

Sänkta boendekostnader genom energieffektivisering

Balans mellan livscykel- och investeringskostnader i
nyproducerade flerbostadshus

Ylva Anger
Håkan Ohlsson

Avdelningen för Installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2004
Rapport TVIT-5002

© Ylva Anger och Håkan Ohlsson, Lund 2004

Rapport TVIT-5002
Sänkta boendekostnader genom energieffektivisering

ISRN LUTVDG/TVIT--04/5002--SE(89)

Lunds Universitet
Lunds Tekniska Högskola
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Avdelningen för Installationsteknik
Box 118
221 00 LUND
Sverige

Telefon: 046 - 222 73 89
Telefax: 046 - 222 45 35
e-post: hvac@hvac.lth.se
Hemsida: <http://www.hvac.lth.se>

Förord

Idén till detta examensarbete grundar sig delvis på en artikel om hur stor energianvändningen i nyproducerade bostäder är i förhållande till det befintliga beståndets energianvändning. Då vi kommer från olika program, Ylva från Ekosystemteknikprogrammet och Håkan från Väg- och Vattenprogrammet, har vi fått en bredare bild av problemet. Detta har också ställt krav på samarbete då det inte alltid varit lätt att övertyga varandra om vad som är viktigt att lyfta fram och vilken inriktning rapporten ska ha.

Under arbetet har vi stött på problem med att få fram den information vi önskat, därför ser rapporten inte riktigt ut som det från början var tänkt. Det levererade budskapet är detsamma men formen har förändrats något.

Arbetet är en studie som ligger nära tillämpning i bostadsbranschen. Kontakter med byggherrar, förvaltare, konstruktörer, arkitekter, materialleverantörer med flera har gett insikt i vilken komplexitet som råder, samt vilka olika mekanismer som påverkar de till synes enkla frågorna om energieffektivisering.

Ett stort tack vill vi rikta till våra handledare Catarina Warfvinge vid avdelningen för Installationsteknik på Lunds Tekniska Högskola och Olle Ingman på Prolog Bygglogistik AB i Malmö för uppmuntran, engagemang och pådriv när vi behövt det som mest. Tack även till alla er som hjälpt oss med information och lösningar på diverse problem samt personalen på avdelningarna för Installationsteknik och Byggnadsfysik för en trevlig tid.

Vi tackar våra familjer och vänner för uppmuntran och tålamod.

Lund september 2004

Ylva Anger och Håkan Ohlsson



Sammanfattning

- Titel:** Sänkta boendekostnader genom energieffektivisering
– *Balans mellan livscykel- och investeringskostnader i nyproducerade flerbostadshus*
- Författare:** Ylva Anger och Håkan Ohlsson
- Handledare:** Catarina Warfvinge
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Avdelningen för Installationsteknik
Lunds Tekniska Högskola

Olle Ingman
Civilingenjör
Prolog Bygglogistik AB
- Problemställning:** Energianvändningen i nyproducerade flerbostadshus har på senare tid ökat trots att kunskap om energieffektivt byggande finns. Minskad energianvändning är en billig försäkring mot ökande driftskostnader eftersom energikostnaden utgör en stor del av en byggnads livscykelkostnad. Problemformuleringen är: ”Kan energieffektiviseringsåtgärder vid nyproduktion av bostäder löna sig på lång sikt?”
- Syfte:** Studiens huvudsyfte är att utreda hur ett långsiktigt perspektiv i en byggprocess projekteringsskede kan påverka fastighetens utformning. Mer specifikt är syftet att utvärdera de befintliga fastigheterna HSB Nibelungen och MKB Rönnen i nämnda avseende.
- Metod:** Energianvändningen i två befintliga flerbostadshus med hyresrätter har utvärderats i energiberäkningsprogrammet VIP+. Alternativa utformningar av klimatskal och återvinningssystem har simulerats och jämförts med de befintliga fastigheterna. Åtgärdernas lönsamhet har på lång sikt bedömts med kapitalvärdemetoden där energipriser och kalkylränta varierats. Åtgärdernas pay back-tid har även beräknats.
- Slutsatser:** Studien visar att de studerade energibesparande åtgärderna är lönsamma vid nybyggnation av flerbostadshus med hyresrätter. Potentialen för besparing av energi för uppvärmning och varmvatten har beräknats till 50 % för både Nibelungen och

Rönnen. Dessa åtgärder har bedömts öka produktionskostnaden med omkring 2 % och totalt sett ge positiva kapitalvärden över en 60-årig livscykel. Men ska framtidens energianvändning inom bostadssektorn kunna minskas måste byggherrarna bli bättre och tydligare i sina krav till projektörer och entreprenörer. Byggherrar verkar inte ha en klar bild över vad energieffektiviseringar kostar i investering. Energieffektiviseringar för befintligt fastighetsbestånd används i kalkyler för nya projekt. Med detta tankesätt kommer framtidens byggnader inte att bli bättre.

Nyckelord: Energianvändning, energieffektivisering, flerbostadshus, nyproduktion, Byggkostnadsforum, HELHETs-projektet, livscykelkostnad, investeringskostnad.

Abstract

Energy use in new residential buildings in Sweden has, in recent years, tended to increase in spite of the present knowledge of energy-efficient building construction. Decreased heating demand is an inexpensive insurance against increasing operation costs. The question to answer in this paper is: "Can energy efficiency measures in new residential rental buildings be profitable in a long-term perspective?" The aim of the paper is to investigate the importance of a long-term perspective during the design phase of a building project on the building's final design, by investigating the two existing buildings HSB Nibelungen and MKB Rönne in Malmö, Sweden.

The energy demands of the two buildings have been estimated with the energy simulation program VIP+, developed by Structural Design Software in Europe AB, Sweden. Alternative designs of the buildings' climate shell and installations have been simulated and the results were compared with existing designs. The life cycle profit of the efficiency measures have been calculated for a range of future energy prices and interest rates. The pay-back time of the measures have also been calculated.

The results imply that the efficiency measures investigated are profitable for residential rental buildings. The energy saving potential amounts to 50 % of the energy needs for heating and hot water purposes in both Nibelungen and Rönne. These measures have been estimated to increase the total construction costs by about 2 %. All investigated measures have positive life cycle profits. However, if the future energy use in the Swedish building sector is to be lowered, the project managers need to become more explicit in formulating their requirements to sub-contractors.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE	2
1.3	MÅLGRUPP	2
1.4	AVGRÄNSNINGAR	2
2	METOD	4
2.1	METODIK	4
2.2	TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	5
3	NULÄGET	6
3.1	ENERGIANVÄNDNING I BOSTADSSEKTORN	6
3.2	BYGGPROCESSEN	8
3.3	REGELVERK INOM BYGGBRANSCHEN	9
3.3.1	<i>Energihushållning</i>	10
3.3.2	<i>Ventilation</i>	12
3.4	MÖJLIGHETER OCH HINDER	14
3.5	KOSTNADER I BYGGSEKTORN	16
3.5.1	<i>Produktionskostnadskalkyl och hyreskalkyl</i>	19
3.5.2	<i>Kostnadsfördelning</i>	20
4	TEORI	22
4.1	ENERGIBALANS I EN BYGGNAD	22
4.1.1	<i>Transmissionsförluster</i>	22
4.1.2	<i>Ventilationsförluster och läckageförluster</i>	24
4.1.3	<i>Övriga energiförluster</i>	25
4.1.4	<i>Gränstemperatur och graddagar</i>	25
4.2	DIMENSIONERANDE EFFEKT	27
4.2.1	<i>Högsta tillåtna värmegenomgångskoefficient</i>	29
4.3	ANALYS AV DRIFTSDATA	29
4.3.1	<i>Meteonorm</i>	32
4.4	BERÄKNINGSPROGRAM	32
4.4.1	<i>VIP+</i>	34
4.4.2	<i>Enorm 1000</i>	35
4.4.3	<i>Val av energiberäkningsprogram</i>	37
4.4.4	<i>Program för köldbryggsberäkning</i>	37
4.5	INVESTERINGSBEDÖMNING	38
4.5.1	<i>Pay back-metoden</i>	38
4.5.2	<i>Kapitalvärdemetoden</i>	39
5	BESKRIVNING AV HSB NIBELUNGEN OCH MKB RÖNNEN	41
5.1	NIBELUNGEN	41

5.2	RÖNNEN.....	42
6	GENOMFÖRANDE.....	46
6.1	MODELLBYGGE.....	46
6.1.1	<i>Driftsstatistik</i>	48
6.1.2	<i>Klimatdata</i>	48
6.2	STUDERADE ÅTGÄRDER.....	49
6.2.1	<i>Nibelungen</i>	50
6.2.2	<i>Rönnen</i>	51
6.3	INVESTERINGSBEDÖMNING.....	53
7	RESULTAT OCH ANALYS.....	56
7.1	NIBELUNGEN.....	56
7.1.1	<i>Befintlig fastighet</i>	56
7.1.2	<i>Utökad isolering</i>	56
7.1.3	<i>Förbättrade fönster</i>	57
7.1.4	<i>Frånluftsvärmepump</i>	59
7.1.5	<i>Säsongstyrd ventilation</i>	60
7.1.6	<i>Kombination av åtgärder</i>	60
7.1.7	<i>Diskussion</i>	62
7.2	RÖNNEN.....	63
7.2.1	<i>Befintlig fastighet</i>	63
7.2.2	<i>Utökad isolering</i>	63
7.2.3	<i>Förbättrade glaspardier</i>	65
7.2.4	<i>Frånluftsvärmepump</i>	66
7.2.5	<i>Kombination av åtgärder</i>	68
7.2.6	<i>Diskussion</i>	69
8	SLUTSATSER.....	71
8.1	RESULTATGENERALISERING.....	72
8.2	STUDIENS TROVÄRDIGHET.....	73
8.3	FORTSÄTTA STUDIER.....	74
9	REFERENSER.....	75
9.1	TRYCKTA KÄLLOR.....	75
9.2	ELEKTRONISKA KÄLLOR.....	77
9.3	MUNTliga KÄLLOR.....	77
	BILAGOR.....	79

Beteckningar

E [Wh]	Energi	
P [W]	Effekt	
Q [W/K]	Specifik effekt	Effektbehov eller effektförlust uttryckt per grad celsius.
T [°C]	Temperatur	
ρ [kg/m ³]	Densitet	
λ [W/(m·K)]	Värmekonduktivitet	Materialkonstant, anger hur bra värme leds genom ett material.
R_p [m ² K/W]	Praktiskt värmemotståndstal	Anger hur mycket värme som passerar genom en specifik bygnadsdel. Beroende av materialets värmekonduktivitet och bygnadsdelens tjocklek.
q [m ³ /s]	Flöde	
c_p [J/(kg·K)]	Värmekapacitet	Materialkonstant, anger hur mycket värmeenergi materialet kan lagra. Ju högre värde desto högre tidskonstant.
τ_b [s]	Tidskonstant	Anger hur länge en byggnads stomme kan lagra energi innan det förloras till omgivningen. Ju högre värde desto "trögare" är materialet på att ta upp och avge energi.
Ψ [W/(m·K)]		Förlustkoefficient för köldbryggor.
U -värde [W/(m ² ·K)]	Värmegenomgångskoefficient	Anger hur mycket värme som passerar genom en specifik bygnadsdel vid en temperaturskillnad över bygnadsdelen på en grad celsius.
$T_{gr\ddot{a}ns}$ [°C]	Gränstemperatur	Den lägsta temperatur önskad innetemperatur kan uppnås i en byggnad utan aktiv uppvärmning.
G_t [°Ch]	Gradtimmar	Anger antalet timmar då en byggnad är beroende av aktiv uppvärmning för att uppnå önskad innetemperatur.
F_s [W/m ² ·K]		Genomsnittlig ytelaterad värmeförlustkoefficient för en byggnad.
$F_{s,krav}$ [W/m ² ·K]		Maximalt tillåtet värde på F_s enligt BBR:s krav.
COP [-]	Värmefaktor	Energiverkningsgrad för värmepumpar. Beräknas som kondensoreffekt dividerat med tillförd eleffekt.

Begrepp

BOA	Boarea	Bruksarea för boutrymmen. Omfattar utrymme ovan mark huvudsakligen avsett för vistelse, hygien, viss förvaring, kommunikation m.m. ¹ Är detsamma som uthyrningsbar area.
BRA	Bruksarea	Area av nyttjandeenhet eller annan grupp sammanhörande mätvärda utrymmen, begränsade av omslutande byggnadsdelars insida eller annan för mätvärdhet angiven begränsning ² .
Internlast		Energi till byggnaden som primärt inte inhandlats för uppvärmning. Omfattar solinstrålning, energi från personer och spillvärme från processer.
F-system	Frånluftsystem	Ventilationssystem där luftflödet styrs av en fläkt i frånluftskanalen.
FT-system	Från- och tilluftsystem	Ventilationssystem där luftflödet styrs av fläktar i både från- och tilluftskanalerna.
FTX-system	Från- och tilluftssystem med värmeväxlare	Ventilationssystem där luftflödet styrs av fläktar i både från- och tilluftskanalerna. Frånluftens energiinnehåll värmer tilluften genom en värmeväxlare.
FVP-system	Frånluftsystem med värmepump	Ventilationssystem där luftflödet styrs av en fläkt i frånluftskanalen. Frånluftens energiinnehåll återvinns till tappvarmvatten eller radiatorvatten med hjälp av en värmepump.

¹ Repab AB (2000): *Årskostnader Bostäder – nyckeltal för kostnader och förbrukningar*. Repab Fakta. Mölndal. ISBN 91-88666-44-1.

² Svensk Areamätning: <http://www.svenskarea.com/valdadelar.html>, 2004-08-23.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Dagens energisituation är ohållbar i ett längre perspektiv. Världens behov av energi tillgodoses i hög utsträckning genom förbrukning av icke förnybara, fossila bränslen och medför stor påverkan på miljö, hälsa och klimat. I Sverige, som i ett internationellt perspektiv ligger långt framme när det gäller förnybar energiförsörjning, motsvarar användningen av fossila bränslen och kärnbränslen 72 % av den totala energianvändningen³. Även användning av förnybar energi medför negativ påverkan på miljön bland annat genom utsläpp av stoft, svavel- och kvävedioxid från förbränning och transporter samt ingrepp i landskapet.

Ett hållbart energisystem där tillförseln på lång sikt täcker behoven kräver åtgärder på både användar-, distributions- och tillförselsidan: ett effektivare utnyttjande hos slutanvändaren och låga förluster under distribution sänker det totala behovet, samtidigt som ett större inslag av förnybara energikällor säkrar försörjningen under ett längre perspektiv. Dessutom krävs att omvandling, distribution och användning sker utan allvarlig påverkan på miljö, hälsa och klimat. Via Kyotoprotokollet, där merparten av världens industriländer är med, regleras utsläpp av koldioxid till atmosfären som ett led i arbetet att minska den antropogena förstärkningen av växthuseffekten. Övriga utsläpp regleras genom nationella åtgärdsprogram, i Sverige genom svavelskatten och kväveoxidavgiften som läggs på produktionssidan.

Bostadssektorns energianvändning har samtidigt varit ett omdiskuterat ämne sedan oljekriserna i början av sjuttioalet, då energipriserna steg kraftigt och sparåtgärder som treglasfönster och tilläggsisolering blev vanligt. Under åttiotalet kom kärnkraften med billig elenergi och luften gick ur sparkampanjerna. Fortfarande ligger användningen i nyproducerade byggnader högre än vad som presterades med sjuttioalets bästa teknik. Framtida energipriser är naturligtvis ett oskrivet kort men att de kommer att öka är knappast någon kontroversiell gissning. Generaldirektoratet för transport och energi i EU räknar i sina prognoser med att energipriserna kommer att öka mer än konsumentprisindex⁴. Minskad energianvändning är därför en billig försäkring mot ökande driftskostnader.

De ökade produktionskostnaderna för bostäder har debatterats allt livligare de senaste åren. År 2001 bildades av regeringen Byggkostnadsforum som ett verktyg för att underlätta arbetet mot sänkta kostnader under produktion och förvaltning av bostäder. Upprinnelsen till detta examensarbete grundar sig på att samtliga instanser och aktörer än så länge verkar ha fokuserat sig på att minimera just byggkostnaderna, medan driftskostnaderna ofta endast beaktas i form av grova nyckeltal. Detta trots att

³ Statens energimyndighet (2003): *Energiläget 2003*. Multityck i Eskilstuna AB, Eskilstuna. ET 20:2003. s 10.

⁴ Elmroth, Arne, Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation, 2004-09-13.

en stor del av boendekostnaden består av kostnader för den energi som används under byggnadens brukstid. Tidiga åtgärder för sänkt energianvändning bör därför i betydande grad kunna medverka till lägre boendekostnader.

1.2 Syfte

Studiens huvudsyfte är att utreda hur ett långsiktigt perspektiv i en byggprocess projekteringskedje kan påverka fastighetens utformning. Detta görs genom att studera de ekonomiska konsekvenserna av olika energibesparingsåtgärder i flerbostadshus upplåtna med hyresrätt. De ekonomiska konsekvenserna innefattar dels effekter på byggkostnaden, som kan förväntas öka på grund av dyrare installationer, ökad arbetsinsats med mera, dels effekter på driftskostnaden, som kan förväntas sjunka genom lägre behov av köpt energi men eventuellt även öka genom ökat behov av underhåll.

Mer specifikt är syftet att utvärdera fastigheterna HSB Nibelungen och MKB Rönnen i nämnda avseende, dels för att de uppfyller kraven flerbostadshus med hyresrätter, dels för att dessa projekt har haft som ett tydligt mål att bygga med hög kvalitet till låga kostnader.

Resultat från studier liknande denna är mycket viktiga för framtida byggprojekt genom att resultaten till viss del kan generaliseras till fler tillämpningar. Syftet med studien är även att bidra till den samlade kunskap och erfarenhet som finns dokumenterad på området och tillsammans med denna utgöra en bas för kunskapsåterföring, som byggherrar har att ta beslut om energiåtgärder utifrån.

Vidare är studiens syfte att öka uppmärksamheten kring energihushållning som ett medel för att nå målet med sänkta boendekostnader.

1.3 Målgrupp

Studiens målgrupp är främst byggherrar som uppför hyresrätter, förvaltare av bostadshus samt projektörer. En annan målgrupp är forskare och teknikutvecklare med intresse och/eller verksamhet i byggbranschen.

1.4 Avgränsningar

Studien är en utvärdering av alternativ och konventionell bygg- och installationsteknik och behandlar endast energibehov till uppvärmning. Användning av hushållsel och varmvatten styrs i högre grad av hyresgästernas beteende och berörs inte i studien även om det är betydelsefullt både för energianvändningen i sig och för uppvärmningsbehovet i bostaden. I denna studie har mängden hushållsel endast uppskattats för bestämning av byggnadens uppvärmningsbehov och de åtgärder som utvärderats påverkar inte i första hand mängden använd hushållsel.

Endast två hyresfastigheter har studerats. Begränsningen i detta är naturligtvis att någon generell bild inte kan ges, utan de uppnådda resultaten gäller för de specifika fastigheterna. Förhoppningen är ändå att slutsatserna skall kunna generaliseras till andra kommande nybyggnadsprojekt. Resultaten från de ekonomiska beräkningarna gäller strikt för upplåtelseformen hyresrätter, medan resultaten från energibesparingsberäkningarna kan gälla även för andra former.

I denna studie har livscykelkostnadsberäkningar, LCC, använts, vilket kan definieras som ”alla kostnader som verkar på byggprocessen, ägare till, förvaltare av och/eller boende i fastigheten under dess livstid”. Härav dras en tidsmässig systemgräns precis innan byggnadsdelar inhandlas till projektet och en precis innan fastigheten rivs. Utvinning av råmaterial liksom hantering av restprodukter efter byggnadens rivning har inte studerats.

De åtgärder som studerats är utökad isolergrad, fönster med högre värmeisoleringsförmåga samt värmeåtervinning på ventilationsluften med värmepump. Åtgärder som inte studerats är bland annat förändrad utformning av stommen, storlek och placering av fönster.

Resultaten är i betydande grad beroende av vilka värden som antagits på kalkylränta, inflation, energipris, lönekostnader och livscykelperiod. Real kalkylränta och nominell energiprisökning har varierats mellan 2 och 6 % i en känslighetsanalys för kapitalvärden. Inflationen har satts till 2 %, lönekostnaden till 115 kr plus omkostnader, dagens energipris till 65 öre per kilowattimme för fjärrvärme respektive 1 kr per kilowattimme för el. Livscykelperioden har varit 60 år.

2 Metod

2.1 Metodik

I studien har problemet ”hög energianvändning i nyproducerade flerbostadshus” från författarnas sida främst betraktats som ett problem ur miljöbelastningssynpunkt samt ett ekonomiskt problem för boende och förvaltare. Ansatsen har varit att öka uppmärksamheten på de ekonomiska aspekterna med hög energianvändning, för att skapa incitament för parter som primärt styrs av ekonomiska lönsamhetskrav, att minska sin energianvändning.

Problemformuleringen är i grunden teoretisk: kan energieffektivisering löna sig i ett livstidsperspektiv för nybyggda hyreshus? Till hjälp för att besvara frågan används empirin i form av två valda hyresfastigheter där simuleringar och studier av driftsdata genomförts. Resultatgeneralisering har sedan syftat till att göra resultaten mer allmängiltiga för liknande empiriska situationer samt att bidra till skapandet av en teori för området energieffektivisering i nybyggda hyreshus. Detta angreppssätt kallas deduktivt.

Arbetet är en kvantitativ studie över energianvändningen i två relativt nybyggda flerbostadshus. Den övergripande frågeställningen om ökande energianvändning i bostadssektorn innehåller både kvalitativa och kvantitativa aspekter. Kvantitativa aspekter är bland annat:

1. Finns trovärdiga data för påståenden om ökande energianvändning i nybyggda flerbostadshus?
2. Hur påverkar olika typer av byggnads- och installationstekniska åtgärder en fastighets energianvändning?
3. Hur påverkar minskad energianvändning fastighetens kostnad på lång sikt?
4. Hur säkra är beräknade resultat vid verklig drift? Hur bra är modeller som använts?

Punkt ett ovan kommer att behandlas i kapitel 3 Nuläget, som är en genomgång av dagens situation i bygg- och energibranscherna. Punkt två och tre utgör examensarbetets huvudsakliga frågeställning och diskuteras framförallt i kapitel 7 Resultat och analys samt 8 Diskussion. Punkt fyra innehåller både kvantitativa och kvalitativa aspekter (se nedan) och är en viktig fråga för bedömning av resultatens tillämpbarhet. Modeller som använts i studien kan innehålla brister som gör resultaten mindre relevanta eller helt oanvändbara. Punkt fyra tar upp denna aspekt och detta diskuteras i kapitel 6 Genomförande samt kapitel 8 Diskussion.

Den kvalitativa aspekten tar även hänsyn till beteende hos inblandade parter, en faktor som kan få stor inverkan på det faktiska resultatet. Kvalitativa frågor är bland annat:

1. Hur och varför har situationen med ökande energianvändning uppkommit?
2. Vad påverkar den verkliga driften som kan göra att den avviker från teoretisk beräkning?
3. Hur kan genomförande av livscykelbedömningar motiveras?
4. Hur pålitligt är antagandet att lägre livscykelkostnader för utredda åtgärder leder till att de genomförs? Vilka andra faktorer påverkar investeringsbeslut i projekten?
5. Hur kan styrmedel utformas för att utgöra incitament för berörda parter och hur verkar dessa?

Dessa frågeställningar ingår inte i studiens huvudsyfte, men diskuteras på olika ställen i rapporten för att öka resultatens tillämpbarhet. Punkt ett tas upp i kapitel 3 Nuläget som bakgrund till studien och punkt två, tre och fyra behandlas översiktligt i kapitel 8 Diskussion, medan punkt fem lämnas till framtida studier. Förståelse av dessa typer av frågor är av stor vikt för att få användning av resultatet från den kvantitativa studien.

2.2 Tillvägagångssätt

För att svara på frågan ”kan energieffektivisering löna sig i ett livstidsperspektiv för nybyggda hyreshus?” bedöms energianvändning och energikostnad för två fastigheter över deras livstid och jämförs med olika fall där byggnaderna utformats med energieffektiva konstruktionslösningar och installationer.

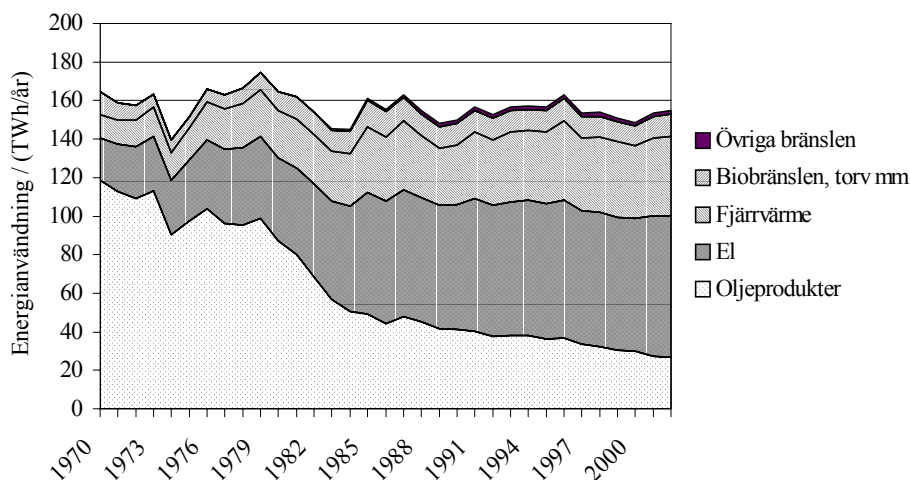
Utvärderingen av åtgärderna har skett genom simuleringar av byggnadernas värmebehov i energiberäkningsprogrammet VIP+. De åtgärder som valts för utvärdering är klimatskalets isolergrad, energiåtervinningssystem på ventilationsluften, utformning av installationssystem samt kombinationer av dessa åtgärder. Dessutom har incitament för brukare att sänka sin energianvändning diskuterats, men dessa typer av åtgärder kan inte utvärderas genom simulering varför resonemanget är av mer generell karaktär.

Åtgärdernas livscykelkostnader, LCC, har bedömts med hjälp av kapitalvärdemetoden. Känslighet för framtida energipris och vald kalkylränta har dessutom studerats genom att variera dessa parametrar. Pay back-tid har även beräknats.

