tappvarmvattenanvändningen för samma tidsperiod. LKF:s material redovisar förbrukat antal kubikmeter varmvatten och har räknats om till energibehov månad för månad. Avläsningar för utrymmen utöver lägenheter är dokumenterade som en total vattenförbrukning och energibehovet för tappvarmvatten har fördelats enligt samma princip som värmeenergibehovet.

5.1.2 Klimatdata

Simuleringarna i VIP-Energy har gjorts mot klimatdata för Malmö som medföljer programmet. En felkälla föreligger, förutom en marginell klimatskillnad, i att driftavläsningarna skett under perioden september 2008 – augusti 2009, vilken inte motsvaras av programmets inbyggda normalår. Figur 5.2 nedan redovisar temperaturdifferensen mellan dessa.



Figur 5.2 *Temperaturer under avläsningsperioden september 2008 – augusti 2009 för Lund respektive ett normalår för Malmö [°C]³⁸*

5.1.3 Köldbryggor

Identifiering av köldbryggornas påverkan har fått fram genom programmet UNorm. Resultaten i form av ψ -värden samt längden på köldbryggorna i respektive beräkningszon har lagts in i VIP-Energy. Begränsningar i UNorm kan påverka ψ -värdet marginellt, dock inte i den grad att det påverkar beräkningsmodellens resultat nämnvärt.

5.2 Alternativa lösningar

Byggnaderna på Hårlemans Plats är relativt nyuppförda varför energieffektiviserande åtgärder inte kan motiveras. Syftet med att i stället utarbeta alternativa lösningar är att ställa dessa mot LKF:s internt ställda krav för att se möjligheter att utveckla dessa. *Alternativa lösningar* speglar de åtgärder som undersöks i den här studien bättre än begreppet *energieffektiviserande åtgärder* vilket används mer flitigt då det avses att förbättra energiprestandan för en befintlig byggnad.

Alternativa lösningar i den här studien omfattar tekniska lösningar i konstruktionen, byggnadernas täthet samt en studie av LKF:s ställda krav.

³⁸ Elmarsson, Bengt och Nevander, Lars Erik (2001): *Fukt handbok*. Elanders Tryck AB, Stockholm. ISBN 91-7332-716-6.

5.2.1 Tekniska lösningar

De alternativa tekniska lösningarna som undersökts är utökad isolering i olika byggnadsdelar. I några av fallen medför tjockare isolering även att effekten av köldbryggor minskar. Åtgärderna redovisas separat i Tabell 5.2, samt i olika kombinationer i Tabell 5.3 för att åskådliggöra effekten av de alternativa lösningarna.

En stor del av byggnadernas grundläggning är av typen platta på mark. Totalt 423 m² består av 200 mm cellplast under betongen. Ytterligare ett lager med 100 mm cellplast minskar U -värdet till 0,091 W/m² K och ger en årlig energibesparing på 1 715 kWh, varav 1 029 kWh utgörs av värmeenergi till bostäder.

Tjocka ytterväggar talar varken för en byggnads utseende eller för dess praktiska användning. Väggarna i byggnaderna på Hårlemans Plats är redan i dagsläget relativt tjocka och enbart en utökning med 50 mm cellplast studeras. Väggarna utgör en total area på drygt 1 280 m² för de båda byggnaderna, varför en sänkning av byggdelen U -värde till 0,128 W/m² K är intressant. En sådan lösning minskar energibehovet med 3 224 kWh, varav 2 565 kWh är värmeenergi till bostäder.

Tilläggsisolering av tak är en vanlig åtgärd för att energieffektivisera en äldre byggnad eftersom det är känt att det är en kostnadseffektiv lösning. Byggnaderna i studien har en yta på 420 m² med 400 mm lösull i vindsbjälklaget. Att istället använda 500 mm lösull sänker U -värdet till 0,090 W/m² K och medför en årlig energibesparing på 786 kWh, varav 459 kWh är värmeenergi till bostäder.