3 Nuläget

3.1 Energianvändning i bostadssektorn

Cirka 39 % av Sveriges totala energianvändning, totalt 155 TWh, utgörs av sektorn "Bostäder och service mm". Drygt 60 % av detta går till uppvärmning och varmvatten. Figur 3.1 nedan åskådliggör energianvändningen i sektorn från 1970 till idag uppdelad på energibärare.



Figur 3.1 *Energianvändning inom sektorn Bostäder och service mm år 1970-2002 uppdelad på energibärare⁵.*

Den totala användningen har legat relativt konstant sedan 1970-talet, trots att total uppvärmd area ökat, genom stadigt sjunkande energianvändning per kvadratmeter uppvärmd area. Effektiviseringen tog fart efter oljekriserna på 70-talet då priserna på framförallt fossil energi från mellanöstern steg kraftigt. Åtgärder som fönsterbyte och tilläggsisolering blev vanligt och energispartips till hushållen spreds över landet. Under slutet av sjuttioalet och början av åttiotalet expanderade kärnkraftsproduktionen i Sverige som levererade billig elenergi och effektiviseringen kom av sig. De senaste åren har energianvändningen per golvyta istället ökat, enligt en forskningsrapport från Chalmers Tekniska Högskola 2003⁶.

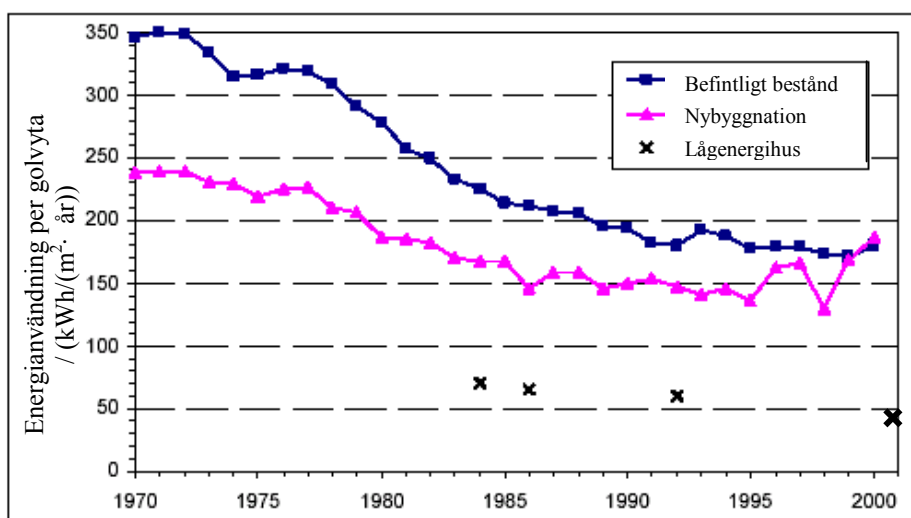
I ovan nämnda rapport bedöms den effektivisering som skett sedan 1970-talet inte leva upp till potentialen, då den endast balanserat den ökande produktionen. Produktionstakten avstannade dock under den senare delen av 90-talet, utan att den

⁵ Statens energimyndighet (2003): *Energiläget 2003*, Multityck i Eskilstuna AB, Eskilstuna. ET 20:2003. s 29.

⁶ Nässén, Jonas och Holmberg, John (2003): "Energy efficiency – a forgotten goal in the Swedish building sector?" *Energy Policy* (in press).

totala användningen sjönk. En del av det som ser ut som effektivisering härstammar dessutom från en förflyttning av förluster: många bostäder konverterades under denna tid från individuell till central uppvärmning, varvid förlusterna flyttades utanför bostaden.

Riksmedelvärdet på energianvändning per bruksarea⁷ i nybyggda flerbostadshus i Sverige år 2000 låg i nivå med den i slutet av 1970-talet och översteg det totala byggnadsbeståndets medelvärde år 2000. Samtidigt har energieffektiva flerbostadshus presenterats som använder mindre än en tredjedel av riksmedelvärdet, enligt rapporten. Figur 3.2 nedan visar hur energianvändningen per area i flerbostadshus varierat från början av 1970-talet till idag.



Figur 3.2 Tillförd energi för uppvärmning och varmvatten i flerbostadshus från 1970 till idag. Förluster inom byggnaden ingår men inte förluster utanför byggnaden. Kryssen visar exempel på projekt och illustrerar bästa möjliga teknik⁸.

I figuren ses att det befintliga byggnadsbeståndet under långa perioder har förbättrats snabbare än nybyggnationen respektive år, vilket kan utläsas som att åtgärder i äldre byggnader svarat för större del av den totala förbättringen än teknikutveckling vid nybyggnation.

⁷ Statistiska Centralbyrån (2003): *Energistatistik för flerbostadshus. EN16 SM 0303*. Sveriges officiella statistik - Statistiska meddelanden, Serie EN. ISSN 1404-5869. s 33.

⁸ Nässén, Jonas och Holmberg, John (2003): "Energy efficiency – a forgotten goal in the Swedish building sector?" *Energy Policy* (in press).

Några tänkbara anledningar till den negativa utvecklingen lyfts fram i Nässén och Holmbergs rapport:

- Byggherrarna har ofta för dåliga kunskaper om byggprocessen för att kunna ställa krav och få igenom sina önskemål hos entreprenörerna.
- Regelverket är tandlöst och ställer inte de krav som skulle kunna tvinga fram en förändring.
- Incitament för förändrat beteende hos brukarna är alltför svaga.
- Intresset är stort för stora glasade ytor i dagens byggnadsdesign.
- Byggbranschen fokuserar på byggkostnad istället för livscykelkostnad.

Regeringen har antagit ett mål för byggsektorn att miljöbelastningen från bostäder och lokaler skall minska och 2010 vara lägre än 1995⁹. För att detta ska kunna förverkligas krävs kraftfulla åtgärder inom byggbranschen. Nedan följer en närmare beskrivning av byggprocessen, dess aktörer och de regelverk som sätter upp villkoren för utveckling inom branschen.

3.2 Byggprocessen

Den process som omfattar uppförandet av en fastighet är långsiktig och komplex i antalet aktörer. Dessa aktörer har olika perspektiv på projektet och därmed olika intressen. En kort beskrivning av de olika parterna följer nedan:

- *Byggherren* är projektets beställare och har samordningsansvar för projektet. Byggherren är angelägen om att det färdigställda huset motsvarar dennes förväntningar och krav, och har även ansvaret för att lagar och bestämmelser efterföljs.
- *Byggledningsföretag* tar över samordningsansvaret i de fall byggherren väljer att inte hålla i det själv utan köpa in tjänsten.
- *Projektörerna* utformar projektet efter byggherrens specifikationer.
- *Entreprenören* har kontrakt med byggherren att utföra delar av eller hela produktionen. Formen för entreprenaden varierar mellan olika former, bland annat totalentreprenad, då totalentreprenören upphandlar underentreprenörer och delad entreprenad, då flera entreprenörer är direkt underställda byggherren.
- *Förvaltaren* sköter underhåll och drift av fastigheten efter att den färdigställts. Förvaltaren kan vara samma person som byggherren, som då byggt för egen förvaltning, eller någon som anlitats för förvaltning av den färdigställda fastigheten. Förvaltarens intresse ligger i att byggnaden håller hög kvalitet och har en lång livslängd med små underhållskrav.

⁹ Regeringen (2001): *Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier*. Regeringens Proposition 2000/01:130. s 172.

Beroende på dels entreprenadformen, dels om byggherren bygger för försäljning eller för egen förvaltning, ser relationerna mellan parterna och de drivande intressena i projektet olika ut. För byggherrar som bygger för försäljning är intresset i fastigheten kortsiktigare än då fastigheten behålls under en längre tidsperiod. Motivet för att bygga är för dessa byggherrar avkastningsmöjligheten vid försäljning, medan den byggherre som kommer att förvalta huset i egen regi måste ha förvaltarens perspektiv redan vid projektering och produktion. Då produktionen sker genom totalentreprenad har byggherren mindre insikt i processens olika skeden och färre möjligheter att göra aktiva val av material, metoder, leverantörer med mera än om byggherren, som vid delad entreprenad, själv har samordningsansvar.

Byggbranschen är en ”gammal” bransch i den mening att dagens produktionsmetoder i mångt och mycket bygger på gamla traditioner. Historiskt sett var arkitekten den som drev byggprocessen från idé till färdig byggnad. Idag är arkitekten bara en av personerna i projekteringsstaben. Tendensen på senare tid är att byggherren oftare än tidigare väljer att driva projekten som totalentreprenader¹⁰. Genom denna entreprenadform överlåter byggherren oftast bygglidningsansvaret till ett bygglidningsföretag, vars uppgift är att se till att byggherrens önskemål blir verklighet. Utöver detta är det i stort sett upp till entreprenören att avgöra byggnadens konstruktion och materialval.

I många av samhällets sektorer har den ökande konkurrensen tvingat fram en kompetensökning hos yrkesarbetaren. Denna utveckling har till viss del saknats i byggbranschen. I många generationer har behovet av kunskap, trots introduktion av nya byggnadsmaterial och produktionsmetoder, sett ungefär likadant ut. Nyutbildade oerfarna byggnadsarbetare har fått lära sig arbetsrutiner av äldre och mer erfarna yrkesutövare.

3.3 Regelverk inom byggbranschen

All verksamhet inom bostadsbyggande gäller under någon av de lagar och föreskrifter som finns på området, varav de viktigaste är:

- Boverkets bygg- och konstruktionsregler (BBR resp BKR)
- Plan- och bygglagen (PBL)
- Lagen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m. (BVL)
- Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten (Hus-AMA)

Enligt dessa regelverk är det byggherren som ytterst ansvarar för att bygget och den färdiga byggnaden uppfyller gällande bestämmelser. Boverkets byggregler, i sin nuvarande form BBR 94, innehåller föreskrifter och allmänna råd till de övriga bestämmelserna nämnda ovan. BBR omfattar byggnadens utformning, bärförmåga, stadga och beständighet, brandskydd, inneklimat, tappvatten och avloppsvatten, utsläpp till omgivningen, bullerskydd, säkerhet vid användning samt

¹⁰ Johansson, Marcus, HSB Sundsfastigheter. Telefonkontakt, 2004-05-20.

energihushållning och värmeisolering. Föreskrifterna gäller vid nybyggnation samt för tillbyggda delar vid tillbyggnation, undantaget fritidshus med högst två bostäder.¹¹

Hus-AMA beskriver standardutföranden av byggdetaljer enligt ett kodsysteem som underlättar kommunikationen mellan konstruktör och entreprenör om hur arbete skall utföras på plats¹². Innehållet i Hus-AMA kan till viss del anses styrande för hur konstruktionsdetaljer utförs.

För de flesta åtgärder inom byggande krävs bygglov, vilket omfattar byggnadens lokalisering och yttre utformning men inte de tekniska egenskaperna. För tillsynen av att reglerna följs ansvarar kommunernas byggnadsnämnder.

3.3.1 Energihushållning

Enligt BBR:s bestämmelser om energihushållning skall byggnader vara utformade så att energibehovet begränsas genom låga värmeförluster och effektiv användning av värme och el. Undantagna är byggnader ”som endast används kortare perioder eller där inget uppvärmningsbehov föreligger under större delen av uppvärmningsperioden”¹³, det vill säga semesterbostäder, kallgarage och lagerlokaler med mera. Kraven som ställs på byggnaden formuleras dels i form av tre delkrav som gäller värmeförluster genom klimatskalet, lufttäthet samt minskad energianvändning, dels i form av en beräknad energianvändning för ett så kallat referenshus. En byggnad uppfyller bestämmelserna om antingen de tre delkraven är uppfyllda eller om det kan visas att energibehovet inte är högre än för motsvarande referensbyggnad, vilket görs genom en så kallad omfördelningsberäkning¹⁴. Gällande en fastighets elanvändning är kravet vagt formulerat men råden anger att kravet är uppfyllt om installationer för fast belysning, ventilation med mera är dimensionerade för ett lågt effekt- och energibehov.

Tre delkrav

Det första av de tre delkraven begränsar värmeförlusterna genom att klimatskalets isolergrad regleras. Byggnadens genomsnittliga ytrelaterade värmeförlustkoefficient, F_s , som är ett mått på den mängd värmeenergi som passerar genom klimatskalet när det råder en temperaturskillnad mellan insida och utsida, skall beräknas. Koefficienten får inte överstiga en högsta tillåten koefficient, $F_{s,krav}$, som beräknas specifikt för varje byggnad, med hänsyn till andelen fönster. Beräkning av dessa

¹¹ Boverket (2002): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 2002:19*. Elanders Gotab, Vällingby. Upplaga 4:1. ISBN 91-7147-718-7. § 9:1.

¹² AB Svensk Byggtjänst (1998): *Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten (Hus-AMA)*. Liber tryck, Stockholm. ISBN 91-7332-164-8.

¹³ Boverket (2002): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 2002:19*. Elanders Gotab, Vällingby. Upplaga 4:1. ISBN 91-7147-718-7. § 9:1.

¹⁴ Anderlind, Gunnar och Stadler, Claes-Göran (2004): *Isolerguiden – en vägledning till Boverkets byggregler om energihushållning och värmeisolering*. Utg. Swedisol. Åbergs tryckeri, Tomelilla. ISBN 91-973761-6-7. s 23.

koefficienter beskrivs i kapitel 4 Teori. Detta krav är relativt vagt i sin utformning eftersom det endast reglerar byggnadens medelvärde. Vissa byggnadsdelar kan således, i en godkänd byggnad, vara dåligt isolerade men vägas upp av att någon annan del är extra välisolerad. Problemet med en sådan byggnad är att risken för komfortproblem på grund av bland annat kallras från fönster ökar.

Delkrav nummer två ställer krav på att det genomsnittliga luftläckaget i bostäder vid 50 Pa tryckskillnad, betecknat q_{50} , inte får överstiga 0,8 liter per sekund och kvadratmeter omslutningsarea.

Det tredje delkravet gäller för byggnader där ventilationsförlusterna är större än 2 MWh energi per år och där uppvärmningen till största delen tillgodoses med kol, olja, gas eller torv, eller med el under perioden november till mars. I sådana byggnader skall särskilda anordningar installeras som begränsar energiförlusterna med minst 50 % av den energimängd som åtgår för uppvärmning av ventilationsluften¹⁵. Anordningar kan vara till exempel återvinningsanläggning på ventilationsluften, solvärmeinstallation eller utökad isolering.

Omfördelningsberäkning

Om något av ovanstående delkrav inte uppfylls kan byggnaden ändå uppfylla kraven på energihushållning om det kan visas att byggnadens uppvärmningsbehov inte överstiger den mängd som skulle ha behövts om kraven hade uppfyllts. Genom att beräkna energibehovet för ett referenshus som precis uppfyller BBR:s krav kan det fastställas om den aktuella byggnadens energibehov understiger detta. I princip gäller alltså att ett sämre klimatskal kan kompenseras genom andra åtgärder som sänker byggnadens energibehov. För att en byggnad skall godkännas genom omfördelningsberäkning gäller dock att den genomsnittliga värmeförlustkoefficienten inte får överstiga den högsta tillåtna med mer än 30 procent. För byggnader som är undantagna från det tredje delkravet enligt ovan får inte mer än hälften av energibesparingen från installationer enligt delkrav tre tillgodoräknas i energibalansen.

Kravnivån är anpassad för södra Sveriges klimat och likadant formulerad oberoende av var i Sverige byggnaden uppförs, med motivet att underlätta serieproduktion¹⁶. Naturligtvis blir uppvärmningsbehovet för en identisk byggnad högre i norra Sverige, vilket innebär att en högre isolergrad är lönsam i norr än i söder.

¹⁵ Boverket (2002): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 2002:19*. Elanders Gotab, Vällingby. Upplaga 4:1. ISBN 91-7147-718-7. § 9:3.

¹⁶ Anderlind, Gunnar och Stadler, Claes-Göran (ed.) (2004): *Isolerguiden – en vägledning till Boverkets byggregler om energihushållning och värmeisolering*. Utg. Swedisol. Åbergs tryckeri, Tomelilla. ISBN 91-973761-6-7. s 27.

3.3.2 Ventilation

Samtidigt som krav ställs på energihushållning finns även regler för att säkerställa en god inomhusmiljö, bland annat genom krav på lägsta ventilationsflöde. BBR anger att luftomsättningen i rum när de används skall vara minst 0,35 liter per sekund och kvadratmeter golvarea. I de allmänna råden anges dessutom rekommenderade nivåer på frånluftsflöde i kök och badrum samt tilluftsflöde i utrymmen för sömn och vila, se Tabell 3.1. Dessa rekommenderade värden betraktas som regler och i små lägenheter höjs ofta omsättningen över det egentliga kravet för att klara nivåerna i de frånluftsventilerade rummen. Utöver detta ställs krav på möjlighet till vädring genom öppningsbart fönster eller vädringslucka i alla rum avsedda för daglig samvaro, matlagning eller för sömn och vila.

Tabell 3.1 Rekommenderade till- och frånluftsflöden i bostäder, allmänna råd enligt BBR94¹⁷

Tilluft	
Utrymme	Minsta luftflöde
Rum eller del av rum för sömn och vila	4 l/s per sovplats
Frånluft	
Utrymme	Minsta luftflöde
Kök	10 l/s, forcering med minst 75 % uppfångningsförmåga för luftföroreningar
Pentry, kokvrå	15 l/s
Bad- eller duschrum med öppningsbart fönster	10 l/s ⁱ
Bad- eller duschrum utan öppningsbart fönster	15 l/s ⁱⁱ eller 10 l/s ⁱ med forcering till 30 l/s
Toaletterum	10 l/s
Städrum	3 l/s per m ² golvarea, dock minst 15 l/s
Tvättstuga, torkrum	10 l/s ⁱ
Avfallsrum	5 l/s per m ² golvarea
Avfallsrum avsett enbart för torra sopor	0,35 l/s per m ² golvarea
Sopnedkast	50 l/s
Hisschakt	8 l/s ⁱⁱ per m ² schaktarea
Garage (antal parkeringar/plats ≤ 1 per 8 tim.)	0,9 l/s ⁱⁱⁱ per m ² golvarea
Garage (antal parkeringar/plats > 1 per 8 tim.)	1,8 l/s ⁱⁱⁱ per m ² golvarea

ⁱ Om golvarean är större än 5 m², bör frånluftsflödet ökas med 1 l/s för varje tillkommande kvadratmeter därutöver. Om man skall kunna installera tvättmaskin, torktumlare eller liknande i badrum, bör ökade krav ställas på luftväxling.

ⁱⁱ Om hisschakt ventileras med självdrag, bör ventilationsöppningarnas sammanlagda area vara minst 0,01 m²/m² schaktarea.

ⁱⁱⁱ Om garage ventileras med självdrag och golvarean är större än 50 m² bör ventilationsöppningarnas sammanlagda area vara minst 0,03 m²/m² golvarea när antal parkeringar/plats ≤ 1 under den mest belastade 8-timmarsperioden. Vid livligare parkeringstrafik bör ventilationsöppningarnas sammanlagda area vara minst 0,06 m²/m² golvarea. Om garage ventileras med självdrag och golvarean i garaget är mindre än 50 m², bör ventilationsöppningarnas sammanlagda area vara minst 0,002 m²/m² golvarea.

Vidare ställs komfortkrav på att ventilationsinstallationerna utformas så att besvärande drag undviks, vilket enligt allmänna råden uppfylls om lufthastigheten i rum där människor vistas mer än tillfälligt är högst 0,15 meter per sekund under uppvärmningssäsong och högst 0,25 under resterade tid. Från- och tilluftsdon skall utformas och placeras på ett sätt som möjliggör flödesmätning, justering och rengöring. Krav på täthet och tryckförhållanden mellan till- och frånluftsinstallationer ställs för att säkerställa att luft inte trycks ut bakvägen genom tilluftsdon.

¹⁷ Boverket (2002): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 2002:19*. Elanders Gotab, Vällingby. Upplaga 4:1. ISBN 91-7147-718-7. § 6:2.

3.4 Möjligheter och hinder

Det finns gott om exempel på energieffektiviserande åtgärder som genomförts i olika byggprojekt och som gett varierande resultat på både energianvändning och kostnader. Gemensamt för många av dem är dock att de ingår i någon form av lågenergiprojekt, drivna och finansierade av "eldsjälar", där det väsentliga ofta har varit att dokumentera energieffektiviteten av olika åtgärder, medan kostnaderna har kommit i andra hand.

Dessa projekt utgör en ovärderlig källa till kunskap när de utvärderas och resultaten görs tillgängliga för allmänheten. Men de flesta hus som byggs i Sverige är trots allt styrda av ekonomiska avkastningskrav och resultaten från dessa "experimenthus" är därför inte direkt tillämpbara på flertalet byggprojekt i landet. Det finns framförallt två skäl till varför energi- och kostnadsutvärderingar måste göras på "vanliga" hus:

- *ekonomin* – kostnadsbilden ser annorlunda ut för ett flerbostadshus med hyresrätt än för ett enfamiljshus i privat ägo. Byggherren driver dessutom en verksamhet med avkastningskrav till skillnad från den enskilde villaägaren.
- *funktionaliteten* – driftsituationen ser annorlunda ut och installationerna måste anpassas efter detta. De framtida hyresgästernas vanor och livsstil är okända och kan inte heller påverkas, vilket leder till ökade krav på funktionalitet utan "hjälp" från de boende.

Regeringen har antagit ett mål för byggsektorn att miljöbelastningen från bostäder och lokaler skall minska och 2010 vara lägre än 1995¹⁸. Målet skall nås genom ökad användning av fritt tillgänglig energi i form av bland annat solvärme, värmepumpar och spillvärme från olika processer och åtgärderna skall först och främst riktas mot byggnader som värms med el eller fossil energi. Regeringen räknar dessutom med att 10 procentiga besparingar kan göras endast genom justeringar av ineffektiva system i det befintliga byggnadsbeståndet.

För att målsättningen skall kunna förverkligas krävs kraftfulla åtgärder inom byggbranschen. Boverket vill bland annat införa obligatoriska energideklarationer, som ska ligga till grund för objektspecifiserade effektiviseringsåtgärder. Sparåtgärder skall sänka fastighetsskatten och kan eventuellt utgöra villkor för vissa ekonomiska stöd.¹⁹ Energicertifiering av byggnader är ett medel som redan är infört i ibland annat Danmark och enligt ett EU-direktiv skall system för energicertifiering i medlemsländerna träda i kraft senast år 2006. Direktivet innebär att för alla byggnader större än 1 000 kvadratmeter skall ett certifikat upprättas med uppgifter om aktuell beräknad energiprestanda, referensvärden för liknande byggnader samt

¹⁸ Regeringen (2001): *Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier*. Regeringens Proposition 2000/01:130. s 172.

¹⁹ Boverket (1999): *Byggsektorns miljömål*. Just nu, Karlskrona. ISBN: 91-7147-572-9. Publ. på: <http://www.boverket.se/novo/filelib/arkiv03/sekmal03.pdf>, 2004-08-26.

rekommenderade energisparåtgärder²⁰. Energicertifikaten skall dessutom underlätta för användning av hög energiprestanda som säljargument.

Fördelningsmätning

Fördelningsmätning med individuell debitering syftar till att ge hyresgästen ekonomiska incitament att minska sin energianvändning, genom att synliggöra energikostnaderna. Två olika metoder är

- *värmemängdsmätning*, där den energimängd som används för uppvärmning mäts och brukaren debiteras per kilowattimme, och
- *komfortmätning*, där brukaren debiteras efter innetemperaturen.

Motiveringar för den senare metoden är att variationer mellan lägenheterna som inte påverkas av brukaren själv inte heller skall belasta denne, till exempel högre energibehov i hörnlägenheten, köldbryggor på grund av slarv i en konstruktionsdel och liknande.

Ett problem som kan följa av att uppvärmningskostnaderna överförs på hyresgästen är att förvaltarens intresse av att effektivisera byggnaden minskar. Det finns dock sätt att kringgå detta, till exempel genom att införa en ”minimitemperatur” som ingår i hyran. Under denna gräns betalar följaktligen förvaltaren för uppvärmningen och incitamenten för ett effektivt system verkar på samma sätt som i ett konventionellt system. Över minimitemperaturen betalar hyresgästen själv för värmen och här verkar således incitamenten på hyresgästen. Den sänkta driftskostnaden uppkommer då genom att de boende vill sänka sin egen boendekostnad.

En undersökning²¹ från 2003 av åtta fastigheter där fördelningsmätning installerats visar att kostnaden för installation av mätsystemet varierar mellan 4 450 och 5 500 kronor per lägenhet och att energibesparingen var mellan 1 och 41 % på varmvatten och mellan 4 och 32 % på uppvärmning. Pay back-tiden för systemen beräknades i studien till mellan 4,07 och 8,67 år. Undersökningen behandlar endast installation av system i äldre fastigheter på grund av önskemålet att kunna jämföra användningen före och efter installationstillfället. Fastigheterna är byggda mellan 1930 och 1985 och fördelningsmätning infördes mellan 1997 och 2003. Vid nyproduktion kan installationskostnaderna förväntas vara lägre än vid installation i äldre bostäder, men även besparingen kan i nybyggda hus bli lägre på grund av energianvändningen redan innan är jämförelsevis låg genom bättre klimatskal.

Ett av Sveriges allmännyttiga bostadsföretag, Helsingborgshem AB, har installerat fördelningsmätare i delar av sitt bostadsbestånd sedan 1997 och idag görs det vid all

²⁰ Schultz, Linda (2003): *Energicertifiering – EU-direktiv om byggnaders energiprestanda*. Effektiv-rapport 2003:02. ISBN 91-7848-937-7. s 3.

²¹ Tenggren, Peter (2003): *Ekonomisk besparing vid fördelningsmätning*. Examensarbete. Avdelningen för byggnadsekonomi, Lunds Tekniska Högskola.

nybyggnation och en del befintlig bebyggelse efterhand²². I Lunds Kommunala Fastighetsbolag har fördelningsmätning bland annat installerats i lågenergiprojektet JönsOls från 2001. Uvärderingar av detta projekt har lett till att systemet nu installeras i all nybyggnation²³. Även HSB Sundsfastigheter i Malmö har några fastigheter med fördelningsmätning med goda resultat.