Bygghedel	U -värde [W/m ² K]		Årlig energibesparing [kWh]		
	Ursprungligt	Alternativt	Bostäder	Lokaler	Totalt
Grund	0,120	0,091	1 029	686	1 715
Yttervägg	0,154	0,128	2 565	659	3 224
Tak	0,100	0,090	459	327	786

Tabell 5.2 Årlig besparing för alternativa konstruktionslösningar

<i>Kombinationer av byggdelar</i>	<i>Årlig energibesparing [kWh]</i>		
	<i>Bostäder</i>	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>
Grund/yttervägg	3 596	1 488	5 044
Yttervägg/tak	3 025	987	4 012
Tak/grund	1 488	1 114	2 602
Grund/yttervägg/tak	4 056	2 209	6 265

Tabell 5.3 Årlig besparing för alternativa konstruktionskombinationer

5.2.2 Lufttäthet

Det går inte att projektera fram omfattningen på en byggnads luftläckage. Det är ändå intressant ur energibesparingssynpunkt att säkerställa en tät byggnad eftersom det annars uppstår läckageförluster. Vid byggnation av lågenergihus läggs stor möda ner i utförandet för att förhindra läckage. För byggnaderna på Hårlemans Plats framgår omfattningen på energibesparingar vid olika stora läckageförluster av Tabell 5.4. I energiberäkningsmodellen har ett värde på 0,8 l/s m² använts.

<i>Läckage vid ± 50 Pa [l/s m²]</i>	<i>Årlig energibesparing [kWh]</i>		
	<i>Bostäder</i>	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>
2,0	-4 732	-7 633	-12 365
1,0	-325	-1 338	-1 663
0,8	0	0	0
0,6	182	1 457	1 639
0,4	225	2 884	3 109
0,2	227	4 019	4 246

Tabell 5.4 Årlig energibesparing vid olika stora luftläckage

5.2.3 LKF:s krav

De aktuella standardkrav som LKF ställer vid nybyggnation av bostäder framgår av avsnitt 4.3.1 och har studerats i beräkningsmodellen för Hårlemans Plats. Avvikelser från den ursprungliga beräkningsmodellen omfattar förändringar enligt Tabell 5.5.

<i>Byggdel</i>	<i>U-värde [W/m² K]</i>	
	<i>Hårlemans Plats</i>	<i>LKF:s standardkrav</i>
Fönster	1,1	1,3
Tak	0,10	0,15
Vägg	0,154	0,20

Tabell 5.5 U-värden för Hårlemans Plats och enligt LKF:s standardkrav

Studien av fastigheten med byggnadsdelar som precis klarar kraven ger Hårlemans Plats följande simuleringsresultat.

<i>Byggnadstyp</i>	<i>Årlig energibesparing [kWh]</i>		
	<i>Bostäder</i>	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>
Enligt LKF:s standardkrav	-13 585	-3 171	-16 756

Tabell 5.6 Årlig energibesparing med LKF:s standardkrav jämfört med Hårlemans Plats

En jämförelse mellan byggnaderna som simulerats enligt LKF:s krav och studerade alternativa lösningar görs i tabell 5.7.

<i>Bygghel</i>	<i>Årlig energibesparing [kWh]</i>		
	<i>Bostäder</i>	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>
Alla enligt LKF:s standardkrav	0	0	0
Alternativ yttervägg	16 150	3 830	19 980
Alternativt tak	14 044	3 498	17 542
Fönster typ Hårlemans Plats	8 850	2 469	11 319

Tabell 5.7 Årlig energibesparing för alternativa lösningar för Hårlemans Plats jämfört med LKF:s standardkrav

6 Resultat och analys

6.1 Investeringsbedömning

De resultat som erhållits från VIP har visat hur behovet av köpt energi för uppvärmning och tappvarmvatten varierar med alternativa lösningar jämfört med byggnadernas grundutförande. Ett minskat behov av köpt energi medför naturligtvis en minskad driftskostnad. Å andra sidan medför åtgärderna en större grundinvestering. Samtidigt innebär tillämpningen av individuell värmemängdsmätning att byggherren, i den här studien LKF, inte tar del av alla sådana driftsbesparingar då lägenhetsinnehavarna får en lägre boendekostnad. Endast energibesparingar för utrymmen vilka fastighetsägaren själv står för uppvärmningskostnader kan tillgodoräknas vid en investeringsbedömning.