Säsongstyrd ventilation

Vid uppförandet av små lägenheter som är fullt utrustade med kök och badrum är risken stor att luftomsättningen på grund av ventilation blir hög. Detta beror på att det i BBR finns råd om att kök och badrum ska ventileras med luftflöden enligt tabell 3.1 ovan. Då detta bara är råd kan ventilationsflödet under vinterhalvåret sänkas till kravet på 0,35 liter per sekund och kvadratmeter golvarea, som ger en omsättning på ungefär 0,5 omsättningar per timme. BBR:s råd om luftväxling i kök och badrum grundar sig på att undvika fuktskador. Risken för fuktskador under vinterhalvåret är så pass små att de kan försummas.

Flödesincitament för fjärrvärme

Fjärrvärmeleverantören Sydkraft tillämpar i Malmö ett system med flödesincitament. Detta innebär att fjärrvärmeföretaget antingen kan reduceras eller höjas beroende på om abonnenten har en avkylning på fjärrvärmevattnet som ligger över eller under referensavkylningen. Abonnentens medelavkylning, det vill säga temperaturdifferensen på vattnet mellan framledning och returledning, mäts idag under tiden januari till mars. Referensavkylningen ligger på 48 °C. Den abonnent som har en medelavkylning större än 48°C får en flödesbonus på 13 öre/(m³·°C) medan den abonnent som har en medelavkylning mindre än 48 °C får en flödesavgift på 8 öre/(m³·°C). Sydkraft planerar att utöka tidsperioden för mätning av medelavkylningen till att omfatta även november och december. Vidare förs det diskussioner inom Sydkraft att införa en speciell taxegrupp för de abonnenter som har installerat värmepumpar som arbetar mot uteluft, grundvatten eller mark och bara använder fjärrvärmesystemet för spetslast den kallaste tiden på året. Denna taxegrupp skulle få betala en högre taxa än övriga abonnenter, men skulle inte omfatta dem som installerar frånluftsvärmepumpar.²⁴

3.5 Kostnader i byggsektorn

Produktionskostnaderna för bostäder har från slutet av 1960-talet fram till idag ökat med cirka 230 % med en topp i början av 1990-talet på ca 240 %²⁵. Det är idag inte ovanligt med produktionskostnader på 16-17 000 kr/m² för ordinära lägenheter. Det förekommer även fall där produktionskostnaden är avsevärt mycket högre men dessa

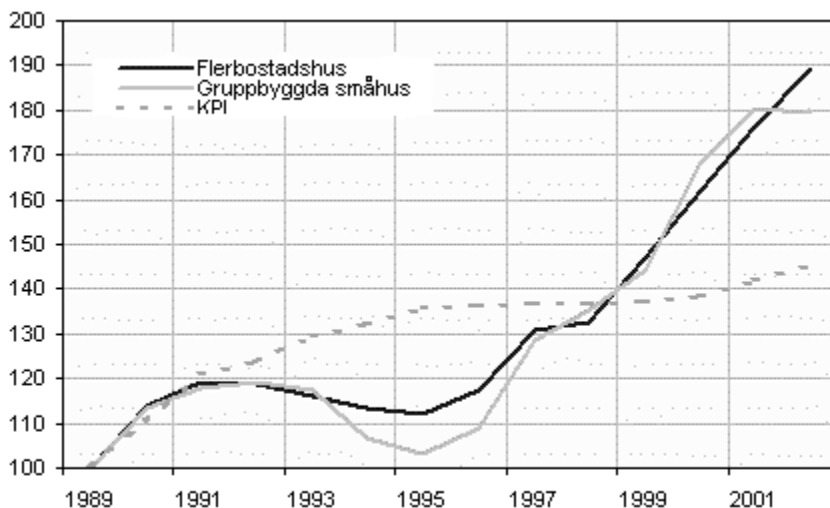
²² Persson, Kjell, Helsingborgshem AB. Telefonkontakt 2004-05-10.

²³ Warfvinge, Catarina, Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation, april 2004.

²⁴ Frisk, Mia, Sydkraft Försäljning AB. Telefonkontakt, 2004-05-03.

²⁵ Näringsdepartementet, betänkande från Byggekostnadsdelegationen (2000): *SOU 2000:44. Från byggsekt till byggsektor*. s58.

är inte representativa för den kategori av lägenheter som behandlas i denna rapport²⁶. För att göra en jämförelse med övrig kostnadsutveckling i samhället kan förhållandet mellan byggnadsprisindex och konsumentprisindex under tidsperioden 1989 till 2002 avläsas i Figur 3.3 nedan.



Figur 3.3 Byggnadsprisindex med avdrag för bidrag samt konsumentprisindex (KPI). Bidragen varierar kraftigt mellan åren vilket bidrar till variationerna i byggnadsprisindex.²⁷

Med anledning av de ökande produktionskostnaderna för bostäder beslutade regeringen 1996 att tillsätta en byggkostnadsdelegation för att arbeta för långsiktigt sänkta produktions- och förvaltningskostnader för bostäder. I delegationens slutbetänkande "Från byggsekt till byggsektor"²⁸ som utkom 2000 föreslogs att ett långsiktigt program för effektivisering av byggprocessen skulle inrättas under Boverket. Som en följd av detta slutbetänkande bildades under 2001 Byggkostnadsforum (vidare kallat BKF). BKF skall verka som en kunskapsbas för att "stimulera till och underlätta för nyproduktion av långsiktigt hållbara bostäder upplåtna med hyresrätt för hushåll med vanliga inkomster"²⁹. Fokus ligger på utveckling av byggprocessen, även om vikten av bibehållen hög kvalitet och sänkta livscykelkostnader omnämns. BKF:s uppdrag är att följa upp byggkostnadsdelegationens arbete genom att fungera som erfarenhetscentrum och medverka till att byggprojekt utvärderas på ett enhetligt och professionellt sätt. Vidare ska BKF tillgängliggöra forsknings- och utvecklingsresultat inom ämnesområdena planering,

²⁶ Modig, Sonny (2003): BKF-Konferens 21-22 oktober 2003: *Det går att bygga hyresrätter som hushåll med vanliga inkomster har råd med – även i Sveriges tillväxtregioner*. publ. på <http://www.boverket.se/novo/filelib/arkiv09/bkfsthlm/s.modig.pdf>, 2004-03-30.

²⁷ Statistiska Centralbyrån (2004): *Byggnadsprisindex*. http://www.scb.se/templates/tableOrChart_26943.asp, 2004-07-28.

²⁸ SOU 2000:44. Byggkostnadsdelegationens betänkande *Från byggsekt till byggsektor*.

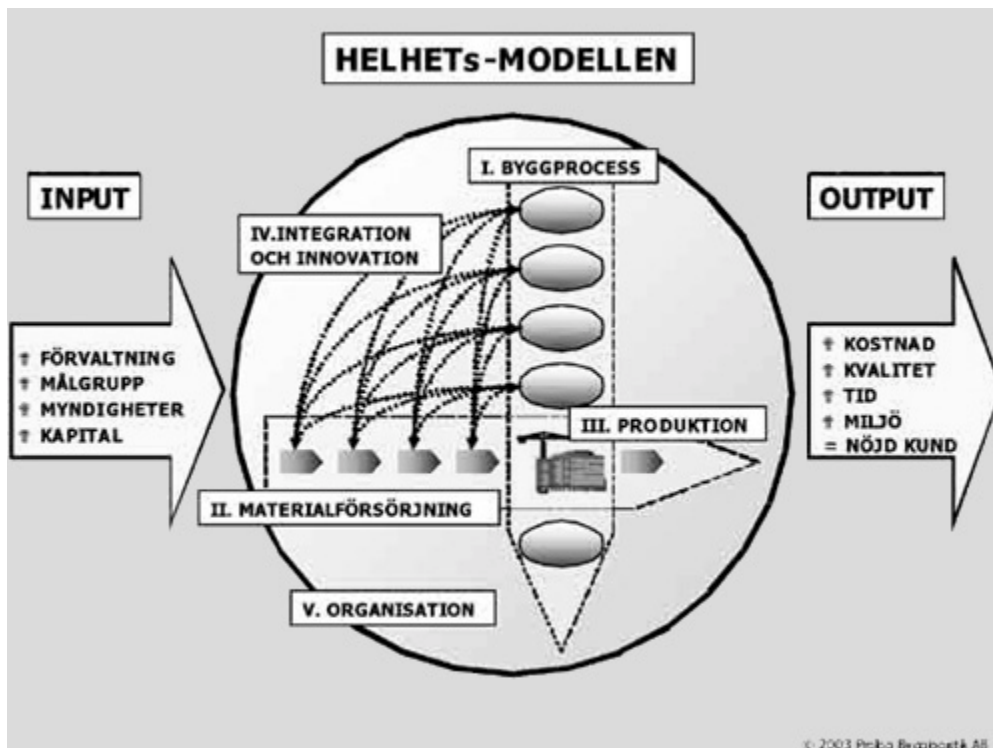
²⁹ Modig, Sonny (2003): *PM ang Utvecklingsstöd från Boverkets Byggkostnadsforum*.

3. Nuläget

projektering, upphandling, byggande och förvaltning. BKF ska även lokalisera forsknings- och utvecklingsbehov inom byggande och förvaltning samt analysera varför taxor och avgifter varierar så mycket vad det gäller kommunernas självkostnader. BKF har från och med 1 januari 2002 till och med 2006 årligen 20 miljoner till sitt förfogande att fördela på pilotprojekt som ska skapa möjligheter och underlag för sänkta produktionskostnader.³⁰

Ett av de pilotprojekt som fått stöd från BKF är *HELHETs-projektet*, som är ett samarbete mellan HSB Malmö, Malmö kommunala bostadsbolag (MKB) och NCC. Samordnare i projektet är Prolog Bygglogistik AB. HELHETs-projektets syfte är att sänka produktionskostnaderna genom att skapa en helhetsbild över projektet från idéfas fram till färdigställande och inflyttning. Denna helhetsbild ska fungera som ett visualiseringsverktyg för alla inblandande aktörer och lösa logistiska svårigheter både för information och material på ett tidigt stadium. Modellen som används inom HELHETs-projektet återges i Figur 3.4. En förutsättning för att modellen ska fungera är att aktörerna är beredda till ett nära samarbete. Kundönskemål, förvaltarperspektiv, myndighetskrav och ekonomiska förutsättningar omvandlas genom modellen till hög kvalitet, låg kostnad, tidseffektivitet och låg miljöbelastning – i slutändan nöjda kunder.

³⁰ Modig, Sonny, (2004): *Boverkets Byggkostnadsforum* <http://www.boverket.se>, 2004-07-28.



Figur 3.4 HELHETS-modellen³¹.

3.5.1 Produktionskostnadskalkyl och hyreskalkyl

För genomförandet av ett bostadsprojekt behövs en produktionskostnadskalkyl vars uppgift är att visa på projektets bäraktighet. Kalkylen kan göras på olika nivåer, beroende på hur mycket de ingående posterna bryts ned i detaljnivå. I den generella kalkylen ingår på kostnadssidan poster för mark och exploatering, byggherrekostnader, diverse avgifter, projektering samt entreprenadkostnad.

En hyreskalkyl, vilken normalt görs för ett år, tas även fram för att bedöma hyornas storlek. Vid framtagandet ligger produktionskalkylen till grund för storleken på kapitalkostnaden för egna och externa medel samt avskrivningar. För en fullständig översikt av hyreskalkylens utgiftssida behövs även kostnaden för fastighetsdrift, kostnad för vatten och värme till lägenheter samt avsättningar till framtida underhåll. För att få balans i kalkylen måste även intäkterna vara med. Dessa består av hyresintäkterna samt eventuella statliga investeringsbidrag.

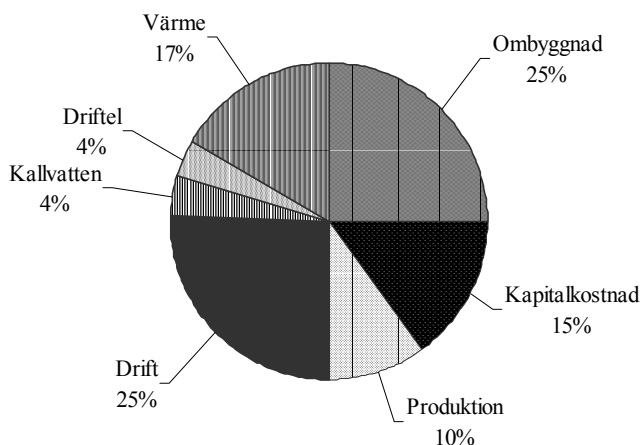
Med den färdiga hyreskalkylen kan en rimlighetsbedömning göras. Om hyresnivån bedöms orimlig med hänsyn till projektets placering krävs viss omprojektering. Med

³¹ Prolog bygglogistik AB (2004): *Arbetsmodeller* <http://www.HELHETS-projektet.se/arbetsmod.html#helhetsmod>, 2004-07-28.

placering menas dels var i landet projektet ska genomföras men även projektets placering inom en stad kan motivera olika hyresnivåer.³²

3.5.2 Kostnadsfördelning

Kostnadsfördelningen mellan olika poster kan variera mycket för fastighet till fastighet, beroende på lokalisering, standard och ålder. I Figur 3.5 redovisas en ungefärlig kostnadsfördelning för en hyresfastighet över dess livstid. Dessa värden kan inte direkt överföras till Nibelungen och Rönnen, utan är tänkta att ge en ungefärlig bild av fördelningen mellan olika poster.

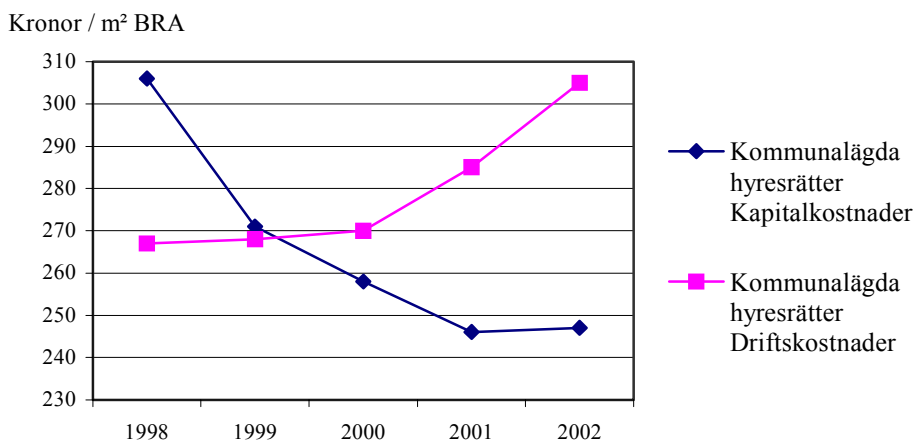


Figur 3.5 Kostnadsfördelning för hyresfastigheter enligt REPAB:s medianvärde 2000³³.

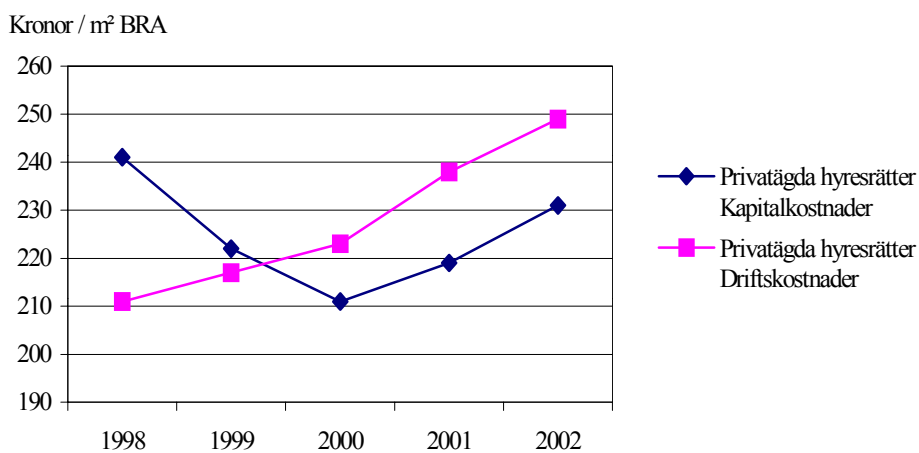
För hyreskalkylen görs som ovan nämnts en uppskattning av kostnader och intäkter under år ett. Kostnadsfördelningen är inte konstant över tiden, utan förändras till viss del av hur omvärlden ser ut. I Figur 3.6 och 3.7 nedan redovisas hur kapitalkostnad och driftskostnad förändrats för privata och kommunala hyresrätter under åren 1998 till 2002. Kostnaderna är baserade på att både bostads- och lokalyta finns med i beräkningen.

³² Eriksson, Ingeman, Johansson, Marcus och Wigdén, Ingvar, HSB Sundsfastigheter. Personlig kommunikation, 2004-04-20.

³³ Repab AB (2000): *Årskostnader Bostäder – nyckeltal för kostnader och förbrukningar*. Mölndal. Repab fakta. ISBN 91-88666-44-1. s 35.



Figur 3.6 Kostnadsutveckling för kommunala hyresrätter³⁴



Figur 3.7 Kostnadsutveckling för privatägda hyresrätter³⁵

³⁴ Statistiska Centralbyrån (2004): *Intäkt- och kostnadsundersökning i flerbostadshus*. http://www.scb.se/templates/tableOrChart_29333.asp, 2004-08-03.

³⁵ Statistiska Centralbyrån (2004): *Intäkt- och kostnadsundersökning i flerbostadshus*. http://www.scb.se/templates/tableOrChart_29333.asp, 2004-08-03.

4 Teori

Kapitlet innehåller teoretisk bakgrund till energi-, effekt- och lönsamhetsberäkningar.

4.1 Energibalans i en byggnad³⁶

Energibalansen för en byggnad utgörs enligt Ekvation 4.1 av det enkla sambandet att lika mycket energi som lämnar byggnaden måste tillföras för att uppnå balans.

$$E_{\text{in}} = E_{\text{ut}} \quad [\text{Wh}]$$

Ekvation 4.1 Energibalanskvationen

Den tillförda värmeenergin E_{in} är den energi som måste tillföras för att uppnå önskat inneklimat och kan beskrivas med sambandet enligt Ekvation 4.2. Ekvationen säger att värmeenergiebehovet är produkten av värmeeffekten och den tid över vilken den verkar.

$$E_{\text{in}} = \int P dt \quad [\text{Wh}]$$

Ekvation 4.2 Värmeenergiebehov

Värmeeffektbehovet P kan beskrivas med sambandet enligt Ekvation 4.3.

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

där:

Q_{tot} = total specifik värmeeffektförlust [W/K]

T_{inne} = inomhustemperatur [°C]

T_{ute} = utomhustemperatur [°C]

P_{intern} = internlast [W]

Ekvation 4.3 Värmeeffektbehov

Q_{tot} är byggnadens totala specifika värmeeffektförlust och består av summan av förlusterna genom transmission (Q_{trans}), ventilation (Q_{vent}) och läckage ($Q_{\text{läck}}$). Internlast utgörs av energi från solinstrålning, personvärme samt spillvärme från elapparater som härstammar från köpt elenergi. Utöver detta förekommer förluster för det spillvatten som lämnar byggnaden.

4.1.1 Transmissionsförluster

Transmissionsförlusterna (Q_{trans}) omfattas av den värmeeffekt som förloras genom väggar, golv, tak, fönster och dörrar. För att minska transmissionsförlusterna kan,

³⁶ Jensen, Lars (2001): *Värmebehovsberäkning, Installationsteknik FK*. Kursmaterial, Lund.

enligt Ekvation 4.4, byggnadsdelarna utformas så att dess U-värde blir lägre. Till transmissionsförluster räknas även köldbryggor, som uppstår där värmegenomgångstalet lokalt är högre än i omgivande byggnadsdel. Detta sker framförallt i anslutningar mellan olika byggnadsdelar, där isoleringen ofta tunnas ut för att ge plats åt infästningen samt ställen där extra hållfasthet krävs. Hörn utgör alltid en köldbrygga beroende på att dess area mot uteklimat är större än den mot inneklimat. För att minska effekterna av köldbryggor måste byggnaden utformas med andra konstruktionslösningar.

$$Q_{\text{trans}} = Q_{\text{kbr}} + \sum_j U_j \cdot A_j \quad [\text{W/K}]$$

där:

$$Q_{\text{kbr}} = \text{specifik förlust genom köldbryggor} \quad [\text{W/K}]$$

$$U_j = \text{U-värde för yta } j \quad [\text{W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)]$$

$$A_j = \text{area för yta } j \quad [\text{m}^2]$$

Ekvation 4.4 Specifik transmissionsförlust

Förekomst av köldbryggor skall beaktas i en byggnads värmebalans och kan ofta utgöra en betydande del av transmissionsförlusterna. För köldbryggor beräknas ett värde, ψ , på den extra värmeförlust som uppstår på grund av den sämre konstruktionen, som anges på formen effekt per längdmeter köldbrygga. För att få bidraget från köldbryggan uttryckt som specifik förlust multipliceras ψ -värdet med köldbryggans utsträckning.

$$Q_{\text{kbr}} = \psi \cdot l_{\text{kbr}} \quad [\text{W/K}]$$

Ekvation 4.5 Specifik förlust genom köldbrygga

Värmegenomgångskoefficienten, eller den kortare benämningen U-värdet, används vid tillämpade beräkningar på byggnadsdelar. Definitionen av U-värdet är ”den värmemängd som per tidsenhet passerar genom en ytenhet av väggen då skillnaden i lufttemperatur på ömse sidor om väggen är en grad”.³⁷

För att bestämma U-värdet för en byggnadsdel krävs att tjocklek (d) och praktisk värmekonduktivitet (λ_p) är kända för samtliga ingående material i byggnadsdelen. Med dessa data kända kan det för byggnadsdelen praktiska värmemotståndstalet R_p beräknas enligt Ekvation 4.6. I det praktiska värmemotståndstalet finns medräknat tillägg för fukt, åldring samt spridning i mätresultat.³⁸ På grund av tilläggen blir det praktiska värmemotståndstalet något lägre än det teoretiska.

³⁷ Sandin, Kenneth (1996): *Värme och fukt. Kompendium i byggnadsfysik*. Lund. s 18.

³⁸ Ibid.

$$R_p = \frac{d}{\lambda_p} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$$

Ekvation 4.6 *Värmemotståndstalet*

I kontaktytorna mellan luft och byggnadsdel finns ett extra värmemotstånd på både in- och utsida. Vid U-värdesberäkning benämns värmemotståndet på byggdelens insida R_{si} och sätts till 0,13 (m²·K)/W. På byggdelens utsida benämns värmemotståndet R_{se} och sätts till 0,04 (m²·K)/W.

Med samtliga motståndstal kända kan U-värdet beräknas enligt Ekvation 4.7.

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

där:

$R_{si}, R_1, R_2, \dots, R_n, R_{se}$ = värmemotstånd för olika väggsikt

Ekvation 4.7 *Värmegenomgångskoefficient (U-värde)*

Ekvation 4.7 ovan gäller bara då materialskikten ligger parallellt med varandra och vinkelrätt mot värmeflödet. Bestämning av byggnadsdelars U-värden innehåller i praktiken långa och komplicerade beräkningar och vanligen används antingen datoriserade beräkningsprogram eller färdigt informationsmaterial med rekommenderade värden från tillverkaren.

4.1.2 Ventilationsförluster och läckageförluster

I ventilationsförlusterna (Q_{vent}) ingår värmeenergin i den luft som lämnar byggnaden genom styrd ventilation enligt Ekvation 4.8. Ventilationsförlusterna kan inte på samma sätt som övriga förluster minskas genom att ”täppa till” och förhindra flödet eftersom en god ventilation är nödvändig för att ge ett bra inneklimat. Ett sätt att komma åt ventilationsförlusterna är genom återvinning av frånluftens energi med värmeväxlare eller värmepump.

$$Q_{vent} = \rho_l \cdot c_{p,l} \cdot q_{vent} \cdot (1 - v) \cdot d \quad [\text{W}/\text{K}]$$

där:

ρ_l = luftens densitet [kg/m³]
 $c_{p,l}$ = luftens värmekapacitet [J/(kg·K)]
 q_{vent} = ventilationsflöde [m³/s]
 v = verkningsgrad för ventilationens värmeåtervinning [-]
 d = relativ drifttid för ventilationsaggregat [-]

Ekvation 4.8 *Specifik ventilationsförlust*

Till samma kategori hör läckageförlusterna ($Q_{läck}$) som beror på den utomhusluft som läcker in genom otätheter i byggnadens klimatskal och måste värmas, se Ekvation 4.9. Läckageförluster är särskilt allvarliga när ventilationssystemet är ett FTX-system,

eftersom tilluften då värms av frånluften och läckageförluster kräver extra uppvärmning. I rena frånluftssystem kommer luftflödet genom byggnaden att styras av frånluftsfälten och läckageflöde kan i egentlig mening inte skiljas från tilluftsflöde. Klimatskalets täthet blir då i högre grad en komfortfråga för att undvika drag. Läckageförlusterna kan minskas genom att lägga extra uppmärksamhet vid klimatskalets täthet. Ofta ligger väggens tätskikt innanför isoleringen så att spikar och skruvar från uppsättning av tavlor och hyllor med mera perforerar folien. Ett sätt att undvika detta är att placera skiktet längre in i väggen utom räckhåll för spikhålen.

$$Q_{\text{läck}} = \rho_1 \cdot c_{p,1} \cdot q_{\text{läck}} \quad [\text{W/K}]$$

där

$$q_{\text{läck}} = \text{läckageluftflöde} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Ekvation 4.9 Specifik läckageförlust

4.1.3 Övriga energiförluster

I husets energibalans ingår även spillvattenförluster, hushållsel och fastighetsel. Spillvattenförlusterna skall inte ersättas av effekt i radiatorsystemet och är inte heller beroende av lufttemperaturen. Förlusterna motsvaras av den energi som används för uppvärmning av tappvarmvattnet i varmvattenberedaren. Hushållsel och fastighetsel omvandlas till värme och utgör en del av internlasten.

Totalt kan byggnadens effektförluster sammanfattas i Ekvation 4.10 nedan.

$$P = (Q_{\text{trans}} + Q_{\text{läck}}) \cdot (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) + Q_{\text{vent}} \cdot (T_{\text{inne}} - T_{\text{till}}) + P_{\text{spill}} - P_{\text{intern}} \quad [\text{W}]$$

Ekvation 4.10 Effektbehov, uppdelat per förlustpost

4.1.4 Gränstemperatur och graddagar

Internlasten P_{intern} utgörs som tidigare nämnts av värme från hushållsel, personer och solinstrålning. Med hjälp av internlasten kan en gränstemperatur för byggnaden beräknas enligt Ekvation 4.11.