Den årliga ekonomiska besparingen motsvarar årlig driftskostnad, vilken beräknas genom att energibehovet för värme och tappvarmvatten för respektive fall multipliceras med 0,70 kr, vilket var priset för fjärrvärme 2010-05-20³⁹.

Den ekonomiska besparingen redovisas i Tabell 6.1 som totalsumma i kr och den totala energibesparingen i kWh.

<i>Byggdela</i>	<i>Årlig energibesparing [kWh]</i>			<i>Årlig ekonomisk besparing [kr]</i>		
	<i>Bostäder</i>	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>	<i>Bostäder</i>	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>
Grund	1 029	686	1 715	720	480	1 200
Yttervägg	2 565	659	3 224	1 795	461	2 256
Tak	459	327	786	321	229	550

Tabell 6.1 Årlig besparing för alternativa konstruktionslösningar

Den ekonomiska besparingen redovisas för en kombination av alternativa byggdelar på samma sätt i Tabell 6.2.

³⁹ Öresundskraft (2010): *Fjärrvärmepriser*. www.oresundskraft.se, 2010-05-20.

<i>Kombination</i>	<i>Årlig energibesparing [kWh]</i>			<i>Årlig ekonomisk besparing [kr]</i>		
	<i>Bostäder</i>	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>	<i>Bostäder</i>	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>
Grund/yttervägg	3 596	1 488	5 083	2 517	1 042	3 559
Yttervägg/tak	3 025	987	4 012	2 118	691	2 809
Tak/grund	1 488	1 114	2 602	1 042	780	1 822
Grund/yttervägg/tak	4 056	2 209	6 265	2 839	1 546	4 385

Tabell 6.2 Årlig besparing för alternativa konstruktionskombinationer

Som investeringskostnad har två fall jämförts – kostnad för byggdelen utan förändring samt kostnad för den alternativa byggdelen, det vill säga den merkostnad som uppstår för respektive alternativ byggdel, enligt Tabell 6.3. Material- och arbetskostnader har hämtats från 1996 och har justerats enligt producentprisindex för 2010, vilken motsvarar en prisökning på 26 %⁴⁰.

<i>Byggdel</i>	<i>Ekonomisk besparing [kr/år]</i>		<i>Merkostnad⁴¹ [kr]</i>
	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>	
Grund	480	1 200	48 148
Yttervägg	461	2 256	57 940
Tak	229	550	11 221
Grund/yttervägg	1 042	3 559	106 088
Yttervägg/tak	691	2 809	69 161
Tak/grund	780	1 822	59 369
Grund/yttervägg/tak	1 546	4 385	117 309

Tabell 6.3 Årlig besparing för alternativa konstruktionslösningar

Med ovanstående värden har en investeringsbedömning gjorts med pay-backmetoden enligt Tabell 6.4.

Investeringsbedömningarna görs dels för lokaler och för byggnaderna totalt. Bedömningarna för enbart lokaler innebär att hyresgästerna gör den ekonomiska besparingen då värmeenergibehovet för lägenheterna minskar. Investeringsbedömningarna för hela byggnaderna avser att fastighetsägaren gör hela den ekonomiska besparingen.

⁴⁰ Statistiska Centralbyrån (2010): *Producentprisindex (PPI) efter produktgrupp SPIN 2007. Månad 1990M01-2010M03*. www.scb.se, 2010-05-20.

⁴¹ Wikells byggberäkningar AB (1996): *Sektionsfakta, Teknisk-ekonomisk sammanställning av byggdelar*. Svenskt Tryck, Surte.

<i>Byggdel</i>	<i>Pay-backtid [år]</i>	
	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>
Grund	100,3	40,1
Yttervägg	125,7	25,7
Tak	49,0	20,4
Grund/yttervägg	101,8	29,8
Yttervägg/tak	100,1	24,6
Tak/grund	76,1	32,6
Grund/yttervägg/tak	75,9	26,8

Tabell 6.4 Pay-backtid för alternativa konstruktionslösningar

Även en investeringsbedömning enligt kapitalvärdesmetoden har gjorts. Livslängden för isoleringsmaterial bedöms vara 50 år, inflationstakten har satts till 2 % och reell kalkylränta 3 %.

<i>Byggdel</i>	<i>Kapitalvärde [kr]</i>	
	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>
Grund	-35 798	-17 272
Yttervägg	-46 079	106
Tak	-5 329	2 930
Grund/yttervägg	-79 278	-14 516
Yttervägg/tak	-51 382	3 113
Tak/grund	-39 327	-12 516
Grund/yttervägg/tak	-77 531	-5 179

Tabell 6.5 Kapitalvärdet för alternativa konstruktionslösningar

Tabellen ovan visar negativ lönsamhet för samtliga alternativa lösningar då fastighetsägaren inte själv står för den ekonomiska besparingen av det minskade värmeenergiebehovet. Att fördela kostnaderna till de boende, alternativt själv ta den ekonomiska besparingen ger utrymme till utökning av isolering i konstruktionen och en lägre energiförbrukning. I samtliga ovanstående fall sker en större total besparing vid en kombination av flera åtgärder.

Studiens förbättringar ur energisynpunkt beaktar inte byggnadernas uppvärmningssystem, vilket skulle kunna dimensioneras annorlunda och även minska installationskostnader.

En jämförelse av kostnader för uppvärmning av Hårlemans Plats och en identisk byggnad som precis uppfyller LKF:s standardkrav görs i Tabell 6.6.

Investeringskostnader beaktas inte eftersom byggdelarnas U -värden kan uppnås genom ett oändligt antal konstruktionslösningar.

<i>Byggdel</i>	<i>Årlig ekonomisk besparing [kr]</i>		
	<i>Bostäder</i>	<i>Lokaler</i>	<i>Totalt</i>
Alla enligt LKF:s standardkrav	0	0	0
Yttervägg typ Hårlemans Plats	11 305	2 681	13 986
Tak typ Hårlemans Plats	9 831	2 449	12 279
Fönster typ Hårlemans Plats	13 591	10 309	23 900

Tabell 6.6 Årlig ekonomisk besparing för alternativa lösningar för Hårlemans Plats jämfört med LKF:s standardkrav

6.2 Möjligheter för LKF

Det finns för Lunds Kommuns Fastighets AB vissa möjligheter att bygga med mer energieffektiva byggnadsdelar än som gjorts på Hårlemans Plats, trots att dessa i många fall ur energisynpunkt redan är betydligt bättre än de standardkrav som LKF ställer vid nybyggnation.

En utökning av isolertjockleken i grunden till 300 mm cellplast medför en stor merkostnad och kan inte ses som lönsam i någon investeringsbedömning. Totalt är den årliga energibesparingen för endast den lösningen 1 715 kWh jämfört med Hårlemans Plats.

Av de undersökta alternativa lösningarna skulle ur energisynpunkt störst besparingar göras med 100 mm cellplastisolering i fasaden istället för ursprungliga 50 mm. För byggnaderna på Hårlemans Plats skulle en årlig energibesparing på 3 224 kWh göras med den lösningen. Investeringsbedömningar för lösningen visar att kapitalvärdet är knappt positivt över 50 år och pay-baktiden 25,7 år. Med tanke på skillnaden mellan utförandet på Hårlemans Plats och LKF:s standardkrav ses här en möjlighet för utveckling av dessa interna standardkrav. Att notera är att den stora merkostnaden medför ett negativt kapitalvärde och en betydligt längre pay-baktid om fastighetsägaren avser att inte ta del av de ekonomiska besparingarna som följer av det minskade behovet av tillförd fjärrvärme.

Ytterliggare isolering i vindsbjälklaget medför en relativt liten merkostnad vid nybyggnation. Totalt görs med 500 mm lösullsisolering en total årlig energibesparing på 786 kWh jämfört med byggnadernas 400 mm. Investeringen är vid samma kriterium som ovan lönsam, med ytterst liten marginal. Pay-baktiden på 20 år är den kortaste av de studerade alternativa lösningarna. Jämförelsen mellan dagens interna standardkrav från LKF och

utförandet på Hårlemans Plats är stor och här ses möjligheter till skärpta interna standardkrav.

LKF har kravet att fönster ska ha maximalt U -värde på $1,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. På Hårlemans Plats har samtliga fönster ett U -värde på $1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, vilket är bättre än kravet och medför en årlig energibesparing på 34 142 kWh. Storlek och orientering på dessa spelar stor roll för den totala energibalansen och har inte undersökts närmare i den här studien. Standardkraven för fönster bör dock ses över.