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

Ekvation 4.11 Gränstemperaturen

Gränstemperaturen motsvarar den temperatur till vilken det krävs aktiv uppvärmning. Resterande uppvärmning till önskad inomhustemperatur erhålls från internlasten. Med hjälp av gränstemperaturen kan Ekvation 4.3 skrivas om som produkten mellan specifika värmeförlusten och skillnaden mellan gränstemperaturen och aktuell utetemperatur, enligt Ekvation 4.12:

4. Teori

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

Ekvation 4.12 Värmeeffektbehovet uttryckt med hjälp av gränstemperaturen

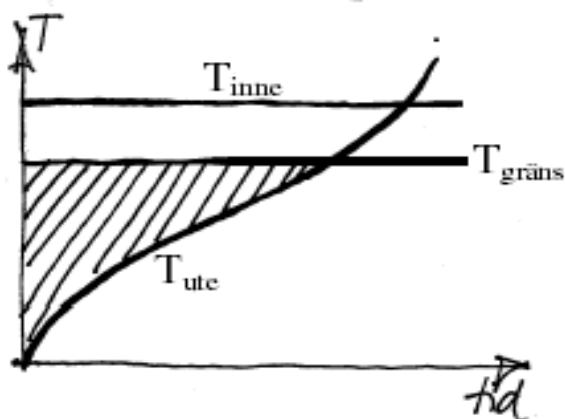
Därmed kan även Ekvation 4.2 formuleras om så att byggnadens totala värmeenergibehov beror av gränstemperaturen, enligt Ekvation 4.13.

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

Ekvation 4.13 Värmeenergibehovet uttryckt med hjälp av gränstemperaturen

På samma sätt kan förlustposterna E_{trans} och $E_{\text{läck}}$ beräknas separat med hjälp av gränstemperaturen. Ventilationsförlusterna är istället beroende av differensen mellan tilluftens temperatur och gränstemperaturen, men om ventilationssystemet är ett frånluftssystem sätts tilluftens temperatur lika med utetemperaturen, och även E_{vent} får samma utseende som Ekvation 4.13 ovan.

Ekvation 4.13 kan lösas med hjälp av ett varaktighetsdiagram kompletterat med kurvorna för innetemperatur och gränstemperatur. Ett varaktighetsdiagram för värmebehovsberäkningar konstrueras genom att sortera årets alla temperaturer, vanligen timmedelvärden, i stigande ordning för en ort och rita upp en kurva av temperaturerna som funktion av tiden, enligt Figur 4.1.



Figur 4.1 Varaktighetsdiagram för utetemperatur, innetemperatur och gränstemperatur som funktion av tiden under ett år³⁹

Den streckade ytan mellan T_{ute} och $T_{\text{gräns}}$ motsvarar integralen i Ekvation 4.13 och har enheten gradtimmar ($^{\circ}\text{Ch}$). Gradtimmar betecknas i fortsättningen G_t och finns att tillgå ur gradtimmetabeller med olika normalårstemperaturer. Värmeenergibehovet kan därmed tecknas enligt Ekvation 4.14:

³⁹ Jensen, Lars (2001): *Värmebehovsberäkning, Installationsteknik FK*. Kursmaterial. Lund. s 7.

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

Ekvation 4.14 Värmeenergiebehovet uttryckt med hjälp av gradtimmar

4.2 Dimensionerande effekt

Värmesystemet skall täcka de förluster genom transmission, ventilation och luftläckage som presenteras ovan. Internlast och eventuell återvinning tillgodoräknas inte vid dimensioneringen eftersom systemet inte skall vara beroende av dessa tillskottsposter. Utetemperatur sätts konstant lika med den så kallade dimensionerande utetemperatur, DUT. Ekvationen för dimensionerande effekt presenteras i Ekvation 4.15 nedan.

$$P_{\text{dim}} = (Q_{\text{trans}} + Q_{\text{läck}}) \cdot (T_{\text{inne}} - DUT) + Q_{\text{vent}} \cdot (T_{\text{inne}} - T_{\text{till}}) \quad [\text{W}]$$

Ekvation 4.15 Dimensionerande effekt. Vid frånluftsventilation sätts T_{till} lika med DUT⁴⁰.

Enligt Ekvation 4.15 är den dimensionerande effekten beroende av byggnadens isolergrad, läckflöde, ventilationsflöde samt den dimensionerande utetemperatur. DUT skall enligt BBR väljas så att rumsluftens temperatur sjunker högst 3 °C vid sådana extrema utetemperaturer som infaller högst en gång på 20 år⁴¹. DUT tas fram specifikt för varje byggnad beroende på dess isolergrad och värmekapacitet samt normalt uteklimat på orten.

För att bestämma DUT måste först ortens (där byggnaden är belägen) normaltemperatur för januari fastställas med hjälp av isotermarkarta eller ur tabell. Vidare måste byggnadens tidskonstant bestämmas med hjälp av Ekvation 4.16 nedan.

⁴⁰ Warfvinge, Catarina (2001): *Installationsteknik AK för V*. Kursmaterial, Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund. s 6:36.

⁴¹ Boverket (2002): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 2002:19*. Elanders Gotab, Vällingby. Upplaga 4:1. ISBN 91-7147-718-7. § 6:42.

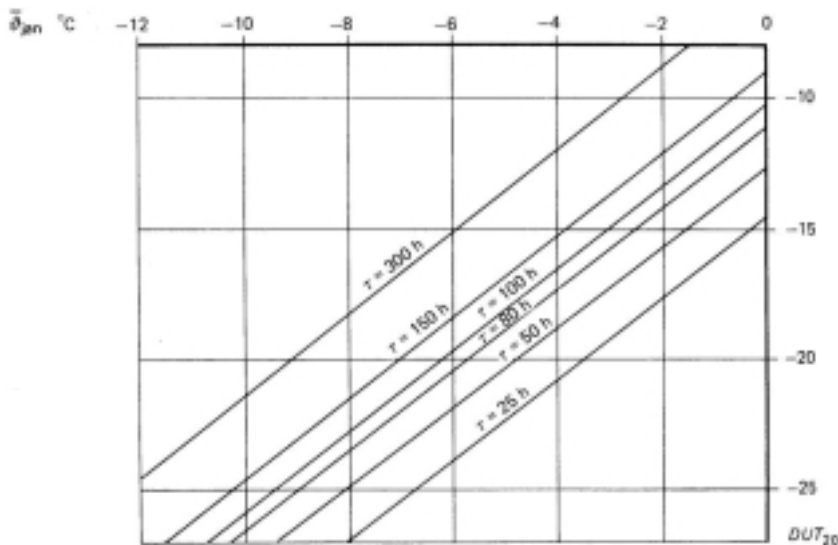
$$\tau_b = \frac{\sum_j m_j \cdot c_{p,j}}{(Q_{\text{trans}} + Q_{\text{vent}} + Q_{\text{läck}})} \quad [\text{s}]$$

där:

τ_b = byggnadens tidskonstant	[s]
m_j = massa för byggnadsdel j	[kg]
$c_{p,j}$ = värmekapacitet för byggnadsdel j	[J/(kg·K)]
Q_{trans} = specifik transmissionsförlust	[W/K]
Q_{vent} = specifik ventilationförlust	[W/K]
$Q_{\text{läck}}$ = specifik läckageförlust	[W/K]

Ekvation 4.16 Tidskonstant⁴²

Enligt Ekvation 4.16 är tidskonstanten beroende av byggnadens värmekapacitet samt de sammanlagda effektförlusterna genom transmission, ventilation och läckage. En högre värmekapacitet innebär att värme kan lagras i byggnadens stomme under längre tid och därmed sänka behovet av installerad effekt i värmesystemet. Med hjälp av ortens normaltemperatur ($\bar{\vartheta}_{\text{jan}}$) och byggnadens tidskonstant kan den för byggnaden specifika DUT bestämmas ur digrammet i Figur 4.2 nedan.



Figur 4.2 Diagram för avläsning av dimensionerande utetemperatur, DUT^{43} .

⁴² Warfvinge, Catarina (2001): *Installationsteknik AK för V*. Kursmaterial, Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund. s 6:39.

⁴³ Ibid.

4.2.1 Högsta tillåtna värmegenomgångskoefficient

Enligt BBR får inte en byggnads genomsnittliga ytrelaterade värmeförlustkoefficient, F_s , överstiga en högsta tillåtna koefficient, $F_{s,krav}$. Undantaget är då omfördelningsberäkning genomförs enligt vad som presenterats tidigare. Bestämning av F_s innebär att medelvärdet av samtliga enskilda byggnadsdelars *korrigerade* och *justerade* U-värden beräknas. Korrigeringen görs för bland annat köldbryggor och brister i utförande, justeringen för den mängd sol som faller in genom fönster och kompenserar något för fönstrets sämre U-värde. Justeringen får endast göras för fönsteryta upp till 15 % av uppvärmd golvarea och är olika stor beroende av fönstrens väderstreck. F_s beräknas enligt Ekvation 4.17 nedan.

$$F_s = \frac{\sum_j U_{just,j} \cdot A_j}{A_{om}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

där

$$U_{just,j} = \text{justerat och korrigerat U-värde för byggnadsdel } j \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

$$A_j = \text{area av byggnadsdel } j \quad [\text{m}^2]$$

$$A_{om} = \text{byggnadens omslutningsarea} \quad [\text{m}^2]$$

Ekvation 4.17 Genomsnittlig ytrelaterad värmeförlustkoefficient⁴⁴

Byggnadens omslutningsarea omfattar hela klimatskalet, det vill säga väggar, tak och grund. $F_{s,krav}$ som utgör den övre gränsen för F_s definieras för bostäder enligt Ekvation 4.18 nedan.

$$F_{s,krav} = 0,16 + 0,81 \cdot \frac{A_f}{A_{om}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

där

$$A_f = \text{arean fönster} \quad [\text{m}^2]$$

Ekvation 4.18 Högsta tillåtna värmegenomgångskoefficient enligt BBR⁴⁵.

Fönsterarean får i ekvationen ovan inte medräknas med mer än 18 % av uppvärmd golvarea.

4.3 Analys av driftsdata

Energianvändning och vattenanvändning avläses som den energimängd (kWh) respektive vattenvolym (m^3) som passerat mätaren i fastigheten under en viss tidsperiod, vanligen en månad. I de fall avläsningsperioderna varierat måste värdena korrigeras för att de representerar olika lång tid, exempelvis då den vanliga avläsningsdagen infallit på en helgdag och avläsning skett på närmaste vardag.

⁴⁴ Boverket (2002): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 2002:19*.

Elanders Gotab, Vällingby. Upplaga 4:1. ISBN 91-7147-718-7. § 9:21.

⁴⁵ Ibid.

4. Teori

Korrigeringen kan göras antingen med hänsyn endast till antalet avvikande dagar, eller dessutom med hänsyn till utetemperaturen under dessa dagar. Om utetemperaturen avvikit mycket från resten av avläsningsperioden kan skillnaden bli stor, och den senare metoden är att föredra⁴⁶. Ekvation 4.19 och Ekvation 4.20 nedan beskriver de båda metoderna.

$$E_{\text{mån}} = E_{\text{avläst}} \cdot \frac{n_{\text{månad}}}{n_{\text{avläst}}} \quad [\text{Wh}]$$

där

$E_{\text{mån}}$ = energianvändningen korrigerad för hel månad [Wh]

$E_{\text{avläst}}$ = avläst energianvändning [Wh]

$n_{\text{månad}}$ = antal dagar i månaden [-]

$n_{\text{avläst}}$ = antal dagar mellan avläsningar [-]

Ekvation 4.19 *Korrigering för olika avläsningsperioder*⁴⁷.

$$E_{\text{mån}} = E_{\text{avläst}} + \sum_{i=1}^n E_{\text{sign}} \quad [\text{Wh}]$$

där

$E_{\text{mån}}$ = energianvändningen korrigerad för hel månad

$E_{\text{avläst}}$ = avläst energianvändning

E_{sign} = energianvändning enligt byggnadens effektsignatur för avvikande dag i , $i = 1, 2, \dots, n$

Ekvation 4.20 *Korrigering för olika avläsningsperioder med hänsyn till utetemperaturen de avvikande dagarna*⁴⁸.

Byggnadens effektsignatur är ett mått på byggnadens effektbehov relaterat till utetemperaturen och erhålls genom att kontinuerligt dokumentera utetemperatur och medeleffekt och plotta dessa mot varandra. Med hjälp av linjär regression tas signaturen fram, se Figur 4.3 och Ekvation 4.21. Effektsignaturen kan tas fram för antingen endast uppvärmningsbehov (endast temperaturberoende energianvändning) eller total energianvändning (även temperaturoberoende).

⁴⁶ Schulz, Linda (2003): *Normalårskorrigering av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder*. Effektiv-rapport 2003:01 ISBN 91-7848-932-6. s 21 ff.

⁴⁷ Ibid.

⁴⁸ Ibid.

$$P_{\text{sign}} = Q_{\text{tb}} (T_{\text{ute}} - T_{\text{gräns}})_{+} + P_{\text{to}} \quad [\text{W}]$$

där

P_{sign} = byggnadens effektsignatur [W]

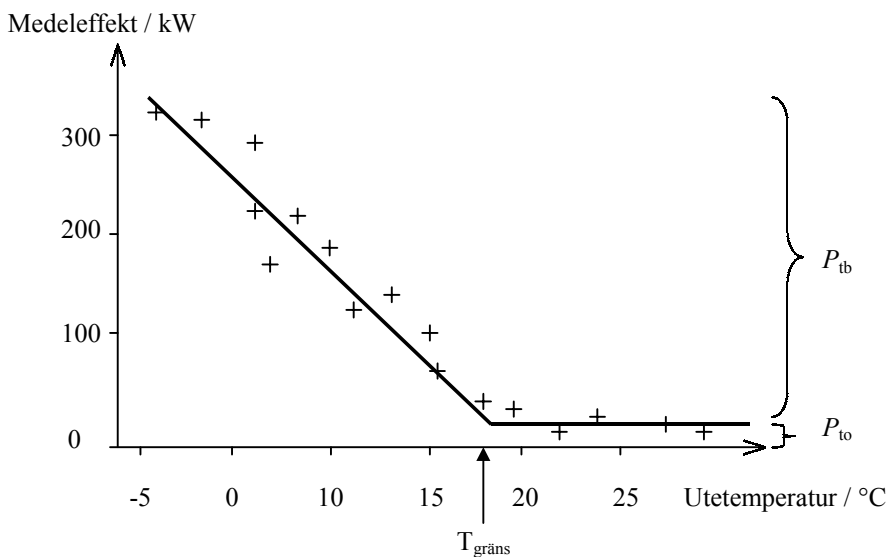
Q_{tb} = temperaturberoende specifik effekt [W/K]

T_{ute} = medeltemperaturen ute för perioden [°C]

$T_{\text{gräns}}$ = byggnadens gränstemperatur [°C]

P_{to} = temperaturoberoende effekt [W]

Ekvation 4.21 Effektsignaturen efter linjär regression. Plus-tecknet anger att differensen sätts till noll om den blir negativ⁴⁹.



Figur 4.3 Principiell skiss av en byggnads effektsignatur. Fritt från⁵⁰.

I de fall en byggnads energibehov skall kunna jämföras med byggnader under en annan tidsperiod används ett *normalår* för orten för att frigöra sig från variationer i klimatet mellan de studerade perioderna. Driftsdata måste då korrigeras för avvikelser mellan det aktuella året och normalåret. I denna studie har normalårskorrigerings inte varit nödvändig eftersom driftsdata och klimatdata är uppmätta under samma tidsperiod och någon jämförelse mellan olika fastigheter eller tidsperioder inte gjorts.

⁴⁹ Schulz, Linda (2003): *Normalårskorrigerings av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder*. Effektiv-rapport 2003:01 ISBN 91-7848-932-6. s 10 ff.

⁵⁰ Ibid.

4.3.1 *Meteonorm*

Meteonorm är ett datorprogram som genererar ett normalår för en ort avseende vindhastighet, vindriktning, solinstrålning, temperatur, nederbörd, dagar med nederbörd, relativ luftfuktighet samt temperatur. De parametrar som tagits fram för Rönneprojektet i Malmö i denna studie är solinstrålning, temperatur och vindhastighet. Programmet interpolerar fram klimatdata för den önskade orten utifrån verkliga klimatdata. De verkliga klimatdata kommer från 7400 mätstationer. Merparten av mätstationerna finns i Europa, Japan, Nordamerika och Nya Zeeland. De genererade klimatdata kan aldrig efterlikna verkliga klimatdata helt men på årsbasis blir felet litet. Medelfelet för temperaturberäkningar är 1,3 °C och för solinstrålningen ligger felet på 15 % på månadsbasis.⁵¹

4.4 Beräkningsprogram

Energiberäkningsprogram för byggnader används vid omfördelningsberäkning då något av de tre delkraven inte uppfyllts och av installationsprojektörer i byggprojekteringens slutskede för dimensionering av värme-, ventilations- och kylsystem. Många program är dock, förutsatt att beräkningarna görs i ett tidigare skede, även lämpade som underlag vid beslut om övrig byggnadsutformning, produkt- och materialval med mera. På marknaden för energiberäkningsprogram finns det idag en rad olika program att välja mellan, framtagna för olika beräkningsändamål och med olika grad av komplexitet. För denna studie efterfrågades ett program anpassat för nybyggnation av flerbostadshus, som är validerat och som tar rimlig tid i anspråk för inläring och beräkning. Syftet har varit att beräkna det totala energibehovet för uppvärmning vid olika val av installationer och byggnadsutformning.

I de mest komplexa programmen bygger användaren upp en tredimensionell modell av byggnaden, medan enklare program endast kräver uppgifter om area och orientering av byggnadsdelar. Många av de mer komplexa programmen beräknar termiskt inneklimat, energi- och effektbehov för antingen en hel byggnad eller enskilda rum och kan användas vid dimensionering av värme- och kylsystem. Enklare program beräknar endast energibehov samt i vissa fall innetemperatur och kan inte användas för dimensionering utan kompletterande beräkningar.⁵²

De olika användningsområdena och utförandena gör att programmen arbetar med något olika beräkningsmodeller. Principen är dock densamma: med hjälp av de empiriska samband som presenterats i avsnitt 4.1 beräknas energibehovet för uppvärmning i ett visst tidsintervall och integreras över tiden. De program som arbetar i tre dimensioner kan i detta avseende skiljas från de enklare genom att de dessutom integrerar beräkningarna över rummet. Tids- och rumsupplösningen

⁵¹ Nilsson, Jimmy och Ohlsson, Håkan (2003): *Jämförelse mellan fiktiva och verkliga klimatdata*. Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

⁵² Bergsten, Bengt (2001): *Energiberäkningsprogram för byggnader - en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. Effektiv-rapport 2001:03. ISBN 91-7848-851-6.

varierar, enklare program räknar ofta med tidsupplösningen ett dygn eller mer medan mer komplexa program använder timvärden eller därunder. De stora skillnaderna mellan programmen utgörs annars framförallt av hur noggrant de efterliknar verkligheten genom att ta hänsyn till effekter av olika fenomen som uppstår i byggnaden, till exempel värmelagring i stomme, solstrålning på ytterväggar, vindtryck och så vidare. Dessutom är programmen validerade mot verkliga data eller internationellt erkända energiberäkningsprogram i olika omfattning.⁵³

I EFFEKTIV-rapporten ”Energiberäkningsprogram för byggnader - en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter”⁵⁴ görs en genomgång av elva av de viktigaste energiberäkningsprogram som förekommer på den nordiska marknaden. Syftet har varit att vara till hjälp för potentiella användare inför valet av program och rapporten är en faktasammanställning fokuserad på användningsområden, möjligheter och begränsningar medan beräkningsresultat inte har jämförts.

Rapporten behandlar programmen BSim 2000 och IDA ICE som är exempel på program med en hög grad av komplexitet, Enorm 1000, Energikiosken, BV², Huset, Villaenergi och Värmeenergi som är enklare i sin modell samt OPERA, EiB och VIP+ som kan placeras någonstans mitt emellan. De mest komplexa programmen BSim 2000 och IDA ICE arbetar med tredimensionella modeller. Energikiosken, Huset, Villaenergi och Värmeenergi är avsedda för enfamiljshus, mycket enkla i sin beräkningsmodell och inte validerade. Dessa program har dock fördelen att de inte kräver lika mycket tid och kunskap av användaren som de mer komplexa programmen. Programmen EiB och OPERA är framtagna för lönsamhetsberäkningar av energibesparande åtgärder, med livscykelkostnadsberäkningar för olika val av energikällor och byggnadsåtgärder. OPERA är anpassat för i första hand reparations- och ombyggnadsarbeten, medan EiB även behandlar nyproduktion. BV², EiB och Enorm 1000 tar i sin beräkningsmodell inte hänsyn till solinstrålning mot fasader, vilket kan innebära att programmet räknar fel på transmissionsförlusterna. BV² och Enorm 1000 beaktar inte heller solhöjd och värmelagring i stommen, vilket i vissa fall kan ha stor inverkan på resultatet⁵⁵.

De mer komplexa programmen BSim 2000 och IDA ICE valdes bort på grund av tidsåtgången för tredimensionell modellering av flerbostadshus, liksom Derob-LTH, utvecklat på avdelningen för Energi- och byggnadsdesign, Lunds Tekniska Högskola. EiB som anpassats för studier av olika åtgärdsalternativ har valts bort på grund av den förenklade beräkningsmodellen. Detta program används dessutom i mycket liten utsträckning i Sverige medan det är vanligt i Norge där det utvecklats. Kvar finns VIP+ och Enorm. Nedan följer en mer ingående beskrivning av dessa program.

⁵³ Bergsten, Bengt (2001): *Energiberäkningsprogram för byggnader - en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. Effektiv-rapport 2001:03. ISBN 91-7848-851-6.

⁵⁴ Ibid.

⁵⁵ Larsson, Robert och Nilsson, Annika (2003): ”Energiberäkningsprogram för byggnader”. *Cementa* nr 3:2003. s 8-9.

4.4.1 VIP+⁵⁶

VIP+ togs fram år 1990 av Structural Design Software in Europe AB, Sverige, och senaste uppdateringen gjordes 1998. Det är ett relativt generellt program främst avsett för bostäder och framtaget för att beräkna en byggnads energibehov för uppvärmning. VIP+ beaktar ändå många av de viktiga parametrar som flera andra program inte tar hänsyn till. Indatastrukturen är sparsam vilket innebär att programmet kräver relativt hög kunskapsnivå hos användaren. Många parametrar och effekter måste användaren till exempel själv simulera genom att inkludera i någon av de parametrar programmet frågar efter. Förutom det aktuella huset beräknas energibehov i ett referenshus som utformas enligt kraven i BBR. VIP+ simulerar energibehovet med tidsintervallet en timme, det vill säga 8 760 simuleringar per år. Programmet kan dock inte användas för lönsamhetsberäkningar av valda åtgärder utan det görs i denna studie separat, se avsnitt 6.3 LCC-beräkningar. VIP+ används i viss mån vid energiberäkning av byggnader i Sverige idag med 45 sålda licenser till och med år 2000⁵⁷.

VIP+ behandlar olika parametrar enligt följande:

Yttre faktorer

De yttre faktorerna innefattar uteklimatet och byggnadens omgivning avseende skuggning och utsatthet för vind. VIP+ behandlar klimatet timvis i form av utetemperatur, vindhastighet och global solinstrålning mot horisontell yta. Vindhastigheter används av programmet för beräkning av byggnadens luftläckage. Ett q_{50} -värde och en flödesexponent anges för varje byggnadsdel alternativt hela byggnaden. Byggnadens formfaktorer, som anger hur vinden påverkar ytterytorna i de olika väderstrecken, skall anges. Infallande solstrålning mot byggnaden beaktas genom att användaren anger en solabsorptionskoefficient för ytterväggar och tak. För solstrålning mot fönster anges en transmissionskoefficient (F_1) samt ett värde på hur stor andel av den transmitterade energin som sker genom strålning (F_2). I programmet finns en funktion som beräknar solhöjd och solvinkel för varje timme. Byggnadens utsatthet för sol och vind skall anges genom att värden på horisontalvinkel, markreflektion och vindreduktion anges.

Medföljande till programmet finns klimatfiler för två orter, Stockholm och Norrköping, men andra klimatdata kan användas efter konvertering till VIP+-format.

Inre faktorer

Inneklimatet definieras i form av temperatur och ventilation. Båda kan varieras mellan tre olika tidsintervall veckovis: måndag–fredag, lördag och söndag. Temperaturen anges som medeltemperatur samt tillåten lägsta och högsta temperatur och ventilationen anges som omsättningar per timme. De inre effekter som programmet beaktar vid simuleringarna är termiktryck och värmelagring i stommen.

⁵⁶ Structural Design Software (2003): *VIP+*. Manual till VIP+.

⁵⁷ Bergsten, Bengt (2001): *Energiberäkningsprogram för byggnader - en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. Effektiv-rapport 2001:03. ISBN 91-7848-851-6. s 53.

För detta ändamål skall höjdnivåer anges för klimatskalets olika delar och värmekapacitet för alla material.

Typ av ventilationssystem kan inte anges utan simuleras genom valet av luftflöden, temperatur på tilluften och tryckhöjning på till- och frånluftsfläkt. För fläktar i ventilationssystemet anges dessutom verkningsgrad, som VIP+ använder för beräkning av fläktens eleffekt. En kryssruta finns för byggnader utan återvinningskrav enligt BBR, beskrivet i avsnitt 3.3. Internlast anges i tre separata poster som motsvarar personenergi, värme från elektrisk utrustning samt varmvattenanvändning.

Modellering

Byggnaden modelleras genom att area och orientering (väderstreck) uppges för samtliga byggnadsdelar, såsom fasad, tak, golv, fönster och dörrar. Hela byggnaden kan sedan vridas i förhållande till de fyra väderstrecken, med söderfasaden närmast verklig söderriktning. Byggnadens volym och uppvärmd bruksarea skall dessutom anges och byggnadstyp väljs mellan bostad eller lokal, vilket påverkar $F_{s,krav}$ enligt BBR. Byggnadsdelarna byggs i sin tur upp av erforderligt antal materialskikt, som definieras genom värmeledningstal λ [W/(m·K)], densitet ρ [kg/m³] samt värmekapacitet c_p [J/(kg·K)]. Programmet beräknar U-värden för de olika byggnadsdelarna och värmekapaciteten för byggnaden med hjälp av dessa data. Fönster och dörrar definieras genom U-värde och glasandel, ventiler genom area och luftflöde.