Energibehovet kan minskas med förbättrad lufttätethet i byggnadernas klimatskal. Stort ”slarv” i utförandet kan mångdubbla läckageförlusterna, medan noggrant utförande kan minska energibehovet. Ställs krav på $0,6 \text{ l/s m}^2$ vid 50 Pa tryckskillnad, kan i storleksordningen 1 500 kWh sparas per år för en byggnad jämförbar med Hårlemans plats, om det jämförs med ett läckflöde på $0,8 \text{ l/s m}^2$.

Byggnaderna på Hårlemans Plats ligger enligt studien nära ett möjligt framtida standardkrav för LKF:s energieffektiva byggnadsdelar. Utifrån utarbetade alternativa lösningar, interna standardkrav och investeringsbedömningar bedöms nedanstående krav kunna ställas.

Grundkonstruktionens krav omfattas i dagsläget av minst ett 200 mm tjockt lager isolering ska finnas. Detta krav är närmast standard vid bostadsbyggande och ett högre ställt krav bör inte ställas. Möjligtvis kan LKF utarbeta interna *standardkrav för lågenergiprojekt* med en större utredning, där möjligtvis ytterligare isolering i grundkonstruktionen kan motiveras.

Ytterväggar utgör i flerbostadshus ofta den största delen av klimatskalet. En liten förändring av dessa har med studien visat göra en stor skillnad för byggnadens värmeenergiebehov. Dagens standardkrav som LKF ställer är ett maximalt U -värde på $0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Hårlemans Plats har ytterväggar med U -värdet $0,154 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, och studien visar att ett U -värde på $0,128 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ kan motiveras. Det anses dock inte som rimligt som ett standardvärde. Skillnaden på de uppförda byggnadernas utformning, jämfört med motsvarande byggnader enligt standardkraven, visar en så stor differens i energibehov att LKF:s standardkrav för ytterväggar kan skärpas till Hårlemans Plats nivå.

Takkonstruktionens U -värde får enligt LKF:s standardkrav inte överstiga U -värdet $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Att istället på Hårlemans Plats använda en takkonstruktion med ett U -värde på $0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ görs en energibesparing på 17 542 kWh årligen. Ytterligare 100 mm lösullsisolering medför en merkostnad som precis kan räknas hem med investeringsbedömningar och

bedöms inte kunna integreras i nya standardkrav för LKF. Dagens U -värde på $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ som standardkrav för byggnadsdelen upplevs samtidigt som aningen intetsägande då det är ett jämförelsevis högt värde. $0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ uppnås med 400 mm lösullsisolering och anses rimligt som standardkrav vid nybyggnation.

7 Slutsatser

Lunds Kommuns Fastighets AB:s anmärkningsvärda arbete med miljöfrågor har resulterat i väl dokumenterad data och avläsningsvärden från individuell mätning av värme och varmvatten och formulerade standardkrav vid nyuppförande av byggnader. Studien visar överlag att företagets standardkrav vid nybyggnation kan skärpas utan att vidare ställa orimliga krav på projektörer och entreprenörer, samtidigt som det innebär att merkostnader för projekt vägs upp av besparingar i driftskostnader.

Debitering av använd mängd värme och tappvarmvatten i hyreslägenheter medför att boende i större utsträckning tolererar en lägre inomhustemperatur och använder mindre varmvatten. Med *komfortvärmesystemet* ”ser” inte hyresgästen den tillförda mängden värmeenergi utan debiteras för uppmätt temperatur, vilket kan motivera hyresvärdars ambition att bygga energieffektivt. Att låta hyresgästerna betala för *tillförd mängd* värme och varmvatten kan däremot minska intresset för hyresvärden att bygga med energieffektiva byggnader då besparingar i driftkostnader fördelas på de boende. Den yta som inte är boarea, och därmed inte debiteras efter tillförd mängd värme och varmvatten, är den del av byggnaden där energibesparingen hamnar hos fastighetsägaren i det fallet.

De krav som formuleras i förfrågningsunderlag av beställaren inför ett nybyggnadsprojekt beror på bland annat projektets omfattning och vilken energiprestanda som önskas. Entreprenörer utformar byggnaden enligt de av beställaren ställda kraven och har i regel inga ytterligare intressen av att överträffa dessa. Internt ställda standardkrav och till entreprenörer formulerade projektspecifika krav behöver inte ha samma innehåll. I regel har beställaren inte identiska önskemål för två olika projekt. Att ha interna standardkrav medför endast att särskild hänsyn visas till dessa då det aktuella projektet ligger i den ”energiprestandakategorin”, och särskilda standardkrav kan därför utarbetas för exempelvis speciella lågenergiprojekt.

Studien visar vidare att en byggnadsdels energiprestanda påverkas av omgivande faktorer och därför bör vid formulering av sådana standardkrav som LKF ställer, en större studie göras för optimalt resultat. Att ställa krav på energisnåla byggnadsdelar kan inte ensamt avgöra slutresultatet för energiprestandan på den färdiga byggnaden. Energieffektiviserande åtgärder som omfattas i studien ökar lönsamheten och energibesparingen i jämförelse med motsvarande åtgärder separat.

7.1 Resultat

Resultaten från den här studien ger en fingervisning för hur byggnadsdelars värmegenomgångskoefficient kan optimeras vid projektering och skapa en intern standard hos fastighetsförvaltare som Lunds Kommuns Fastighets AB. Storleken på omslutande areor av väggar, tak, fönster o s v samt utformning bidrar till byggnaders energiprestanda och därför finns inget optimalt resultat som passar alla typer av byggnader.

Studien visar i vilken omfattning kostnader ökar vid förbättring av energiprestanda för väggar, tak och grund i en byggnad och samtidigt hur driftkostnaden för byggnaden påverkas.

De standardkrav som LKF ställer idag kan förbättras om företaget vill trimma sig självt till förbättring. Om vidare intresse för lågenergiprojekt i stil med Jöns Ols finns kan även interna alternativa ”lågenergikrav” motiveras.

Beroende på hur värme och tappvarmvatten debiteras hyresgäster kan skäl ges till olika investeringsbedömningar. Fastighetsägarens ekonomiska besparing i form av minskade driftskostnader utgörs inte av den del som de boende debiteras. Studiens resultat tar hänsyn till energibesparing för en hel byggnad och ekonomisk besparing för både hela byggnaden samt enbart lokalarea.

7.2 Studiens trovärdighet

Under arbetet med en vetenskaplig studie är det viktigt att vara uppmärksam på trovärdigheten hos källor, mätdata och resultat.

Den färdiga beräkningsmodellen i VIP-Energy bygger till stor del på insamlad avläsningsdata i form av tillförd mängd fjärrvärme som fördelats på byggnadernas indelning i zoner. Avläsningarna är faktiska värden och källan säker. Eventuella fel i modellen är de värden som korrigerats för att modellen ska stämma överrens med verkligheten. Ytterligare en felkälla kan hänvisas till den skillnad i klimatdata som föreligger mellan programmet och verkliga uppmätta värden, vilket bör innebära att programmets beräknade värmeenergibehov är större än i verkligheten. Tillförd mängd fastighetsenergi och energi till tappvarmvatten har kunnat adderas till resultatet efter simuleringar i VIP och bidrar till en ökad säkerhet i energiberäkningsmodellen. De simulerade alternativa åtgärderna bygger på samma data som originalmodellen och har samma trovärdighet i resultat.

Produktdata hämtade från tillverkare av värmeväxlare består av temperaturverkningsgrad, vilken brukar syfta på verkningsgraden vid optimala driftsförhållanden. Denna har justerats till mer rimliga värden i

beräkningsmodellen och kan utgöra en mindre felkälla i slutresultatet. Priser på byggnadsmaterial kan variera med tillverkare och överrensommelser. I studien har en merkostnad beräknas utifrån standardvärden så att fel i ursprunglig kostnad jämfört med kostnad för den alternativa lösningen undviks.

Investeringsbedömningar i form av kapitalvärdesmetoden tar hänsyn till inflation, ränta och fjärrvärmeprisändringar. Analys vid valda parametrar ger stor säkerhet, dock är det inte en garanti för att framtida förändringar sker enligt studien, varför de ekonomiska sammanställningarna kan variera med verkliga resultat.