Programmet räknar inte på extra värmeförluster från köldbryggor utan dessa måste beräknas separat och behandlas i VIP+ genom att ange area och U-värde, lämpligen under kategorin dörrar, fönster och ventiler.

Resultat

Totala energibehovet anges uppdelat per tillförselkategori och användarkategori. Resultatet visas som årsbehov och kan dessutom presenteras per timme, vecka, dag eller månad. Förutom energibehov kan timvisa värden på innetemperatur och stomtemperatur exporteras till en textfil.

4.4.2 Enorm 1000⁵⁸

Programmet Enorm 1000 är utvecklat av Equa Simulation AB, Sverige, som tog fram den första versionen 1988. Syftet var att skapa ett datorbaserat hjälpmedel för att jämföra befintliga byggnaders energianvändning med dåvarande nybyggnadsregler, idag uppdaterat till BBR 94. Det är, precis som VIP+, ett relativt generellt energiberäkningsprogram främst anpassat för bostäder. Programmet beräknar en byggnads årliga energibehov för uppvärmning med ett tidsintervall om ett dygn. Enorm 1000 har en mer användarvänlig utformning än VIP+ genom fler rullistor med fördefinierade alternativ och enklare inmatning av byggnadens installationer. Programmet har även kopplat till sig olika funktioner som kontrollerar huset mot

⁵⁸ AB Svensk Byggtjänst (1999): *Enorm 1000 Manual*.

4. Teori

nordiska miljömärkningen Svanen, Nuteks Programhus samt energideklaration för småhus. Särskilda program i programmet beräknar U-värden enligt svensk standard med föreskrivna korrigeringar och kostnadsbesparingar av alternativa åtgärder. Enorm 1000 är det energiberäkningsprogram som används i störst utsträckning i Sverige idag, med cirka 700 sålda användarlicenser till och med år 2000⁵⁹ och har i vissa sammanhang tilldelats skuld för den ökande energianvändningen i den svenska bostadssektorn under senare tid⁶⁰.

Enorm 1000 behandlar olika parametrar enligt följande:

Yttre faktorer

Uteklimatet anges som dygnsmedelvärden på temperatur och solinstrålning medan vinden inte beaktas alls. Luftläckage beräknas således oberoende av vinden och detta görs genom att en otäthetsfaktor anges för hela byggnaden då tryckskillnaden är 50 Pa. Solinstrålning beaktas endast mot fönster genom att transmissionskoefficienten anges. Byggnadens utsatthet för sol anges som en generell avskärmningsfaktor för fönster, som skall symbolisera effekter av solhöjd, skuggning från omgivande byggnader, yttre solskydd och liknande. Temperaturdata finns för 50 olika orter i Sverige. Det går även att lägga in egna data för andra orter. Generella soldata finns för Malmö, Stockholm och Umeå.

Inre faktorer

Inomhustemperatur och ventilationsflöden skall anges för tre olika tidsperioder: måndag–fredag, lördag och söndag. Till skillnad från VIP+ anges i Enorm 1000 inneklimatet som en temperaturnivå och inte ett accepterat intervall.

Typ av ventilationssystem väljs från en lista med tio alternativ, och användaren behöver följaktligen inte själv räkna ut vad som skall anges för att simulera det aktuella systemet. Återvinning på ventilationsluften kan simuleras genom att välja antingen värmepump eller värmeväxlare på frånluften och ange egenskaper för denna. Internbelastning beaktas detaljerat i form av personvärme, processvärme och varmvattenbehov fördelat över samma tre tidsintervall måndag–fredag, lördag och söndag. Dessutom kan data om installerade vitvaror anges som en del av processvärmerna samt för beräkning av behov av hushållsel. Distributionssystem för värme-, vatten- och ventilationssystem kan anges, liksom distributionsförluster. Inverkan av termiktryck och värmelagring i byggnadens stomme beaktas inte.

Modellering

Areor för fasad, tak, golv, fönster och dörrar skall anges, orientering endast för fönster. Innerväggars areor anges inte utan värmekapaciteten anges som ett medelvärde för hela byggnaden. Upp till tre zoner kan simuleras samtidigt och för

⁵⁹ Bergsten, Bengt (2001): *Energiberäkningsprogram för byggnader - en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. Effektiv-rapport 2001:03. ISBN 91-7848-851-6. s 37.

⁶⁰ Larsson, Robert och Nilsson, Annika (2003): "Energiberäkningsprogram för byggnader". *Cementa* nr 3:2003. s 8-9.

varje zon väljs byggnadstyp som lägenhet eller annan uppvärmd area i antingen småhus eller flerbostadshus, lokal med lägre isoleringskrav enligt BBR eller lokal utan verksamhet. Vidare skall anges hur många lägenheter som ingår i byggnaden samt uppvärmd bruksarea.

För samtliga byggnadsdelar anges U-värde medan värmekapaciteten anges som ett medelvärde för hela byggnaden. Programmet räknar inte på köldbryggs effekt utan användaren måste beräkna motsvarande U-värde och area.

Resultat

Enorm 1000 presenterar totala energibehovet uppdelat per tillförselkategori av uppvärmning och el och användarkategori för aktuell byggnad och referensbyggnad. Kopplat till energibalansberäkningarna finns även ett U-värdesprogram som beräknar U-värden enligt svensk standard samt ett ekonomiprogram som tar fram kostnadsbesparingar av alternativa utformningar. I Enorm 1000 kan även värmeproduktionssystem väljas från en lista med åtta alternativ eller definieras själv av användaren. Resultatfilen redovisar då utsläpp av koldioxid från energiproduktionen.

4.4.3 Val av energiberäkningsprogram

För denna studies simuleringar har VIP+ valts. Enorm 1000 tar inte hänsyn till solinstrålning mot fasader och inte heller värmelagring i byggnadens stomme, vilket kan påverka resultatet i hög grad. Enligt en jämförande studie av Enorm 1000 och VIP+ utförd av Catarina Warfvinge vid avdelningen för Installationsteknik på Lunds Tekniska Högskola underskattade Enorm 1000 energibehovet för en typbyggnad enligt BBR med cirka 30 %⁶¹. Enorm 1000 har även vid tidigare studier av verkliga byggnader underskattat energibehovet markant⁶².

4.4.4 Program för köldbryggsberäkning

HEAT2 är ett program för tvådimensionell beräkning av värmeförluster genom konduktion och har i denna studie använts för beräkning av förluster genom köldbryggor. Programmet räknar ut värmeflödet genom en modell av byggnadsdelen. För att få fram köldbryggans bidrag till värmeförlusten beräknas skillnaden i värmeflöde genom byggnadsdelen med och utan köldbrygga. Värmeflödet redovisas som ett ψ -värde per meter byggnadsdel.

⁶¹ Warfvinge, Catarina. Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund. Personlig kommunikation, 2004-08-27.

⁶² Nilsson, Annika (2003): *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*. Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund. Rapport TVBH-3045. ISBN 91-88722-30-9.

4.5 Investeringsbedömning

Investeringsbedömning för åtgärderna har gjorts dels genom beräkning av pay back-tid, dels genom en så kallad LCC-modell. Livscykelkostnad, eller på engelska *life cycle cost*, är ett begrepp som strävar efter att synliggöra alla kostnader som förknippas med en viss produkt under dess hela livscykel. Ursprunget till begreppet LCC är LCA, livscykelanalyser, som på ett liknande sätt synliggör en produkts miljöpåverkan i alla steg, från utvinning av råmaterial, via användning till och omhändertagande av restprodukter. En viktig skillnad mellan dessa är att LCC är ett redskap för investeringsbedömning och innefattar endast kostnader som uppkommer vid investering och drift. En tidsmässig systemgräns dras precis innan byggnadsdelar inhandlas till projektet och en precis innan fastigheten rivs. Utvinning av råmaterial liksom hantering av restprodukter efter byggnadens rivning omfattas inte.

4.5.1 Pay back-metoden⁶³

Pay-backmetoden är den enklaste formen av investeringskalkyl som anger hur lång tid det tar för de kumulerade årliga inbetalningsöverskotten att nå samma värde som grundinvesteringen, se Ekvation 4.22. Den är i sin grundform, utan räntebeaktande, en starkt likviditetsinriktad metod. Detta beror på att den ser alla investeringar med snabb återbetalning som lönsamma. Metoden anses som något trubbig ur teoretisk synvinkel eftersom den inte tar hänsyn till ränta på det investerade kapitalet. Vidare så syns inte heller inbetalningsöverskotten efter pay back-tidens slut. Metoden kan dock användas som ett grovsåll för att ta bort de alternativ som har för lång återbetalningstid. De enligt metoden lönsamma alternativen kan därefter utredas mer noggrant med någon ”bättre” kalkylmetod.

$$\text{Pay back-tid} = \frac{G}{a} \quad [\text{år}]$$

där:

G = Grundinvestering [kr]

a = årligt inbetalningsöverskott [kr/år]

Ekvation 4.22 Pay back-metoden

Pay back-metoden finns också i en form som tar hänsyn till önskad ränta på investerat kapital, se Ekvation 4.23. Tolkningen av resultatet är då att återbetalningstiden definieras av den tid som krävs för att inbetalningsöverskottet ska bli lika stort som kapitalvärdet, med given kalkylränta. För att få fram en återbetalningstid krävs en summanuvärdestabell. Kvoten mellan G och a representerar summanuvärdet av 1 kr vid tiden för break-even vid given kalkylränta.

⁶³ Persson, Ingvar och Nilson, Sven-Åke (2001): *Investeringsbedömning*. AB Boktryck, Helsingborg. ISBN 91-47-04393-8. s 80.

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

där:

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

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

Ekvation 4.23 Pay back-metoden med hänsyn till ränta

4.5.2 Kapitalvärdemetoden⁶⁴

Kapitalvärdemetoden är en investeringskalkyl som tar hänsyn till fler parametrar som är väsentliga för giltigheten av utfallet. De parametrar som kan beaktas med metoden är kalkylränta, inflation samt prisförändringar. Kapitalvärdet är ett mått på hur mycket investeringen ger tillbaka till investeraren, utöver kalkylräntan, se Ekvation 4.24. Alltså uttrycker kapitalvärdet hur stort förmögenhetstillskottet blir när kalkylräntans avkastningskrav tillgodosätts. Kalkylen kan göras på ett flertal sätt beroende på om beräkningarna görs utifrån real eller nominell ränta. Den nominella räntan kan något förenklat sägas utgöra summan av inflation och real ränta.

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

där:

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

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

$$i = \text{kalkylräntan} \quad [-]$$

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

Ekvation 4.24 Kapitalvärdemetoden

För att göra en kalkyl med prisförändringar krävs det att inbetalningarna diskonteras år för år och sedan räknas samman till det samlade inbetalningsöverskottet. Kalkylen kan läggas upp på i princip två sätt, nominell kalkyl med real prisförändring samt real kalkyl med real prisförändring. Kapitalvärdet för de två fallen blir detsamma men de årsvisa inbetalningarna är olika. Detta beror på att diskonteringen sker med olika räntesatser (real och nominell). De olika årliga inbetalningarna är viktiga analysverktyg. Med den nominella prisändringen fås hur mycket intäkterna har ökat, medan med den reala prisändringen fås hur mycket intäkterna är värda, i förhållande till referensåret.

Beräkningsalgoritmen för att gestalta prisutvecklingen på fjärrvärme och el visas i Ekvation 4.25 nedan.

⁶⁴ Persson, Ingvar och Nilson, Sven-Åke (2001): *Investeringsbedömning*. AB Boktryck, Helsingborg. ISBN 47-04393-8. s 113.

4. Teori

$$S_n = S_0 \cdot \frac{(1 + p_n)^n}{(1 + q)^n} \quad [\text{kr}]$$

där:

$$S_n = \text{pris år } n \quad [\text{kr}]$$

$$S_0 = \text{pris år } 0 \quad [\text{kr}]$$

$$p_n = \text{nominell ränta} \quad [-]$$

$$q = \text{inflation} \quad [-]$$

$$n = \text{aktuellt år} \quad [-]$$

Ekvation 4.25 *Prisutvecklingsalgoritm*

Nuvärdesberäkningen av de årliga besparingarna följer algoritmen i där

$$i_r = \text{real kalkylränta} \quad [-]$$

Ekvation 4.26.

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

där

$$i_r = \text{real kalkylränta} \quad [-]$$

Ekvation 4.26 *Nuvärdesalgoritm*

5 Beskrivning av HSB Nibelungen och MKB Rönnen

De två fastigheterna HSB Nibelungen och MKB Rönnen i Malmö har valts för att de båda har byggts med målet hög kvalitet till låg kostnad. MKB Rönnen är en fastighet under produktion som ingår i HELHETs-projektet och HSB Nibelungen är en något äldre fastighet som lyfts fram av HELHETs-projektet som ett gott exempel på detta arbete.

5.1 Nibelungen

Fastigheten Nibelungen uppfördes under 1998 och var klar för inflyttning samma år. Det är ett projekt där både låga boendekostnader och ekonomisk lönsamhet för förvaltaren förverkligats och ligger i linje med HELHETs-projektets ide, trots att det byggdes innan HELHETs-projektet startades.

Byggnaden är ett åttavånings punkthus med 46 lägenheter fördelade på 15 enrumslägenheter och 31 tvårumslägenheter, se Figur 5.1. Boarean är 2 214 m² och bruksarean 2 830 m².



Figur 5.1 Nibelungen, Malmö den 5 maj 2004. Vy från öster.

Den bärande konstruktionen är en prefabricerad stomme i betong där ytterväggarna är 150 mm tjocka, och innerväggarna är 180 mm tjocka. Även utfackningsväggarna levereras som prefab, men bara halvprefab där den utvändiga gipsen är monterad på regelstommen.

Ytterväggarna mot norr och söder är skalväggar och består av utifrån räknat av 120 mm fasadtegel, 30 mm luftspalt, 150 mm cellplastisolering samt tidigare nämnda 150 mm prefabbetong. Ytterväggarna mot öster och väster är utfackningsväggar och består utifrån räknat av 120 mm fasadtegel, 38 mm luftspalt, 9 mm utvändig gips, 170 mm mineralullsisolering mellan träreglar samt 13 mm invändig gips. Bjälklagskanter och väggavslutningar är isolerade med 50 mm cellplastisolering.

Källarväggarna är uppbyggda av 200 mm prefabbetong med 65 mm utanpåliggande pordränisolering. Källargolvet består av 100 mm oisolerad betong på 150 mm makadam.

Takbjälklaget är inifrån räknat uppbyggt av 250 mm betong, 350 mm lösullsisolering samt 25 mm råspont med papptäckning. Anslutningar mellan bjälklag och utfackningsvägg där isoleringen förtunnats från 170 till 50 mm utgör en köldbrygga som skulle kunna vara en betydande förlustpost. Detta gäller även där betonginnerväggarna ansluter mot utfackningsväggen. Vid motsvarande anslutningar mot skalmur har isoleringen däremot hållits intakt utanför infästningen. Balkonginfästningarna är isolerade med 50 mm extra tryckbeständig mineralull, så kallad ”elefantmatta”, men detta gäller inte stödklackarna om 5 st 300 mm långa avsnitt där betongen är obruten.

Fönstrena som utgör ca 13 % av omslutningsarean har ett U-värde på 1,7 W/(m²·K) inklusive karm. Glasdelen består av en tvåglas isolerruta med ett lågemissioskikt. Balkongdörrarna har samma glaskonstruktion men har ett bättre totalt U-värde eftersom dörrdelen är bättre isolerad. Balkongdörrarna utgör ca 5 % av omslutningsarean och har ett U-värde på 1,5 W/(m²·K).

Ventilationssystemet är ett frånluftssystem, F-system, där tilluft tillförs bakom radiatorerna. Luftomsättningen är ca 0,9 oms/h, vilket är en hög omsättning som har sin grund i att de små lägenheterna alla innehåller både badrum och kök. Det finns normkrav för hur stort ventilationsflödet ska vara i ett kök och ett badrum. Dessa flöden beräknade i förhållande till lägenhetsvolymen ger den höga omsättningen.

Värmeledningssystemet är ett vattenburet radiatorsystem som försörjs genom fjärrvärme. Systemet har en egen värmeväxlare som bara försörjer radiatorsystemet. Den dimensionerande effekten är 110 kW.

5.2 Rönnen

MKB Rönnen är ett pågående projekt i Malmö, som genomförs efter en modell som återfinns i kvarter Jupiter i Jönköping. Tre sexvånings punkthus uppförs med totalt 87 lägenheter, fördelade på 20 trerumslägenheter och nio tvårumslägenheter per huskropp, se Figur 5.2 nedan. Boarean är per huskropp 1 842 m² och bruksarean inklusive allmänna utrymmen 2 475 m².

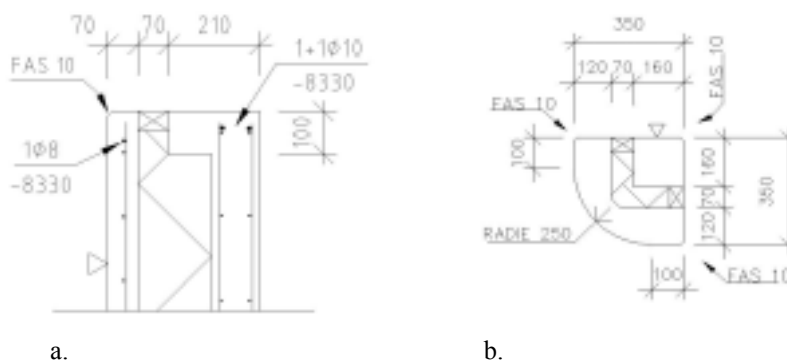


Figur 5.2 Kv Rönnen, Malmö, den 24 maj 2004. Vy från norr.

Husen är uppförda med tung stomme av betong med platta på mark utan källare. Tvättstuga, städtrum och undercentral är förlagda i entréplanet och lägenhetsförråd på den uppvärmda vinden.

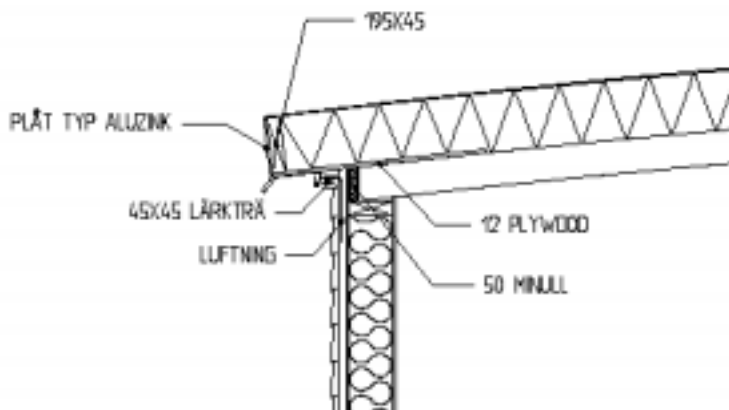
Lägenhetsytterväggarna är byggda i stora prefabricerade sandwichelement med 70 mm betong i ytterskivan, 170 mm cellplastisolering och 110 mm betong i innerskivan. Ytterväggarna på vinden samt under glaspartierna i lägenheterna är utfackningsväggar med utifrån sett fjällpanel, 28 mm luftspalt, 9 mm utvändig gips, 145 mm mineralullskiva i regelstomme och 13 mm invändig gips. Vid fönsterinfästningarna i sandwichelementen har isoleringen minskats till 70 mm 100 mm från kanten runt om hela fönsteröppningen för att ge plats för extra betong. Detta utgör en köldbrygga som dessutom har relativt stor utbredning, se Figur 5.3 a. Anledningen till isoleringsminskningen är enligt leverantören Ulricehamns Betong AB⁶⁵ krav på elementens hållfasthet främst vid hantering och transport. Även i skarven mellan sandwichelement och de inglasade uterummen har isoleringen minskats för att ge plats för armering av betongen, vilket utgör en köldbrygga. Ytterhörnen i loggiorna har konstruerats med sandwichpelare med 70 mm ingjuten cellplast, vilket är avsevärt mycket mindre än i intilliggande utfackningsvägg, se Figur 5.3 b.

⁶⁵ Bengtsson, Niclas, Ulricehamns Betong AB. Telefonkontakt, 2004-08-09.



Figur 5.3 Ritningsdetaljer Rönne. a. fönsteranslutning och b. sandwichpelare i loggiornas ytterhörn.

Taket över vindsförråden är av korrugerad plåt (så kallat TRP-tak) med 200 mm mineralullsskiva. Över utskjutande delar av lägenheterna har taket uppstolpad takstol och 400 mm sprutad mineralull. Hela taket täcks av takpapp. I anslutningen mellan TRP-tak och utfackningsvägg på vinden är isoleringen dels bruten av en träregel, dels minskad till 50 mm jämfört med 145 mm i väggen och 200 mm i taket. Figur 5.4 nedan visar hur anslutningen ser ut. Bjälklagen samt innerväggarna är oisolerade. Grunden har isolerats med 100 mm cellplast. I grunden har isoleringen halverats cirka 300 mm från yttervägg och bärande innervägg.



Figur 5.4 Ritningsdetalj över anslutningen mellan utfackningsvägg och TRP-tak, Rönne.

Takhöjden inne är 2,6 meter. Alla lägenheter har inglasade uterum med vikbara glaspartier, så kallade loggior, med tvåglas isolerrutor med ett lågmissionsskikt och argonfyllning. Glasdelens U-värde uppgår till 1,0-1,1 W/(m²K). Karmen är av aluminium med bruten köldbrygga och detta sänker hela konstruktionens U-värde till 1,6 W/(m²K).⁶⁶ En glasvägg i enkelglas med skjutdörr avgränsar mot lägenheten på loggians ena sida och en innervägg i gips med 95 mm mineralullsisolering på den

⁶⁶ Palmkvist, Bengt-Olof, Laholms Glas och Aluminium. Telefonkontakt, 2004-07-13.

andra. Fönster i lägenheterna är tvåglas isolerrutor med ett kopplat enkelglas i ytterbågen, så kallat 2+1-glas. Även här är isolerrutan argonfylld och har ett lågemissionsskikt, vilket ger U-värdet 1,2 W/(m²K) på hela konstruktionen. Fönster på vinden är av samma konstruktion som i loggiorna men utan argonfyllning.⁶⁷ U-värdet inklusive karm är ändå samma, vilket således beror på en bättre konstruktion i karmen. Lägenhets- och vindsfönstren har karm av trä med utsida av aluminium.

Huset är fjärrvärmeanslutet med 90 kW installerad effekt. Ventilationen är ett frånluftssystem med tilluftsdon bakom radiatorerna i lägenheterna, i tvättstuga, städtrum och undercentral och två frånluftsfläktar på vinden. Trapphus med hisschakt samt vinden ventileras med självdrag.

Bjälklagens anslutningar till ytterväggen utgör inte någon köldbrygga då bjälklagen vilar helt på den inre betongskivan och isoleringen ligger opåverkad utanför. Även i hörnen har sandwichkonstruktionens isolering behållits med opåverkad tjocklek. Hörn utgör alltid en köldbrygga på grund av formen, men denna har i Rönnen minskats genom att hålla isoleringen intakt hela vägen. Vid hörn i utfackningsvägg är det svårare att hålla isoleringen intakt eftersom fler träreglar krävs för att stadga konstruktionen i hörnen än på den raka väggen. I Rönnen har hörnen i utfackningsväggen på vindsvåningen byggts enligt konventionell teknik och någon utvärdering av dessa har inte gjorts.

⁶⁷ Gustavsson, Gerhard, Kvillsfors fönster. Telefonkontakt under juni-aug 2004.

6 Genomförande

Examensarbetet inleddes med diskussioner om hur den övergripande frågeställningen skulle kunna appliceras på något verkligt objekt. De två fastigheterna HSB Nibelungen och MKB Rönnen valdes ut eftersom de båda byggts med målet hög kvalitet till låg kostnad. Relationshandlingar för Nibelungen har efter en del möda erhållits delvis från konstruktör, delvis från förvaltare. För Rönnen har bygghandlingar erhållits från projektets internserver. Detaljritningar som saknats på servern har skickats av konstruktör och frågor kring detaljutföranden har besvarats av bland annat entreprenör och arkitekt. Båda fastigheterna har besökts i studiesyfte.

6.1 Modellbygge

Teoretiska modeller av byggnaderna konstruerades utifrån relationshandlingarna. Modellen för Nibelungen byggdes upp i energiberäkningsprogrammet VIP+ och simuleringens resultat jämfördes med driftsdata från Nibelungen för att identifiera skillnader mellan teoretisk och verklig energianvändning. Uppbyggnaden av datormodellen i VIP+ kan aldrig bli identisk med den verkliga byggnaden. Detta beror på brister i hur byggnaden är uppförd i förhållande till ritningarna samt att vissa delar av datormodellen beror på antaganden och gissningar. Därför är det av stor vikt att det finns månadsvisa mätdata för Nibelungen, som möjliggör test av modellen för varje månad. Genom att studera och analysera skillnaderna för varje månad har lämpliga parametrar ändrats för att få modellen att likna verkligheten. Antalet parametrar som går att ändra är dock begränsat och utgörs i stort sett av processenergi, personenergi, inomhustemperatur och läckflöde.

I ursprungsmodellen har processenergin satts till 3,5 W/m² och personenergin till 1,6 W/m². Dessa värden härstammar från livscykelberäkningar utförda för Kv. Kapellmästaren 4, utförda av Mats Öberg på avdelningen för Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola⁶⁸. Läckflödet sattes till 3,0 m³/(m²·h), vilket motsvarar maximalt tillåtet läckage enligt BBR. Inomhustemperaturen har i ursprungsmodellen satts till 20°C. Med dessa värden insatta i modellen erhålls en aningen för låg årlig användning i förhållande till de uppmätta värdena.

För att korrigera modellen har processenergin och personenergin sänkts till 2,8 respektive 1,3 W/m² samt inomhustemperaturen höjts till 21°C. De sänkta värdena på process- och personenergi är logiska då byggnaden endast omfattar en- och tvårumslägenheter. Internlasten i form av personer och lampor är mindre i små lägenheter än i stora. Inomhustemperaturen har mätts på plats i Nibelungen och konstaterades till 21°C. Resultatet efter dessa korrigeringar redovisas i Tabell 6.1 nedan.