7.3 Fortsatta studier

Med Lunds Kommuns Fastighets AB som målgrupp är det av intresse hur företaget fortsätter utveckla sina interna standardkrav för nybyggnation, och med vilken bakgrundsfakta det genomförs. Kan LKF utveckla sitt miljöarbete med interna lågenergikrav, och kan fler fastighetsägare arbeta på det sättet?

Intressant för fortsatta studier är hur byggnadsdelars energiprestanda kan optimeras i olika fall och förhållanden, kanske i en större undersökning i något slags ”testhus” med säkra parametrar.

8 Referenser

8.1 Tryckta källor

Berndtsson, Lennart (2003): *Individuell värmemätning i svenska flerbostadshus – en lägesrapport*. Energimyndigheten Projekt P11835-2

Elmarsson, Bengt och Nevander, Lars Erik (2001): *Fukt handbok*. Elanders Tryck AB, Stockholm. ISBN 91-7332-716-6.

Jensen, Lars (2001): *Värmebehovsberäkning, Installationsteknik FK*. Kursmaterial. Lund

Lunds Kommuns Fastighets AB (2001): *Hårlemans Plats*. Broschyr.

Lunds Kommuns Fastighets AB (2006): *LKFs miljö- och kvalitetskrav, standard vid bygg- och markprojektering*. Internt dokument.

Lunds Kommuns Fastighets AB (2009): *Årsredovisning 2008*.

Nilson, Sven-Åke och Persson, Ingvar (1999): *Investeringsbedömning*. Liber AB, Malmö. ISBN 978-91-04393-4

Nordstrand, Uno (2000): *Byggprocessen, tredje upplagan*. Elanders Gummessons, Falköping. ISBN 91-47-01169-6

Structural Design Software (2009): *VIP Energy*. Manual version 1.0.0 svensk.

Söderberg, Jan (2005): *Att upphandla byggprojekt, femte upplagan*. Studentlitteratur AB, Lund. ISBN 91-44-03153-X

Wikells byggberäkningar AB (1996): *Sektionsfakta, Teknisk-ekonomisk sammanställning av byggdelar*. Svenskt Tryck, Surte.

8.2 Elektroniska källor

Boverket (1998): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 1998:38*. www.boverket.se, 2010-04-30.

Boverket (2008): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 2008:20*. www.boverket.se, 2010-04-30.

Boverket (2010): *Energideklarerade byggnader per kommun exklusive egna hem (2010-03-31)*. www.boverket.se, 2010-05-07.

Boverket (2008): *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. www.boverket.se, 2010-04-30.

Boverket (2009), *Regelsamling för byggande, BBR 2008 Supplement februari 2009, 9 Energihushållning*. www.boverket.se, 2010-04-30.

Energimyndigheten (2009): *Energiläget i siffror 2009*. www.energimyndigheten.se, 2010-04-30.

Energimyndigheten (2009): *Energistatistik för flerbostadshus 2008*. www.energimyndigheten.se, 2010-05-11

Fläkt Woods Sverige (2009): *Återvinningsaggregat RDKR*, www.flaktwoods.se, 2010-04-20

GAD Byggnadsfysik (2010): *UNorm*. www.gadbyggnadsfysik.se, 2010-04-12.

Statistiska Centralbyrån (2010): *Producentprisindex (PPI) efter produktgrupp SPIN 2007. Månad 1990M01-2010M03*. www.scb.se, 2010-05-20.

Statistiska Centralbyrån (2010): *Påbörjade nybyggda bostadslägenheter*. www.scb.se, 2010-04-30.

Structural Design Software (2010): *Company Profile*. www.strusoft.com, 2010-05-04.

Sveriges Byggindustrier (2010): *Byggarbetskraft*. www.bygg.org, 2010-05-11.

Öresundskraft (2010): *Fjärrvärmepriiser*. www.oresundskraft.se, 2010-05-20.

8.3 Muntliga källor

Andersson, Marika, Bengt Dahlgren AB (2010): *Personlig kommunikation*, 2010-04-27.

Lans, Stefan, EXHAUSTO AB (2010): *Personlig kommunikation*, 2010-04-20.

Sentler, Lars, Lunds Tekniska Högskola (2010). *Personlig kommunikation*, 2010-05-25.