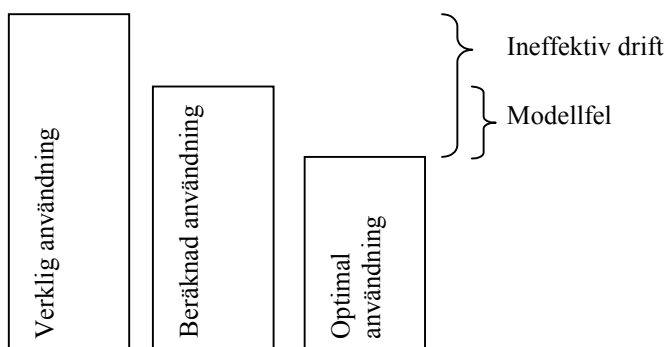
⁶⁸ Öberg, Mats (2003): *Kv. Kapellmästaren 4 – Livscykelberäkningar*. Internrapport inom HELHETs-projektet. Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Tabell 6.1 Jämförelse mellan verklig användning och behov enligt modeller i Nibelungen.

	Verklig användning [MWh]	Behov enligt VIP+ [MWh]	Behov enligt korrigerad VIP+ [MWh]
Januari	41,263	40,258	45,447
Februari	43,283	38,442	42,779
Mars	24,800	27,895	32,619
April	19,345	13,651	18,056
Maj	10,015	1,652	2,908
Juni	2,323	-0,016	-0,018
Juli	2,325	0,018	0,016
Augusti	0,357	0,021	0,022
September	10,966	1,748	3,714
Oktober	24,711	20,940	25,595
November	27,400	27,949	32,487
December	41,265	40,018	44,807
TOTALT	248,053	212,576	248,432

För Rönnen saknas driftsdata att validera modellen mot, varför de korrigeringar som genomförts i Nibelungens modell även har använts i modellen för Rönnen. Lägenheterna i Rönnen är överlag något större än i Nibelungen, vilket eventuellt kan medverka till att posterna process- och personenergi är aningen låga i rönnens simuleringar. Storleken på denna felkälla är troligen försumbar i sammanhanget.

Byggnadens optimala energianvändning, det vill säga när energin används som mest effektivt för ett givet byggnadsutförande, ligger någonstans i relation till den verkliga och den beräknade, se Figur 6.1. Skillnad mellan verklig och optimal användning utgörs av ineffektiv drift av fastigheten.



Figur 6.1 Schematisk skiss över verklig, beräknad och optimal energianvändning i en byggnad, samt tänkbara orsaker till avvikelser från denna. Observera att modellfel även kan ge lägre beräknad användning än den optimala.

I denna studie har målet inte varit att identifiera ineffektivitet i driften utan modellen har istället modifierats och validerats för att stämma överens med verkliga data.

6. Genomförande

Eventuell ineffektiv drift har på detta sätt inte analyserats, utan för de åtgärder som studerats antas driftsituationen vara oförändrad.

Den modifierade modellen utgör grunden för utvärdering av valda effektiviseringsåtgärder. Beräkningen med VIP+ görs om för varje åtgärd för att se vad den kan ge i besparing av energi. Det görs även beräkningar där de olika åtgärderna samordnas för att upptäcka eventuella synergieffekter.

6.1.1 Driftsstatistik

Nibelungen

För Nibelungen har driftstatistik över köpt fjärrvärme, vatten samt driftel för fastigheterna studerats. Driftsdata fanns månadsvis från maj 2001 till och med januari 2004, dock inte med komplett avläsningsserie. För studien valdes en period på ett år från april 2002 till mars 2003 då avläsning skett varje månad utom i december. Energibehovet för varmvattenproduktion finns inte som avläst driftstatistik. Avläsningarna är manuella och har inte alltid skett den sista i varje månad utan periodernas längd har varierat mellan 24 och 40 dagar. Driftstatistiken har korrigerats för detta med hänsyn endast till antalet avvikande dagar. Anledningen till att temperaturen dessa dagar inte tagits i beaktande är att den tid då erhållen driftsdata och temperaturdata överensstämmer är för kort för att en trovärdig effektsignatur med tillräckligt många datapunkter skall kunna tas fram. För december-januari då avläsning inte skett på 61 dagar har användningen delats lika på de två månaderna.

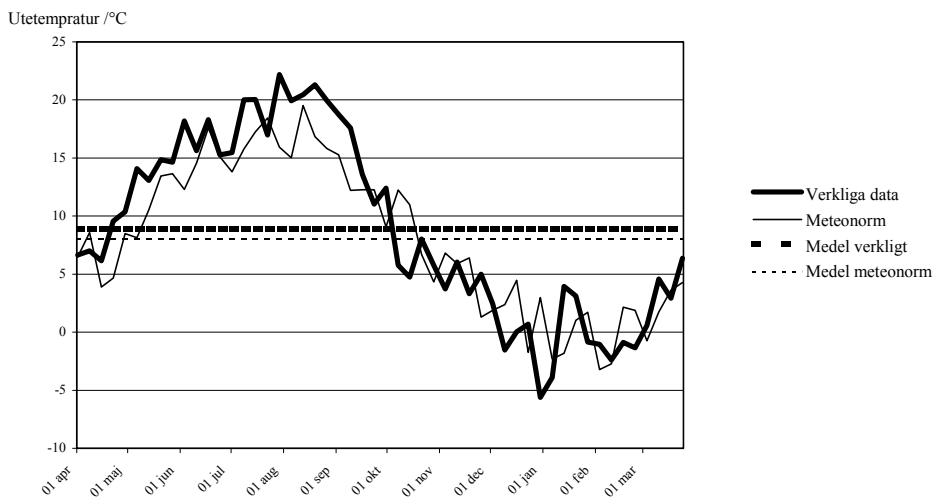
6.1.2 Klimatdata

Nibelungen

Simuleringarna av energibehov för Nibelungen har gjorts mot klimatdata från Heleneholmsverket i Malmö, uppmätta under samma tidsperiod som driftsstatistiken vid Nibelungen, vilket har gjort att normalårskorrigerings av driftsdata inte varit nödvändig. Dessa klimatdata har tillhandahållits av Hans Bagge vid Lunds Tekniska Högskola och härstammar från ett tidigare projekt där Hans ingick.

Rönnen

Simuleringarna av Rönnen har gjorts mot ett ”normalår” för Malmö konstruerat av programmet Meteonorm, för att med större säkerhet efterlikna framtida klimat. I detta tillvägagångssätt ligger en felkälla eftersom modellen som använts strikt sett modifierats för att överensstämma med driftsdata under den specifika tidsperioden april 2002 till mars 2003. Ett normalår har ändå valts för att kunna förutspå Rönnens framtida energianvändning med större relevans. Figur 6.2 nedan visar hur temperaturen varierar över året enligt uppmätta data och Meteonorm.



Figur 6.2 Utetemperatur, jämförelse mellan uppmätta data för Malmö april 2002- mars 2003 (använt för simuleringar av Nibelungen) och normalår enligt Meteonorm (använt för Rönnen).

6.2 Studerade åtgärder

De åtgärder som valts är sådana som i förväg bedömts vara lönsamma samt varit möjliga att utvärdera med såväl beräkningsprogram som ekonomiska modeller. För ventilationsförlusterna har endast alternativet frånluftsvärmepump simulerats. Värmeväxlare som växlar frånluften och tilluften mot varandra har inte studerats av olika skäl: dels är investeringskostnaden högre än för en värmepump, dels är kraven på både underhåll och utrymme större. HSB har i några av sina fastigheter tidigare installerat värmeväxlare som sedan kopplats bort på grund av igensättning av filter⁶⁹, vilket indikerar problem med installationerna i drift. Energieffektiviseringsåtgärderna är inte identiska för de båda byggnaderna, och redovisas därför i separata avsnitt.

Förutom att åtgärderna studerats var för sig, har även olika kombinationer utvärderats. Effekten av två eller fler kombinerade åtgärder är inte alltid lika med summan av de enskilda åtgärderna, eftersom de påverkar och förändrar förutsättningarna för varandra. Till exempel bidrar ett välisolerat klimatskal till lägre behov av uppvärmning, vilket kan sänka utnyttjningsgraden hos en eventuell värmepump.

⁶⁹ Björk, Robert, HSB Sundsfastigheter, Fastighetsskötare Nibelungen. Personlig kommunikation, 2004-05-05.

6.2.1 Nibelungen

Förbättringsåtgärderna i Nibelungen omfattar utökad isolering, förbättrade glaspartier, installation av frånluftsvärmepump samt säsongstyrning på ventilationen.

Utökad isolering och minskade köldbryggor

Isoleringen på Nibelungen har i utfackningsväggarna utökats från 170 mm till 320 mm genom att lägga en 80 mm fasadskiva på utsidan, öka regeltjockleken till 195 mm samt lägga till en 45 mm uppregling på insidan. Den extra uppreglingen med 45 millimeter medför att bjälklagen på samtliga våningar måste utökas med 90 millimeter för att inte minska BOA. Bjälklagsutökningen möjliggör att utfackningsväggarna kan få upplag för förankringar i bjälklaget. Den 80 millimeter tjocka fasadskivan har valts för att minska köldbryggorna vid bjälklagskanter och betongväggar och den extra uppreglingen har valts för att installationer inte ska perforera ångspärren. Skalmurarnas isolering har ökats från 150 mm till 300 mm för att U-värdet ska bli ungefär detsamma som för utfackningsväggen. En minst lika viktig anledning till den valda isoleringstjockleken i skalväggen är att det vid produktionstillfället bara behöver hanteras en isoleringstjocklek då två 150 millimeter:s isoleringsskivor monteras. Bjälklagsisoleringen har ökats från 350 mm till 500 mm. Tabell 6.2 nedan beskriver verkligt utförande och utökad isolering.

Tabell 6.2 Isoleringstjocklek i verkligt utförande samt i det förbättrade alternativet.

Byggnadsdel	Isoleringstjocklek [mm]		U-värde [W/(m ² ·K)]	
	Ursprunglig	Förbättrad	Ursprunglig	Förbättrad
Skalmursvägg	150	300	0,229	0,123
Takbjälklag	350	500	0,107	0,077
Utfackningsvägg	170	320	0,221	0,120
Köldbryggor bjälklag mot utfackningsvägg	50	130	0,642	0,287

Förbättrade glaspartier

Fönster med U-värde på 1,7 W/(m²·K), och balkongdörrar med U-värde 1,5 W/(m²·K) ersätts med bättre enheter med U-värde på 1,3 respektive 1,1 W/(m²·K). Detta görs, enligt Tabell 6.3 nedan, genom att den befintliga isolerrutan byts mot ett trippelisolerglas i både fönster och dörrar.

Tabell 6.3 Specifikation av glaspartierna i verkligt utförande samt i förbättrat alternativ.

Glasparti	Utförande		U-värde [W/(m ² ·K)]	
	Ursprunglig	Förbättrad	Ursprunglig	Förbättrad
Fönster	2-glas ett le-skikt	3-glas ett le-skikt Argon	1,7	1,3
Balkongdörrar	2-glas ett le-skikt	3-glas ett le-skikt Argon	1,5	1,1

Frånluftsvärmepump

Installation av en frånluftsvärmepump med kondensoreffekt 29,2 kW, förångareffekt 21,8 kW samt en avkylning på frånluften med 12°C har simulerats. Värmepumpens värmefaktor är 3,2. För dimensioneringen är behovet av energi styrande med utgångspunkt att byggnadens halva dimensionerande effekt skall täckas av återvunnen energi. Även byggnadens frånluftsflöde och antal lägenheter utgör indata för dimensioneringsberäkningen.⁷⁰ Återvunnen energi används i första hand till tappvarmvatten och resterade del till uppvärmning. För dessa simuleringar har det årliga varmvattenbehovet uppskattats till 205 kWh per lägenhet, vilket är ett standardvärde i VIP+. I resultaten har hela besparingen redovisats som minskat uppvärmningsbehov.

Säsongsstyrd ventilation

Säsongsstyrd ventilation innebär att frånluftsflödet från lägenheterna sänks från 0,9 till 0,5 omsättningar per timme. I VIP+ har detta simulerats genom att sänka luftomsättningen till 0,5 oms/h under perioden oktober till mars.

Konsekvenser av åtgärder

När byggnadens klimatskal förbättras sjunker den dimensionerande effekten. Detta får till följd att den installerade effekten i radiatorsystemet kan sänkas och värmesystemet blir billigare. Minskningens nivå styrs således av resultatet från övriga åtgärder. Byggnadens dimensionerande effekt beräknas för varje åtgärd och mindre radiatorer väljs ur radiatorleverantörens produktkatalog⁷¹.

6.2.2 Rönnen

De förbättringsmöjligheter som studerats i Rönnen innefattar utökad isolering och minskade köldbryggor, förbättrade glaspartier samt installation av frånluftsvärmepump. Analysen har gjorts på ett av husen, och gäller strikt sett endast hus ett och tre, då hus två skiljer sig något i utförande från de övriga två.

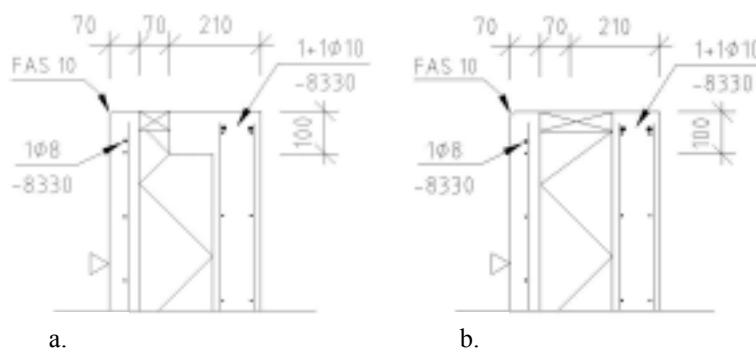
⁷⁰ Berglund, Henrik, Quantum Energi AB. Telefonkontakt, 2004-06-04.

⁷¹ Thermopanel AB (2001): *Värmeavgivningstabell*, Helsingborg.

Utökad isolering och minskade köldbryggor

Två nivåer av isoleringsutökning har studerats, benämnda ”låg” och ”hög”. De byggnadsdelar som försetts med extra isolering är sandwichväggar, utfackningsväggar, TRP-tak över vindsvåningen samt grund. Det uppstolpade taket över lägenheterna har inte förbättrats på grund av att ursprungsutförandet är bättre än omgivande byggnadsdelar. Vid isoleringsutökning har boarean behållits och husets grundläggningsarea ökat. Detta innebär för sandwichväggen att förutom grunden har arean av det uppstolpade taket utökats. För isoleringsutökningen av utfackningsväggen på vinden har arean av TRP-taket utökats medan det uppstolpade takets area har minskats i motsvarande grad. Ursprunglig och alternativ utformning presenteras i Tabell 6.4 nedan.

I båda nivåerna har minskade köldbryggor runt fönstren simulerats. Detta har gjorts genom att isoleringstjockleken har hållits intakt in till träregeln, som breddats så att den täcker hela isoleringen, se Figur 6.3. Endast denna köldbrygga har minskats, med motiveringen att den relativt enkelt kan åtgärdas samt att den är en stor förlustpost i husets energibalans.



Figur 6.3 Ritningsdetaljer fönsteranslutning i sandwichelement i Rönnen. a. ursprunglig konstruktion, b. utformning med minskad köldbrygga.

Tabell 6.4 Isoleringstjocklek i verkligt utförande samt i de två studerade alternativen.

Byggnadsdel	Isoleringstjocklek [mm]			U-värde [$W/(m^2 \cdot K)$]		
	Ursprunglig	Låg	Hög	Ursprunglig	Låg	Hög
Utfackning	145	190	290	0,200	0,132	0,116
TRP-tak	200	300	400	0,139	0,130	0,098
Grund	100	Oför.	200	0,326	Oför.	0,190
Sandwich	170	220	270	0,221	0,173	0,137
Köldbryggor runt fönster	70	170	170	0,185	0,051	0,051

Förbättrade glaspartier

För glaspartierna har glasets U-värde förbättrats. En uppdelning har gjorts mellan lägenhetsfönstren, som har ett relativt lågt U-värde i den befintliga fastigheten, och loggiapartierna tillsammans med fönstren på vindsvåningen som har ett högre utgångsvärde. Lägenhetsfönstrens U-värde har sänkts till $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ genom att ett extra lågemissionsskikt läggs till i isolerrutan medan loggiapartier och vindsfönster sänkts till $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ genom att isolerrutorna byts ut mot trippelisolerglas med argongas och ett lågemissionsskikt. Loggiapartierna ges dessutom ytterligare ett lågemissionsskikt, för att kompensera för den sämre karmkonstruktionen, se Tabell 6.5.

Tabell 6.5 Specifikation av glaspartierna i verkligt utförande samt i de studerade alternativen.

Glasparti	Utförande		U-värde [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]	
	Ursprunglig	Förbättrad	Ursprunglig	Förbättrad
Fönster	2+1-glas ett le-skikt Argon	2+1 glas två le-skikt Argon.	1,2	0,9
	2-glas ett le-skikt Argon	2+1-glas två le-skikt Argon	1,6	1,3
Vindsfönster	2-glas ett le-skikt	3-glas ett le-skikt Argon	1,6	1,3

Frånluftsvärmepump

En frånluftsvärmepump som kyler utgående ventilationsluft mot uppvärmning av tappvarmvatten och radiatorvatten simuleras. Värmepumpen som använts i simuleringarna drar $4,5 \text{ kW}$ eleffekt och har en värmefaktor på 3,4, vilket innebär att tillvaratagen värmeeffekt uppgår till $14,9 \text{ kW}$ ⁷². I resultaten har hela besparingen redovisats som minskat uppvärmningsbehov.

Konsekvenser av åtgärder

Även i Rönnen minskas värmesystemet som en följd av det förbättrade klimatskalet.

6.3 Investeringsbedömning

Beräkningsresultat från VIP+ har använts för att bedöma storleken på minskade driftskostnader. Energibesparingspotential omvandlas till kronor och ören med hjälp av rådande och framtida energipriser. Moms ingår i alla prisuppgifter.

⁷² Nilsson, Mats, Quantum Energi AB. Telefonkontakt, 2004-07-08.

6. Genomförande

Ökningen av investeringskostnad för konstruktionsförändringar har hämtats från Wikells Sektionsfakta NYB 00/01⁷³. Kostnadsdifferensen mellan befintlig och åtgärdad utformning har räknats fram via å-priser inklusive arbetslön på 115 kr per timme och omkostnadspålägg på arbetslön med 233%.

Kostnadsbesparingen för radiatorsystemet har tagits fram med hjälp av radiatorleverantören Thermopanel:s⁷⁴ produktkatalog och via å-priser ur Wikells Sektionsfakta VVS 01/02⁷⁵.

Vid fönsterförbättringar har prisuppgifter på förbättringsåtgärder erhållits från Kvillsfors fönster AB i Kvillsfors. Argonfyllning kostar enligt källan 75 kr per kvadratmeter, lågmissionsskikt 190 kr per kvadratmeter och ett extra glas i isolerrutan 250 kr per kvadratmeter⁷⁶.

Investeringskostnaden för frånluftsvärmepump har tagits fram av Quantum Energi AB i Malmö.⁷⁷ Vid dimensioneringen har hänsyn tagits till antal lägenheter, frånluftsförlöde och husets dimensionerande effekt.

Fjärrvärmepriset har satts till 65 öre/kWh inklusive moms⁷⁸. Energipriset för el har satts till 1 kr/kWh inklusive moms. Priset baseras dels på uppgifter från rapporten ”Energiläget 2003”⁷⁹ som uppger att en tredjedel av totalkostnaden för el utgörs av elpriset. Vidare uppger ”Avgiftsundersökningen Nils Holgersson” att elpriset exklusive skatter och moms ligger på ca 33 öre/kWh⁸⁰.

Tidsperioden som investeringarna bedöms över är 60 år. Effektiviseringsåtgärderna har olika lång livslängd. Isoleringen har bedömts ha en livslängd på mer än 60 år och därmed behövs bara en investering år 0. Fönsterna har bedömts ha en livslängd på 30 år, därför har en återinvestering i beräkningsmodellen gjorts år 31. Värmepumpens livslängd har bedömts vara 15 år, då delar av värmepumpen måste bytas till en kostnad av halva totala investeringskostnaden. Återinvesteringar har gjorts år 16, 31 och 46. Återinvesteringarna har i modellen bedömts kunna ske nominellt oförändrade, det vill säga prisökningen över tiden är lika stor som inflationen. För underhåll av värmepumpen har löneutvecklingen antagits följa inflationen.

⁷³ Wikells Byggberäkningar AB (2000): *Sektionsfakta NYB 00/01, Teknisk-Ekonomisk sammanställning av byggdelar*. Elanders Svenskt tryck, Surte.

⁷⁴ Thermopanel AB (2001): *Värmeavgivningstabell*. Helsingborg.

⁷⁵ Wikells Byggberäkningar AB (2001): *Sektionsfakta VVS 01/02, Teknisk-Ekonomisk sammanställning av VVS-anläggningar*. Elanders Svenskt tryck, Surte.

⁷⁶ Gustafsson, Gerhard, Kvillsfors fönster. Telefonkontakt, 2004-05-06.

⁷⁷ Nilsson, Mats, Quantum Energi AB. Telefonkontakt, juli 2004.

⁷⁸ Frisk, Mia, Sydkraft Försäljning AB. Telefonkontakt, 2004-06-06.

⁷⁹ Statens energimyndighet (2003): *Energiläget 2003*. Multitryck i Eskilstuna AB, Eskilstuna. ET 20:2003.

⁸⁰ EKAN-Gruppen i Jönköping (2003): *Avgiftsrapport 2003*. Avgiftsundersökningen ”Nils Holgersson”, www.nilsholgersson.nu, 2004-08-25.

I grundberäkningen har inflationen satts till 2 %, den reala kalkylräntan till 4 % och den nominella prisutvecklingen till 3 %⁸¹. I en känslighetsanalys med avseende på real kalkylränta och energipriser har dessa procentsatser varierats mellan 2 och 6 %. Fjärrvärmepriset inklusive skatter har sedan 1986 ökat med i snitt 5 % per år, de senaste fem åren med 4 %⁸². I känslighetskalkylerna kan därför 4 % nominell energiprisutveckling antas motsvara dagens situation.

⁸¹ Widehov, Fredrik, NewSec AB. Personlig kommunikation 2004-05-24.

⁸² Statens energimyndighet (2003): *Energiläget i siffror 2003*, Multitryck i Eskilstuna AB, Eskilstuna. ET 21:2003. s 31.

7 Resultat och analys

7.1 Nibelungen

Den befintliga fastighetens Nibelungens energiförluster uppgår enligt denna studies simuleringar till 108 kWh per kvadratmeter BOA och år. Transmissionsförlusterna genom klimatskalet uppgår till 152 200 kWh per år, där köldbryggorna står för 15 % eller 23 500 kWh per år. Ventilationsförlusterna uppgår till 270 600 kWh per år. Vid beräkning av energibehovet per kvadratmeter har kontorslokalen på plan ett inkluderats i BOA. För att få fram kostnaden har energibehovet multiplicerats med dagens fjärrvärmepris som är 65 öre / kWh inklusive moms⁸³.

7.1.1 Befintlig fastighet

Energibehovet för Nibelungen som den är utformad idag redovisas i tabell 7.1 nedan.

Tabell 7.1 Behov av köpt energi samt kostnad för uppvärmning år 1 för befintlig byggnad, Nibelungen.

Åtgärd	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA·år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA·år)]
Befintlig	248 100	108	161 300	70

7.1.2 Utökad isolering

Isoleringsökningen gör att transmissionsförlusterna minskar med 19 900 kWh/år. I tabell 7.2 nedan görs en jämförelse mellan befintlig byggnad och byggnaden med högre isolergrad. Jämförelsen omfattar energibehov och kostnad för uppvärmning.

Tabell 7.2 Behov av köpt energi samt kostnad för uppvärmning år 1 för befintlig byggnad och efter isoleringsökning i Nibelungen.

Åtgärd	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA·år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA·år)]
Befintlig	248 100	108	161 300	70
Isolering	228 200	100	148 300	65

⁸³ Frisk, Mia, Sydskraft Försäljning AB. Telefonkontakt, 2004-05-03.

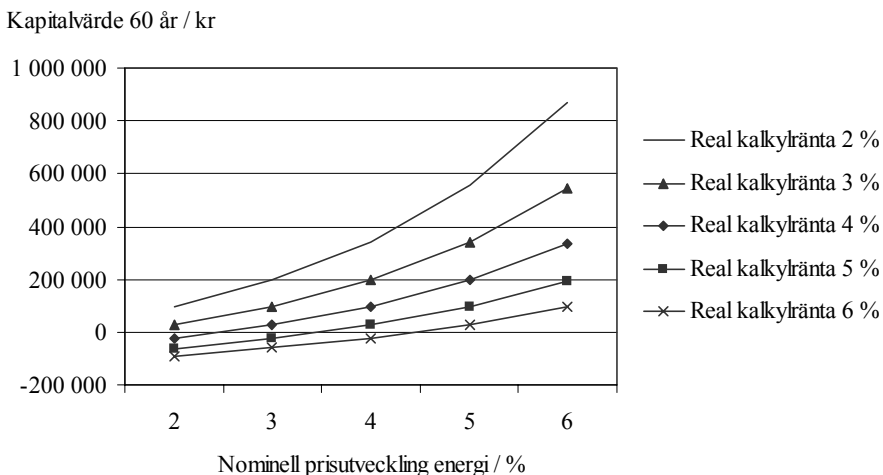
Kostnaden för utökad isolering är 270 000 kr. I denna kostnad finns medtaget kostnader för utökning av takkonstruktion, utökning av källarväggar och källargolv samt utökning av bjälklag på samtliga plan.⁸⁴ Med den utökade isolergraden kan radiatorsystemet minskas tack vare ett lägre effektbehov. Det mindre radiatorsystemet ger en kostnadsbesparing på 19 000 kr⁸⁵.

Vid investeringsbedömning är pay back-tiden och kapitalvärdet av stort intresse. Dessa finns redovisade i tabell 7.3.

Tabell 7.3 Payback-tid och kapitalvärde efter 60 år för isoleringsökning. För kapitalvärdet är inflationen 2%, nominell prisutveckling 3% och real kalkylränta 4%.

Åtgärd	Pay back-tid [år]	Kapitalvärde 60 år [kr]
Isolering	25,1	26 800

För att åskådliggöra hur lönsamheten gestaltar sig vid olika kalkylränta och prisutvecklingsscenarier redovisas i Figur 7.1 en känslighetskalkyl.



Figur 7.1 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för isoleringsutökning i Nibelungen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

7.1.3 Förbättrade fönster

Efter fönsterförbättringen minskar transmissionsförlusterna med 19 500 kWh/år. Tabell 7.4 nedan redovisar besparingen med fönsterbytet jämfört med ursprunglig byggnad, dels som energibesparing dels som kostnadsbesparing.

⁸⁴ Wikells Byggberäkningar AB (2000): *Sektionsfakta NYB 00/01, Teknisk-Ekonomisk sammanställning av byggdelar*. Elanders Svenskt tryck, Surte.

⁸⁵ Wikells Byggberäkningar AB (2001): *Sektionsfakta VVS 01/02, Teknisk-Ekonomisk sammanställning av VVS-anläggningar*. Elanders Svenskt tryck, Surte.

7. Resultat och analys

Tabell 7.4 Behov av köpt energi samt kostnad för uppvärmning år 1 för befintlig byggnad och efter fönsterförbättring i Nibelungen.

Utförande	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA år)]
Befintlig	248 100	108	161 300	70
Fönster	228 600	100	148 600	65

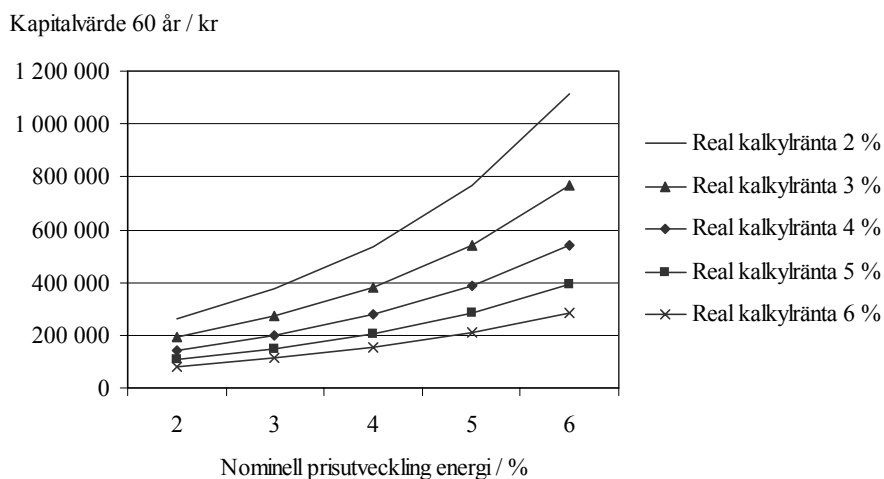
Kostnaden för fönsterförbättringen är 107 500 kr⁸⁶. Fönsterförbättringen medför även att effektbehovet minskar, därmed kan radiatorsystemet minskas. Kostnadsbesparingen för minskat radiatorsystem är 19 000 kr⁸⁷.

I tabell 7.5 nedan redovisas pay back-tid och kapitalvärde efter 60 år för fönsterbyte.

Tabell 7.5 Pay back-tid och kapitalvärde efter 60 år för fönsterbyte i Nibelungen. För kapitalvärdet är inflationen 2%, nominell prisutveckling 3% och real kalkylränta 4%.

Åtgärd	Pay back-tid [år]	Kapitalvärde 60 år [kr]
Fönster	8,0	200 400

För att åskådliggöra hur lönsamheten gestaltar sig vid olika kalkylränta och prisutvecklingsscenarioer redovisas i Figur 7.2 en känslighetskalkyl.



Figur 7.2 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för förbättring av fönster i Nibelungen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

⁸⁶ Gustafsson, Gerhard, Kvillsfors fönster. Telefonkontakt, 2004-05-06.

⁸⁷ Wikells Byggbereäkningar AB (2001): *Sektionsfakta VVS 01/02, Teknisk-Ekonomisk sammanställning av VVS-anläggningar*. Elanders Svenskt tryck, Surte.

7.1.4 Frånluftsvärmepump

Transmissionsförlusterna blir oförändrade då frånluftsvärmepumpen installeras. Ventilationsförlusterna minskas med 146 100 kWh per år. För att få ut denna energi krävs dock att 60 900 kWh el per år tillförs. I tabell 7.6 nedan redovisas besparingen med värmepumpen jämfört med ursprunglig byggnad, dels som energibesparing dels som kostnadsbesparing. Vid energijämförelsen har energi från el och fjärrvärme likställts, men vid kostnadsberäkningen har el och fjärrvärme behandlats med aktuell prisskillnad.

Tabell 7.6 Behov av köpt energi samt kostnad för uppvärmning år 1 för befintlig byggnad och efter installation av frånluftsvärmepump i Nibelungen.

Utförande	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA·år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA·år)]
Befintlig	248 100	108	161 300	70
Frånluftsvärmepump	162 900	71	127 200	55

Installation av frånluftsvärmepumpen kostar 190 000 kr. I detta pris inkluderas kostnaden för cirkulationspump, tryckhållningssystem, expansionssystem samt rördragning.⁸⁸ Underhållet av värmepump har uppskattats till 20 timmar per år⁸⁹ till en timkostnad på 115 kr⁹⁰.

I tabell 7.7 nedan redovisas pay back-tid och kapitalvärde efter 60 år för frånluftsvärmepump.

Tabell 7.7 Pay back-tid och kapitalvärde efter 60 år för frånluftsvärmepump i Nibelungen. För kapitalvärdet är inflationen 2%, nominell prisutveckling 3% och real kalkylränta 4%.

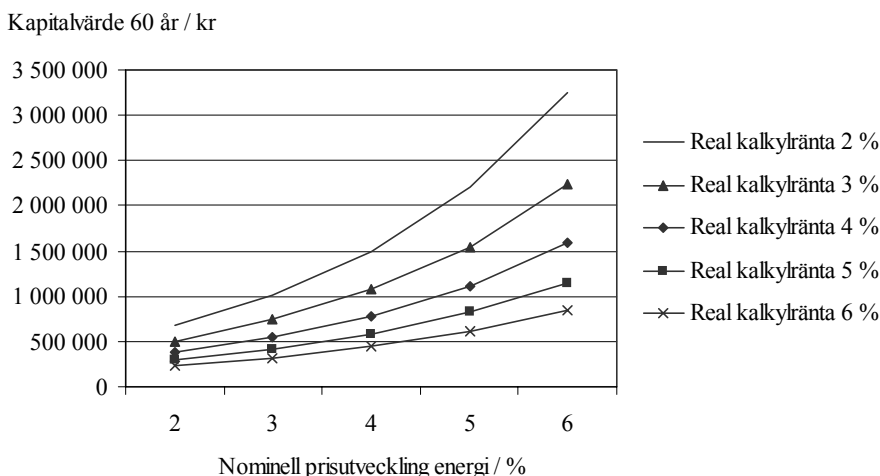
Åtgärd	Pay back-tid [år]	Kapitalvärde 60 år [kr]
Frånluftsvärmepump	6,5	551 900

För att åskådliggöra hur lönsamheten gestaltar sig vid olika kalkylränta och prisutvecklingsscenarier redovisas i Figur 7.3 en känslighetskalkyl.

⁸⁸ Berglund, Henrik, Quantum Energi. Telefonkontakt, 2004-06-04.

⁸⁹ Repab AB (2000): *Årskostnader Bostäder – nyckeltal för kostnader och förbrukningar*. Mölndal. Repab fakta. ISBN 91-88666-44-1.

⁹⁰ Wikells Byggbereäkningar AB (2001): *Sektionsfakta VVS 01/02, Teknisk-Ekonomisk sammanställning av VVS-anläggningar*. Elanders Svenskt tryck, Surte.



Figur 7.3 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för frånluftsvärmepump i Nibelungen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

7.1.5 Säsongstyrd ventilation

Uppvärmningsbehovet minskar med 73 800 kWh per år. Samtidigt minskar energibehovet för el till frånluftsfälkten med 3 000 kWh per år. Vid energjämförelsen har energi från el och fjärrvärme likställt, men vid kostnadsberäkningen har el och fjärrvärme behandlats med aktuell prisskillnad, se tabell 7.8 nedan. Pay back-tid, kapitalvärde och känslighetsanalys har ej beräknats då investeringskostnaden är så pass låg, uppskattningsvis 20 000kr.

Tabell 7.8 Behov av köpt energi samt kostnad för uppvärmning år 1 för befintlig byggnad och med säsongstyrd ventilation i Nibelungen.

Utförande	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA år)]
Befintlig	248 100	108	161 300	70
Säsongstyrd vent.	174 300	76	112 300	49

7.1.6 Kombination av åtgärder

Kombinationen av isoleringsökning och fönsterbyte innebär en kostnadsökning på 377 500 kr. Som en följd av dessa förbättringar kan radiatorsystemet minskas, kostnadsbesparingen för detta blir 21 300 kr⁹¹.

⁹¹ Wikells Byggbärningar AB (2001): *Sektionsfakta VVS 01/02, Teknisk-Ekonomisk sammanställning av VVS-anläggningar*. Elanders Svenskt tryck, Surte.

Kombinationen av isoleringsökning och frånluftsvärmepump kostar 460 000 kr. Återinvestering i frånluftsvärmepump sker enligt tidigare exempel. Radiatorsystemet kan minskas och ger en kostnadsbesparing på 19 000 kr.

Fönsterbyte kombinerat med frånluftsvärmepump betingar en kostnad av 297 500 kr. Återinvestering av frånluftsvärmepump sker på samma sätt som ovan. Även i detta fall kan radiatorsystemet minskas och ger en kostnadsbesparing på 19 000 kr.

Isoleringsökning kombinerat med fönsterbyte och frånluftsvärmepump kostar 567 500 kr i investering. Återinvesteringar har gjorts enligt tidigare exempel. Radiatorsystemet minskas och ger en kostnadsbesparing på 21 300 kr.

I tabell 7.9 nedan redovisas energibehov och energikostnad vid kombinationer av isoleringsökning, fönsterbyte och frånluftsvärmepump. För energibehovsberäkningen har fjärrvärmeenergi och elenergi behandlats som likvärdiga. Vid kostnadsberäkningen har skilda pris använts för fjärrvärme och el. Tabell 7.10 presenterar pay back-tid och kapitalvärde för åtgärderna.

Tabell 7.9 Behov av köpt energi samt kostnad för uppvärmning år 1 för befintlig byggnad och efter kombinationer med fönsterförbättring, isoleringsökning och frånluftsvärmepump i Nibelungen.

Utförande	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA·år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA·år)]
Befintlig	248 100	108	161 300	70
Isolering och fönster	208 500	91	135 500	59
Isolering och värmepump	143 400	63	114 400	50
Fönster och värmepump	143 900	63	114 700	50
Isolering, fönster och värmepump	124 200	54	101 800	44

7. Resultat och analys

Tabell 7.10 Pay back-tid och kapitalvärde efter 60 år för åtgärder på Nibelungen. Inflationen är satt till 2 %, reala kalkylräntan till 4 % och nominella prisökningen på fjärrvärme och el till 3 %.

Åtgärd	Pay back-tid [år]	Kapitalvärde 60 år [kr]
Isolering och fönster	13,0	387 700
Isolering och värmepump	11,1	587 400
Fönster och värmepump	7,2	703 300
Isolering, fönster och värmepump	11,1	627 200

7.1.7 Diskussion

Vid studierna av mätresultaten från Nibelungen visar det sig att under juni och juli månad finns ett uppvärmningsbehov på drygt 2 MWh. Då de mätvärden som studerats härrör från en värmeväxlare som bara försörjer radiatorsystemet, så kan det vara på sin plats att undersöka orsaken till detta energibehov.

Isoleringsökningen i Nibelungen visar sig kunna bli lönsam om dagens räntenivå och prisutveckling håller i sig. Om avkastningskraven (kalkylräntan) istället ökas samtidigt som prisutvecklingen förblir konstant eller avtar så är investeringen tveksam. Pay back-tiden är lite väl lång då den utgör nästan halva den beräknade livslängden.

Fönsterbytet i Nibelungen får ett positivt kapitalvärde oavsett hur känslighetsanalysen utformas, detta tyder på att bättre fönster borde vara lönsamt vid nybyggnad av hyresfastigheter. Pay back-tiden på 8 år är ungefär en fjärdedel av den beräknade livslängden.

Installationen av frånluftsvärmepumpen får även den ett positivt kapitalvärde för alla prövade fall i känslighetsanalysen. Därför borde det vara lönsamt att installera frånluftsvärmepump vid nybyggnation med frånluftsventilation. Pay back-tiden på 6,5 år är knappt halva den beräknade livslängden.

Säsongsstyrd ventilation visar sig ha en stor besparingspotential, både i energi och i kostnader. Besparingen är lika stor för säsongsstyrd ventilation som för förbättrade fönster kombinerat med frånluftsvärmepump, till mindre än 10 % av investeringskostnaden. Resultatet beror till stor del på den höga luftomsättningen i Nibelungen.

Vid de olika kombinationerna med isoleringsökning, fönsterbyte och frånluftsvärmepump visar det sig att effekten av flera åtgärder inte förstärker varandra. De förväntade synergieffekterna går inte att finna. Det viktigaste är dock att åtgärderna inte motverkar varandra. Det finns inga tecken i resultaten som tyder på detta. Kombination av isoleringsutökning, förbättrade fönster och värmepump sänker behovet av köpt energi till uppvärmning och varmvatten med omkring 50 %, främst

beroende på att värmepumpen ensam klarar hela varmvattenförsörjningen. I tabellerna ovan har som tidigare nämnts resultatet presenterats som minskning av uppvärmningsbehov, vilket är anledningen till att procentsatserna inte är direkt jämförbara. Investeringskostnaden för denna kombination uppgår till ungefär 2 % av Nibelungenprojektets totala produktionskostnad.

7.2 Rönnen

7.2.1 Befintlig fastighet

Den befintliga fastigheten Rönnen kommer enligt denna studies simuleringar att använda omkring 68 kWh per kvadratmeter BOA och år. Transmissionen genom ytterväggar uppgår till 164 000 kWh per år, varav köldbryggorna utgör 7 % eller 8 500 kWh. Via ventilationen förloras varje år 130 000 kWh. Värmesystemet som har installerats är på 90 kW, vilket visar sig vara något i överkant. Dimensionerande effekt för Rönnen är 72 kW. Här finns möjlighet att minska alla radiatorer en storlek, vilket skulle spara ca 20 000 kr i investeringskostnader. Tabell 7.11 nedan summerar beräknat uppvärmningsbehov och uppvärmningskostnad för Rönnen.

Tabell 7.11 Behov av köpt energi för uppvärmning, Rönnen, befintligt utförande.

Åtgärd	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA år)]
Befintlig	124 500	68	80 900	44

7.2.2 Utökad isolering

Utökning av isoleringen ger en energibesparing på mellan 9 400 och 19 900 kWh/år, beroende på isolerökningens grad. För låg förbättringsnivå minskar transmissionsförlusterna till 153 000 kWh per år och köldbryggornas effekt reduceras med nästan hälften till 4 400 kWh per år, eller 3 % av transmissionsförlusterna. Den högre nivån på utökningen innebär att transmissionsförlusterna minskar ytterligare till 141 000 kWh per år. Köldbryggornas effekt är oförändrad eftersom ingen ytterligare förbättring av dessa simulerats. Tabell 7.12 redovisar behov och kostnader för Rönnen om isoleringen förbättras till ”låg” eller ”hög” nivå jämfört med den befintliga fastigheten.

Tabell 7.12 Behov av köpt energi för uppvärmning, Rönnen med utökad isolering.

Åtgärd	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA år)]
Befintlig	124 500	68	80 900	44
Isolering låg	115 200	63	74 800	41
Isolering hög	104 600	57	68 000	37

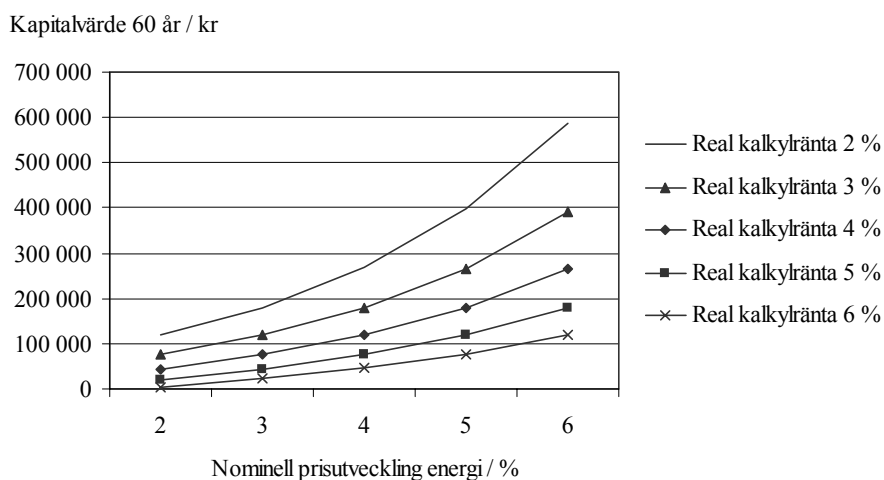
7. Resultat och analys

Kostnadsökningen för utökning av isoleringen i väggar, tak och grund förekommer endast i form av ökade investeringar, eftersom underhåll av fasader och tak inte påverkas av isoleringens tjocklek. Investeringskostnaden för utökad isolering har för låg nivå beräknats till 105 000 kr och för hög nivå till 249 000 kr. Dessutom har värmesystemet reducerats till 68 kW respektive 63 kW installerad effekt, vilket ger en ytterligare investeringsbesparing på omkring 10 500 respektive 21 000 kr. Minskningen av köldbryggor har inte bedömts ge upphov till några extra kostnader. Pay back-tid samt kapitalvärde för respektive förbättringsnivå presenteras i Tabell 7.13 nedan.

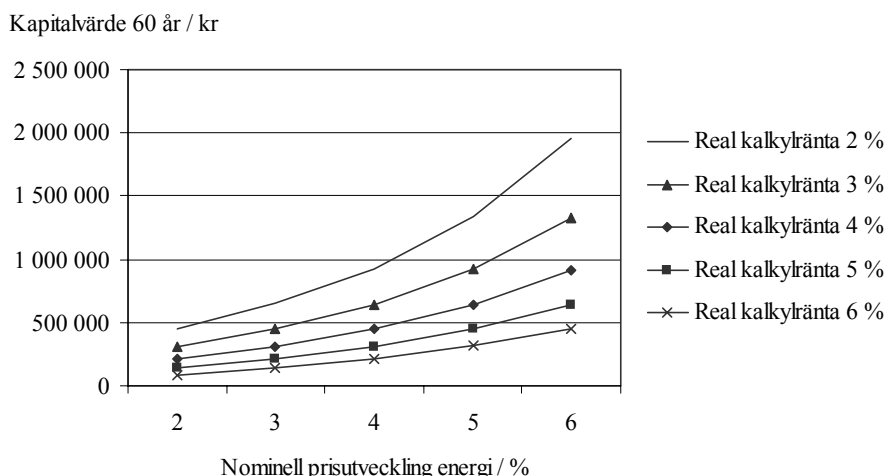
Tabell 7.13 Pay back-tid och kapitalvärde efter 60 år, Rönnen med utökad isolering. För kapitalvärdet är inflationen 2%, nominell prisutveckling 3% och real kalkylränta 4%.

Åtgärd	Pay back-tid [år]	Kapitalvärde 60 år [kr]
Isolering låg	15,4	75 200
Isolering hög	17,7	130 400

En känslighetskalkyl som visar hur lönsamheten förändras med olika scenarier på energipriset samt varierande real kalkylränta presenteras i Figur 7.4 nedan.



Figur 7.4 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för utökning av isoleringen, låg nivå, i Rönnen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.



Figur 7.5 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för utökning av isoleringen, hög nivå, i Rönnen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

7.2.3 Förbättrade glaspartier

Förbättrade glaspartier ger en energibesparing på mellan 5 300 och 12 100 kWh per år, beroende vilka partier som förbättras. Energi sparas framförallt genom att transmissionsförlusterna minskas, när endast lägenhetsfönstren förbättras till 157 000 kWh per år, när loggior och vindsfönster förbättras till 154 000 kWh per år och när alla partier förbättras till 146 000 kWh per år.

Mängden solenergi som kan tillvaratas genom instrålning mot fönster påverkas något av ett fönsterbyte, något som ofta förs upp i debatten om energisparfönster. Vid förbättring av endast lägenhetsfönster minskas mängden tillvaratagen solenergi med omkring 2,5 %, vid förbättring av loggior och vindsfönster med knappt 5 % och vid förbättring överallt med 7 %. Tabell 7.14 nedan visar hur behovet av köpt energi till uppvärmning sänks då glaspartierna förbättras.

Tabell 7.14 Behov avköpt energi för uppvärmning, Rönnen med förbättrade glaspartier.

Åtgärd	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA år)]
Befintlig	124 500	68	80 900	44
Lägenhetsfönster	119 200	65	77 500	42
Loggior och vindsfönster	117 800	64	76 500	42
Alla glaspartier	112 400	61	73 100	40

7. Resultat och analys

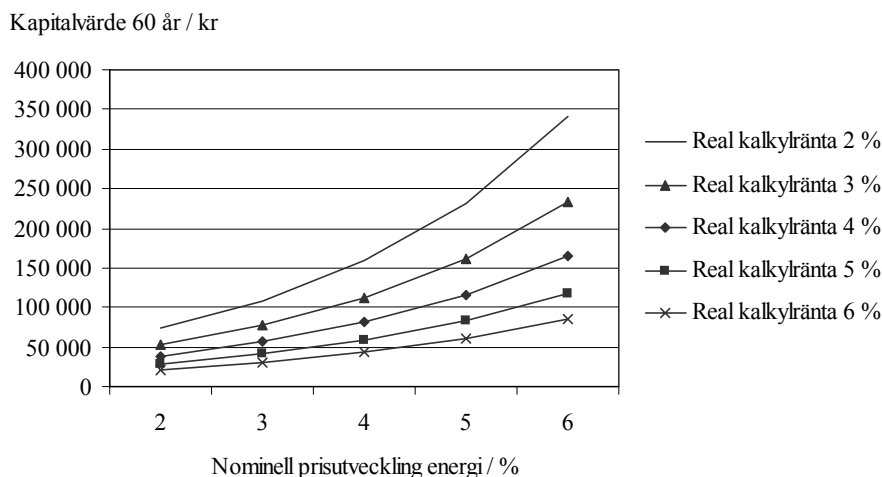
Även för glaspartier innebär förbättringen ökade kostnader endast i investeringsskedet. Kostnaden har uppskattats till omkring 39 000 kr för förbättring av lägenhetsfönster och 122 000 kr för förbättring av loggior och vindsfönster. För förbättring av alla fönster blir kostnaden således 161 000 kr.

Dimensionerande effekten sänks till 69 kW för förbättring av antingen lägenhetsfönster eller loggior och vindsfönster respektive 66 kW för förbättring av alla glaspartier. Detta leder till en möjlighet att reducera radiatorsystemet och bedöms spara 8 400 respektive 14 700 kronor.

Tabell 7.15 Pay back-tid och kapitalvärde efter 60 år, Rönnen med förbättrade glaspartier. För kapitalvärdet är inflationen 2%, nominell prisutveckling 3% och real kalkylränta 4%.

Åtgärd	Pay back-tid [år]	Kapitalvärde 60 år [kr]
Lägenhetsfönster	8,8	56 600
Loggior och vindsfönster	25,8	-24 900
Alla glaspartier	18,6	28 200

En känslighetskalkyl görs för förbättringen av lägenhetsfönster, enligt Figur 7.6 nedan. Loggior och vindsfönster har liksom alla glaspartier inte analyserats vidare på grund av de låga kapitalvärdena.



Figur 7.6 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för byte av lägenhetsfönster i Rönnen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

7.2.4 Frånluftsvärmepump

För frånluftsvärmepumpen gäller inte samma förutsättningar som för förbättring av klimatskalet, eftersom pumpen medför en ökad användning av elenergi vid drift.

Behovet av köpt energi till uppvärmning minskar enligt Tabell 7.16. Värmepumpen är igång året om och drar omkring 28 000 kWh per år, vilket är inkluderat i behov och kostnader i tabellen.

Tabell 7.16 Behov av köpt energi för uppvärmning, Rönnen med frånluftsvärmepump.

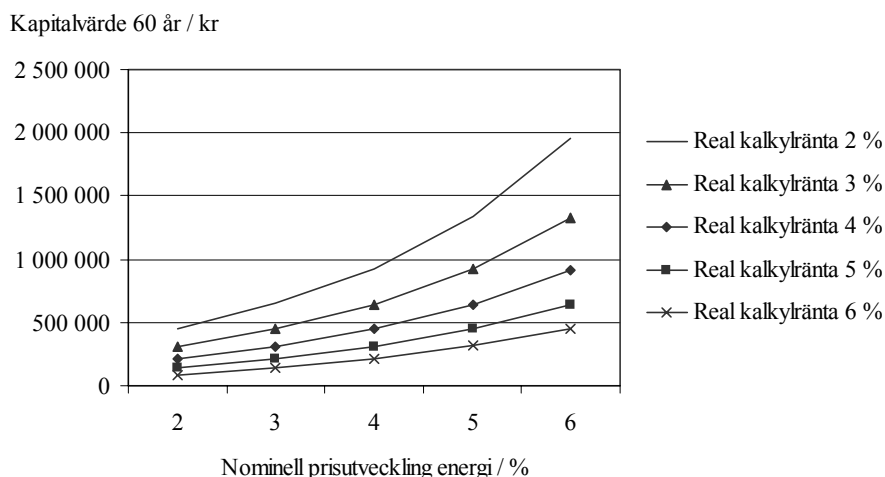
Åtgärd	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA·år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA·år)]
Befintlig	124 500	68	80 900	44
Frånluftsvärmepump	87 800	48	66 900	36

Frånluftsvärmepumpen medför ökade kostnader i såväl investeringskedet som driftsfasen i form av elkostnad och underhåll. Totala investeringskostnaden har uppskattats till omkring 125 000 kronor och underhållskostnader till 5 000 kronor per år. Pay back-tid och kapitalvärde efter 60 år presenteras i Tabell 7.17.

Tabell 7.17 Pay back-tid och kapitalvärde efter 60 år, Rönnen med frånluftsvärmepump. För kapitalvärdet är inflationen 2%, nominell prisutveckling 3% och real kalkylränta 4%.

Åtgärd	Pay back-tid [år]	Kapitalvärde 60 år [kr]
Frånluftsvärmepump	15,6	97 600

En känslighetskalkyl enligt nedan visar att kapitalvärdet ökar betydligt om energipriset ökar, liksom om en lägre kalkylränta kan accepteras, och vice versa.



Figur 7.7 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för frånluftsvärmepump i Rönnen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

7.2.5 Kombination av åtgärder

I kombination med övriga åtgärder har inte loggior och vindsfönster studerats, utan endast lägenhetsfönstren.

Kombination av låg nivå på isoleringsförbättring och utbyte av lägenhetsfönster innebär en extra investeringskostnad på 144 000 kr. Installationskostnaden för värmesystemet minskas med 19 000 kr. För den högre nivån av isoleringsutökning kombinerat med förbättrade lägenhetsfönster blir investeringskostnaden 288 000 kr högre än i befintligt utförande och värmesystemet 23 000 kr billigare.

Kombinationen låg isoleringsökning och frånluftsvärmepump kostar 261 000 kr. Värmesystemet minskas i samma grad som vid isoleringsutökning utan värmepump eftersom återvinning inte tillgodoräknas vid värmedimensionering. Besparingen är, enligt tidigare exempel, 10 500 kr. Hög isoleringsutökning och värmepump kostar 406 000 kr och sparar 21 000 i värmesystemet.

Förbättring av lägenhetsfönster kombinerat med frånluftsvärmepump kostar 195 000 kr och sparar, precis som vid förbättring av enbart fönstren, 8 400 kr.

Kombination av de tre åtgärderna låg isoleringsutökning, förbättring av lägenhetsfönster och installation av frånluftsvärmepump kostar 300 000 i extra investeringskostnad och sparar 19 000 kr i minskat värmesystem. Om isoleringen istället ökas enligt hög nivå i samma kombination ökar extra de investeringskostnaderna till 570 000 kr och besparing i värmesystemet uppgår till 23 000 kr.

Tabell 7.18 Behov av köpt energi för uppvärmning, Rönnen med olika kombinationer av åtgärder.

Åtgärd	Behov av köpt energi till uppvärmning		Kostnad för uppvärmning	
	[kWh/år]	[kWh/(m ² BOA·år)]	[kr/år]	[kr/(m ² BOA·år)]
Befintlig	124 500	68	80 900	44
Isolering låg och lägenhetsfönster	105 700	57	68 700	37
Isolering hög och lägenhetsfönster	103 300	56	67 100	36
Isolering låg och värmepump	78 400	43	60 800	33
Isolering hög och värmepump	67 500	37	53 700	29
Lägenhetsfönster och värmepump	81 800	44	63 000	34
Isolering låg, lägenhetsfönster och värmepump	47 200	26	40 500	22
Isolering hög, lägenhetsfönster och värmepump	42 200	23	37 200	20

Tabell 7.19 Pay back-tid och kapitalvärde efter 60 år för fastighet med olika kombinationer av åtgärder, Rönnen hus 3. För kapitalvärdet är inflationen 2%, nominell prisutveckling 3% och real kalkylränta 4%.

Utförande	Pay back-tid [år]	Kapitalvärde 60 år [kr]
Isolering låg och lägenhetsfönster	10,2	214 300
Isolering hög och lägenhetsfönster	19,1	119 100
Isolering låg och värmepump	12,8	292 600
Isolering hög och värmepump	12,0	503 600
Lägenhetsfönster och värmepump	10,8	215 400
Isolering låg, lägenhetsfönster och värmepump	11,0	426 700
Isolering hög, lägenhetsfönster och värmepump	20,3	200 000

7.2.6 Diskussion

Potentialen att spara energi i fastigheten Rönnen är relativt stor. Åtgärderna utökad isolering, förbättrade fönster samt värmepump möjliggör minskning av behovet av köpt energi för uppvärmning med cirka 25 % om de kombineras optimalt.

För isoleringsutökning, där två nivåer på förbättringen studerats, framkommer tydligt skillnaden i investeringsbedömning via pay back-metoden och kapitalvärdemetoden. Låg nivå på förbättringen ger kortare pay back-tid medan hög nivå ger högre kapitalvärde, faktiskt det högsta av alla studerade åtgärder. Med ett långsiktigt perspektiv lönar sig följaktligen en tjockare isolering framför en tunnare. Båda nivåerna har positiva kapitalvärden efter 60 år, vilket innebär att de är att föredra framför den befintliga utformningen.

Förbättring av lägenhetsfönster är lönsamt trots det redan låga U-värdet i utgångsläget. För förbättring av loggiapartier och vindfönster är lönsamheten mer tveksam, vilket till viss del beror på hur förbättringen har gjorts: Loggiornas höga U-värde verkar till stor del bero på karmkonstruktionen. I simuleringen har ändå glasdelens U-värde sänkts genom det extra lågmissionsskiktet. Eftersom glasets U-värde från början varit relativt lågt blir kostnaden för ytterligare förbättring hög relativt energibesparingen. Troligen skulle samma energibesparing kunna uppnås till lägre kostnad genom förbättring av karmen.

Värmepumpen är den enskilda investering som spar mest energi. Värmepumpen levererar som tidigare nämnts energi till både varmvatten och uppvärmning. Behovet av energi till varmvatten täcks helt av värmepumpen och överbliven energi går till uppvärmning. Köpt energi till dessa poster tillsammans sänks med värmepumpens hjälp totalt med cirka 20 %. Även om pay back-tiden kan tyckas vara lång, 15,6 år, är kapitalvärdet positivt för alla studerade situationer i känslighetskalkylen.

Vid kombination av åtgärder minskar energibehovet i de flesta fall i något lägre grad än när åtgärderna installeras var för sig. Trots detta är potentialen vid kombinerad stor när utökning av isoleringen, förbättring av lägenhetsfönster och frånluftsvärmepump kombineras. Behovet av köpt energi till uppvärmning och varmvatten minskar med upp till 50 %. Anmärkningsvärt är att kostnaden för denna kombination inte uppgår till mer än omkring 2 % av totala produktionskostnaden.

8 Slutsatser

Studien visar överlag att energibesparande åtgärder är lönsamma vid nybyggnation av flerbostadshus med hyresrätter. Men ska framtidens energianvändning inom bostadssektorn kunna minskas måste byggherrarna bli bättre och tydligare i sina krav till projektörer och entreprenörer. Byggherrarna måste därför bredda och fördjupa sin kompetens för att kunna möta projektörernas och entreprenörernas argument om att effektiviseringar på energiområdet är kostsamma. Ett viktigt steg för att minska energianvändningen är att byggherrarna redan vid projekteringen ställer tydliga krav på energianvändning i den färdiga byggnaden. Vid totalentreprenader läggs projekteringen över på entreprenören som inte har någon vinning av att bygga ett energieffektivt hus, utan bygger bara så att byggnaden uppfyller normen. Vid andra entreprenadformer ligger en större arbetsbörda på byggherren, då han/hon har samordningsansvaret för projektering och entreprenörer. Detta kommer att medföra en större arbetsinsats av byggherren men samtidigt fås en djupare inblick i vad som är möjligt att effektivisera och till vilken kostnad. Under denna studies genomförande tillfrågades en av byggherrarna inom HELHETs-projektet vad de trodde att isoleringsökningen på ett av de studerade objekten skulle kosta. Gissningen var att det skulle kosta drygt en miljon. Den verkliga kostnaden är som tidigare redovisats 270 000 kr. Vid redovisningen av denna kostnad utbrister personen ifråga ”det tror jag inte en sekund på”. Detta tyder på att det finns byggherrar som inte har en klar kostnadsbild över energieffektiviseringar.

Vissa åtgärder innebär direkt sänkta kostnader för förvaltaren, exempelvis effektivare användning av driftel. Andra åtgärder påverkar de boende mer än förvaltaren. En sådan åtgärd är individuell mätning och debitering av värme- och vattenanvändningen. Denna åtgärd kan minska förvaltarens intresse av att energieffektivisera då förvaltaren får en sänkt driftskostnad utan att förbättra klimatskalet. Det finns dock medel för att kringgå detta. I grunden skall inte förvaltarens och de boendes perspektiv behöva utgöra några motsättningar.

Byggkostnadsforum anger att en av dess uppgifter är att verka för sänkta livscykelkostnader. Detta framgår inte alltid tydligt, då merparten av projekten verkar inrikta sig på att sänka produktionskostnaden. Det skulle vara intressant att se ett projekt i BKF:s regi där både låg produktionskostnad och låg energianvändning eftersträvas. En sänkning av driftskostnaden gör att produktionskostnaden utgör en procentuellt större del av den totala kostnaden. Detta bör i sin tur ge att en sänkt produktionskostnad får större effekt på totalkostnaden i ett energieffektivt hus. Både Nibelungen och Rönnen balanserar på gränsen för vad som godkänns enligt BBR:s energihushållningskrav och ligger trots detta väl under riksgenomsnittet för nybyggda flerbostadshus i Sverige idag. Därmed borde det finnas än större potentialer för kostnadseffektiv energibesparing i övriga bostadsbeståndet.

I kontakterna med förvaltare och byggherrar under studiens genomförande har intresset för energieffektiviseringar varit svalt. Detta har framförallt visat sig genom att de hänvisar till att de vet vad energibehovet är för deras fastighetsbestånd och att

de använder dessa siffror i sina kalkyler för nya byggprojekt. Med detta tankesätt kommer framtidens byggnader inte att bli bättre ur energisynpunkt än de vi har idag. Genom analys av aktuellt hus med energiberäkningsprogrammet VIP+ eller liknande kan en mer precis energikostnad användas i kalkylen. För att VIP+ skall utgöra ett alternativ till bland annat Enorm krävs dock en grundlig omarbetning av programmets menyer och redovisningssystem. Idag är de resultat som redovisas många gånger svårtydda samtidigt som en hög kunskapsnivå krävs hos användaren för simulering av olika installationssystem. Det ter sig inte som en alltför djärv gissning att energikostnaden kommer att öka i snabbare takt än övrig kostnadsutveckling. Om denna gissning visar sig vara sann och i kombination med förvaltare och byggherrars synsätt på energieffektiviseringar finns risk att driftkostnaderna kommer att bli mycket höga i framtiden.

Ett hinder som har upptäckts under studien är fjärrvärmeleverantörernas taxesytem med flödesincitament. Detta hinder bör inte vara ett problem vid nybyggnation då fjärrvärmeväxlaren dimensioneras utifrån effektbehovet i byggnaden. Kravet på VVS-projektören kommer däremot att bli större då byggherren även ställer krav på att värmeväxlaren ska dimensioneras så att medelavkylningen blir högre än referensavkylningen samtidigt som den ska räcka till för att ombesörja husets effektbehov. Detta fall visar att det finns konflikter mellan olika intressenters syn på energibesparing. Fjärrvärmeleverantören vill ha en låg temperatur på returvattnet för att öka verkningsgraden i fjärrvärmeverket men det innebär samtidigt att förvaltaren ska ha ett stort energiuttag ur fjärrvärmevattnet vilket ger högre energikostnad. Ett annat hinder är att fjärrvärmeleverantörerna vill sälja så mycket värmeenergi som möjligt – det går emot både värmeåtervinning och energieffektivisering!

8.1 Resultatgeneralisering

Resultaten från denna studie kan vara vägvisande även för andra projekt. Vissa av de studerade åtgärderna kan överföras på befintligt fastighetsbestånd vid renoveringar. Åtgärder som installation av frånluftsvärmepump, säsongsstyrd ventilation och fönsterförbättring kan utan tvekan övervägas då en fastighet är i behov av renovering. Isoleringsökningen däremot lär inte bli lönsam då investeringskostnaden blir för hög i relation till besparingen.

Resultaten kan även användas för byggnader där andra material och konstruktioner använts. Siffrorna kan inte användas rakt av men ger en fingervisning om potentialerna. Det som är viktigt för att slutsatserna ska kunna appliceras på andra projekt är framförallt förvaltarperspektivet. Eftersom både Nibelungen och Rönnen har ett lägre uppvärmningsbehov än riksmedelvärdet på nyproducerade flerbostadshus kan potentialen för lönsamhet av energieffektivisering i övrigt bestånd tänkas vara högre.

För att det ska löna sig med ökade investeringar i produktionsskedet krävs att besparingen i driftsskedet kommer investeraren tillgodo. Då byggherren bygger för försäljning är detta svårare än då fastigheten skall behållas under en längre tid.

Energicertifiering kan hjälpa till att synliggöra en byggnads energiprestanda, som då kan användas som säljargument och motivera ett högre pris.

8.2 Studiens trovärdighet

I en vetenskaplig studie är det alltid viktigt att beakta trovärdigheten på både studien och rapporten. De tre begreppen validitet, reliabilitet, och objektivitet är mått på detta. Validitet innebär hur väl valda undersökningsmetoder verkligen undersökt det som avsetts, reliabilitet tillförlitlighet i mätinstrument och modeller och objektivitet i vilken utsträckning författarens värderingar påverkat resultaten. I denna studie är framförallt reliabiliteten och objektiviteten relevanta.

Reliabiliteten i det använda energiberäkningsprogrammet är en avgörande faktor för en sådan här studie. VIP+ är en programvara som validerats av oberoende granskare och som i jämförelse med ett antal övriga program valts som det bäst lämpade för denna studie. Modellen som konstruerades av fastigheten Nibelungen validerades mot uppmätta driftsdata innan åtgärderna simulerades, varvid endast ett fåtal parametrar behövde justeras för att modellen skulle stämma överens med driftsdata. Programmet kan därför anses ge trovärdiga resultat. Som indata har uppmätta klimatdata respektive syntetiska normalårsdata använts från samma ort som fastigheterna är belägna i. Studerad driftsdata från Nibelungen uppmätts under samma period som klimatdata, varför felkällor som härrör från normalårskorrigerings undvikits.

De ekonomiska utvärderingarna bygger på kapitalvärdemetoden med hänsyn till inflation, kalkylränta och framtida förändringar av energipriser. I känslighetskalkylerna har de två sistnämnda parametrarna varierats för att ge ytterligare validitet till resultaten.

Till de ekonomiska utvärderingarna har investeringskostnader uppskattats på olika sätt. För fönster och värmepumpar har uppgifterna hämtats från leverantörer. I byggbranschen är kostnaderna mycket beroende av konkurrenssituationen och kan därför variera mycket från fall till fall och från tidpunkt till tidpunkt. Leverantörerna som gett kostnadsförslag till denna studie har inte befunnit sig i konkurrenssatta situationer och risken är därför att de uppgifter de lämnar ligger högre än de hade gjort vid ett verkligt anbud.

I köldbryggor som inte är linjära, det vill säga i hörn, runt fönster, i anslutningar mellan tak och vägg och liknande, är värmeflödet alltid tredimensionellt. Genom att beräkna flödet i två dimensioner underskattas effekterna något som uppstår vid köldbryggans ytterkanter och hörn.

De metoder som använts är objektiva i det avseendet att siffrorna inte ger utrymme för egen tolkning på samma sätt som till exempel svar från ostrukturerade intervjuer kan göra. Däremot kan inte förnekas att värderingar och erfarenhet från omgivningen som inte ifrågasatts medverkat i valet av de studerade åtgärderna.

8.3 Fortsatta studier

Av intresse för fortsatta studier är frågeställningar om tillämpningen av LCC-metodiken på byggnader i stor skala. Incitament för byggherrar och entreprenörer bör utformas som synliggör kostnaderna på lång sikt. Hur dessa incitament skall utformas och vem de skall riktas mot för att verka på önskat sätt bör studeras. Ett annat problem är att trots att åtgärder visar sig vara lönsamma på lång sikt är det inte säkert att pengarna finns tillgängliga vid investeringstillfället.

Den största delen av dagens nyproduktion utgörs av bostadsrätter. I sådana byggprojekt avyttras fastigheten efter färdigställande, och byggherren har inte det långsiktiga intresset i uppförd fastighet. Sålunda gäller inte de principer som här studerats, utan för att motivera till energieffektiviseringar krävs andra typer av incitament än låg driftskostnad. Energicertifiering kan möjligen utgöra ett sådant incitament, om byggherren vid försäljning kan motivera ett högre försäljningspris för ett dokumenterat energieffektivt hus.

9 Referenser

9.1 Tryckta källor

AB Svensk Byggtjänst (1998): *Hus-AMA. Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten*. Liber tryck, Stockholm. ISBN 91-7332-164-8.

AB Svensk Byggtjäns (1999): *Enorm 1000 Manual*.

Anderlind, Gunnar och Stadler, Claes-Göran (ed.) (2004): *Isolerguiden – en vägledning till Boverkets byggregler om energihushållning och värmeisolering*. Utg. Swedisol. Åbergs tryckeri, Tomelilla. ISBN 91-973761-6-7.

Bergsten, Bengt (2001): *Energiberäkningsprogram för byggnader - en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. Effektiv-rapport 2001:03. ISBN 91-7848-851-6.

Boverket (2002): *Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar t o m 2002:19*. Elanders Gotab, Vällingby. Upplaga 4:1. ISBN 91-7147-718-7.

Boverket (1999): *Byggsektorns miljömål*. Just nu, Karlskrona. ISBN: 91-7147-572-9. Publ. på: <http://www.boverket.se/novo/filelib/arkiv03/sekmal03.pdf>, 2004-08-26.

Jensen, Lars (2002): *Värmebehovsberäkning, Installationsteknik FK*. Kursmaterial. Lund

Larsson, Robert och Nilsson, Annika (2003): "Energiberäkningsprogram för byggnader". *Cementa* nr 3:2003. s 8-9.

Modig, Sonny (2003): *PM ang Utvecklingsstöd från Boverkets Byggekostnadsforum*.

Nilsson, Annika (2003): *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*. Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund. Rapport TVBH-3045. ISBN 91-88722-30-9.

Nilsson, Jimmy och Ohlsson, Håkan (2003): *Jämförelse mellan fiktiva och verkliga klimatdata*. Avdelningen för byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Nässén, Jonas och Holmberg, John (2003): "Energy efficiency – a forgotten goal in the Swedish building sector?" *Energy Policy* (in press).

Persson, Ingvar och Nilson, Sven-Åke (2001): *Investeringsbedömning*. AB Boktryck, Helsingborg. ISBN 91-47-04393-8.

Regeringen (2001): *Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier*. Regeringens Proposition 2000/01:130.

Repab AB (2000): *Årskostnader Bostäder – nyckeltal för kostnader och förbrukningar*. Mölndal. Repab fakta. ISBN 91-88666-44-1.

Sandin, Kenneth (1996): *Värme och fukt. Kompendium i byggnadsfysik*. Lund.

Schultz, Linda (2003): *Energicertifiering – EU-direktiv om byggnaders energiprestanda*. Effektiv-rapport 2003:02. ISBN 91-7848-937-7.

Schulz, Linda (2003): *Normalårskorrigerering av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder*. Effektiv-rapport 2003:01 ISBN 91-7848-932-6.

Näringsdepartementet, betänkande från Byggekostnadsdelegationen (2000): *SOU 2000:44. Från byggsekt till byggsektor*.

Statens energimyndighet (2003): *Energiläget 2003*. Multitryck i Eskilstuna AB, Eskilstuna. ET 20:2003.

Statens energimyndighet (2003): *Energiläget i siffror 2003*. Multitryck i Eskilstuna AB, Eskilstuna. ET 21:2003.

Statistiska Centralbyrån (2003): *Energistatistik för flerbostadshus. EN16 SM 0303*. Sveriges officiella statistik - Statistiska meddelanden, Serie EN. ISSN 1404-5869.

Structural Design Software (2003): *VIP+*. Manual till VIP+.

Tenggren, Peter (2003): *Ekonomisk besparing vid fördelningsmätning*. Examensarbete. Avdelningen för byggnadsekonomi, Lunds Tekniska Högskola.

Thermopanel AB (2001): *Värmeavgivningstabell*, Helsingborg

Warfvinge, Catarina (2001): *Installationsteknik AK för V*. Kursmaterial, Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Wikells Byggberäkningar AB (2001): *Sektionsfakta VVS 01/02, Teknisk-Ekonomisk sammanställning av VVS-anläggningar*. Elanders Svenskt tryck, Surte.

Wikells Byggberäkningar AB (2000): *Sektionsfakta NYB 00/01, Teknisk-Ekonomisk sammanställning av byggdelar*. Elanders Svenskt tryck, Surte.

Öberg, Mats (2003): *Kapellmästaren 4 - Livscykelberäkningar*. Internrapport inom HELHETs-projektet. Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

9.2 Elektroniska källor

EKAN-Gruppen i Jönköping (2003): *Avgiftsrapport 2003*. Avgiftsundersökningen Nils Holgersson, www.nilsholgersson.nu, 2004-08-25.

Modig, Sonny (2003): BKF-Konferens 21-22 oktober 2003: *Det går att bygga hyresrätter som hushåll med vanliga inkomster har råd med – även i Sveriges tillväxtregioner*. publ. på <http://www.boverket.se/novo/filelib/arkiv09/bkfsthlm/s.modig.pdf>, 2004-03-30.

Modig, Sonny, (2004): *Boverkets Byggkostnadsforum* <http://www.boverket.se>, 2004-07-28.

Prolog bygglogistik AB (2004): *Arbetsmodeller* <http://www.HELHETs-projektet.se/arbetsmod.html#helhetsmod>, 2004-07-28.

Svensk Areamätning: <http://www.svenskarea.com/valdadelar.html>, 2004-08-23.

Statistiska Centralbyrån (2004): *Byggnadsprisindex*. http://www.scb.se/templates/tableOrChart_26943.asp, 2004-07-28.

Statistiska Centralbyrån (2004): *Intäkt- och kostnadsundersökning i flerbostadshus*. http://www.scb.se/templates/tableOrChart_29333.asp, 2004-08-03.

9.3 Muntliga källor

Bengtsson, Nicklas, Ulricehamns Betong AB. Telefonkontakt, 2004-08-09.

Berglund, Henrik, Qvantum Energi AB. Telefonkontakt, juli 2004.

Björk, Robert, HSB Sundsfastigheter. Fastighetsskötare Nibelungen. Personlig kommunikation, 2004-05-05.

Eriksson, Ingeman, HSB Sundsfastigheter. Personlig kommunikation.

Frisk, Mia, Sydkraft Försäljning AB. Telefonkontakt, 2004-05-03.

Gustafsson, Gerhard, Kvillsfors fönster. Telefonkontakt, 2004-05-06.

Johansson, Marcus, HSB Sundsfastigheter. Telefonkontakt och personlig kommunikation.

9. Referenser

Nilsson, Mats, Quantum Energi AB. Telefonkontakt, juli 2004.

Palmkvist, Bengt-Olof, Laholms Glas och Aluminium. Telefonkontakt, 2004-07-13.

Persson, Kjell, Helsingborgshem AB. Telefonkontakt 2004-05-10.

Warfvinge, Catarina, Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation, april 2004.

Widehov, Fredrik, NewSec AB. Personlig kommunikation, 2004-05-24.

Wigdén, Ingemar, HSB Sundsfastigheter. Personlig kommunikation, 2004-04-20.

Bilaga A

Tabell A.1 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för isoleringsökning i Nibelungen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

Real kalkylränta [%]					
2	97 205	198 132	343 034	554 451	867 322
3	26 230	97 205	196 969	339 677	547 066
4	-24 377	26 808	97 205	195 833	336 407
5	-61 382	-23 541	27 376	97 205	194 723
6	-89 109	-60 453	-22 716	27 936	97 205
	2	3	4	5	6
Nominell prisutveckling [%]					

Tabell A.2 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för fönsterförbättring i Nibelungen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

Real kalkylränta [%]					
2	263 876	375 032	534 622	767 466	1 112 049
3	193 830	271 998	381 875	539 046	767 456
4	144 046	200 419	277 951	386 576	541 398
5	107 666	149 343	205 421	282 327	389 729
6	80 355	111 916	153 477	209 263	285 553
	2	3	4	5	6
Nominell prisutveckling [%]					

Tabell A.3 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för frånluftsvärmepump i Nibelungen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

Real kalkylränta [%]					
2	673 896	1 010 631	1 494 089	2 199 467	3 243 343
3	502 670	739 473	1 072 330	1 548 464	2 240 406
4	381 096	551 871	786 747	1 115 814	1 584 831
5	292 406	418 661	588 543	821 523	1 146 884
6	225 983	321 592	447 497	616 494	847 607
	2	3	4	5	6
Nominell prisutveckling [%]					

Tabell A.4 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för utökad isolering, låg nivå, i Rönnen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

Real kalkylränta [%]					
2	118 068	179 569	267 869	396 699	587 354
3	74 818	118 068	178 861	265 823	392 199
4	43 979	75 170	118 068	178 169	263 830
5	21 429	44 489	75 516	118 068	177 492
6	4 534	21 996	44 991	75 857	118 068
	2	3	4	5	6
Nominell prisutveckling [%]					

Tabell A.5 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för utökad isolering, hög nivå, i Rönnen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

Real kalkylränta [%]					
6	449 943	646 538	928 793	1 340 609	1 950 050
5	311 692	449 943	644 274	922 252	1 326 225
4	213 114	312 817	449 943	642 061	915 884
3	141 032	214 743	313 924	449 943	639 897
2	87 024	142 843	216 349	315 014	449 943
	2	3	4	5	6
Nominell prisutveckling [%]					

Tabell A.6 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för byte av lägenhetsfönster i Rönnen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

Real kalkylränta [%]					
2	73 494	108 525	158 819	232 199	340 794
3	53 200	77 835	112 462	161 994	233 977
4	38 817	56 582	81 017	115 249	164 041
5	28 311	41 445	59 118	83 355	117 203
6	20 412	30 358	43 456	61 037	85 079
	2	3	4	5	6
Nominell prisutveckling [%]					

Tabell A.7 Känslighetskalkyl över kapitalvärdet för frånluftsvärmepump i Rönnen. Inflationen har vid beräkningen satts till 2%.

Real kalkylränta [%]					
2	117 179	258 540	461 494	757 610	1 195 826
3	63 749	163 158	302 891	502 771	793 246
4	25 896	97 587	196 188	334 329	531 221
5	-1 685	51 317	122 633	220 437	357 023
6	-22 336	17 801	70 655	141 599	238 620
	2	3	4	5	6
Nominell prisutveckling [%]					