



**KTH Industrial Engineering
and Management**

Effsys2 – Projekt 25

Utvärdering av värmepumpar som attraktivt del i åtgärder i 50-, 60-, 70-tals inklusive även miljonprogrammet sett ur ett tekno-ekonomiskt perspektiv

Joachim Claesson, Tekn. Dr.

Karina Antin, Civ.Ing.

Jaime Arias, Tekn. Dr.

Jörgen Wallin, Civ.Ing.

Sammanfattning

Det svenska bostadsbeståndet som byggdes under 60-talet fram till sent 70-tal (Miljonprogrammet) är i stort behov av renovering. Det är i samband med detta intressant att studera vilka åtgärder som kan komma ifråga, och framför allt kan värmepumpar vara intressanta ur ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv.

Projektet syftar till att studera typiska byggnader under perioden 50-tal till miljonprogrammet, simulera dessa i lämpligt simuleringsprogram och i simuleringarna implementera alternativa systemlösningar, samt att studera alternativens utfall dels tekniskt, dels ekonomiskt. Baserat på simuleringsresultaten erhålls indikation på värmepumpars utfall i för perioden typiska byggnader.

Värmepumpar är uppenbart en viktig del att minska användningen av köpt energi i byggnader. Som för alla åtgärdsförslag bör alla tänkbara åtgärder identifieras och utvärderas. Simuleringarna tyder på att fönsterbyten och tilläggsisolering inte kan stå sig mot att installera frånluftsvärmepump ur ett tekno-ekonomiskt perspektiv.

I första hand skall enkla åtgärder beaktas som använder befintliga installationer, vilket innebär att kostanden ofta inskränker sig konsulttid med begränsad omfattning. Dessa är oftast mest lönsamma, vilket illustreras av att injustering av ventilationsluft i enlighet med Boverkets minsta flöden enbart behöver spara in något mer än 3 000 kWh/år, jämfört med andra lösningar som kräver 20 gånger mer besparing för samma lönsamhet. Värmepumpar ger möjlighet att använda återvinning i de byggnader som inte har mekanisk till-luft. Installation av bergvärme ger avsevärd besparing, vilket kan illustreras av bygganden på Gamla Huddingevägen, där köpt energi är i paritet med nybyggnadskraven enligt Boverket.

Exemplen illustrerade i rapporten indikerar att betydande energibesparingar kan göras med installation av värmepumpar. Det finns också utrymme för kreativa lösningar, med avseende på framförallt val av värmesänkan.

Summary

The buildings that were built during the 60ies and 70ies are in great need of refurbishment. It is therefore interesting to investigate the impact of different measures, special interest in the present study is the use of heat pumps in these buildings.

The project aims at studying typical building of the period from 1950 up to late 1970, simulate their energy use in appropriate simulation tool, and then implement different measures and study its impact on the energy use of the building.

Heat pumps has been identified as one key player in reducing the energy use in existing buildings. However, one should always investigate several options in order to identify the most promising. The simulations suggests that changing windows and adding extra insulation is able to compete with exhaust heat pumps.

However, as first measure one should always look at the simple and cheap measures, which uses the existing equipment. These are often very competitive from an economically point of view. This is illustrated by adjusting the ventilation flow rate down to the minimum allowable according to Swedish regulation does only have to save typically 3 000 kWh/år, compared to the others measures investigating, needing 20 times that saving for the same economical return.

Heat pumps gives the possibility for heat recovery in building not having mechanical supply air systems. Also a ground source heat pump offers a lot of savings of energy, as illustrated by the building at Gamla Huddingevägen. The amount of energy used there is in level with the new building regulations.

The examples highlighted in the report seems to suggest a significant energy saving is possible with heat pumps. There is also room for creative innovative and novel system solutions, mainly in respect to the choice of heat source for the heat pump.

Deltagande parter:

I projektet har följande företag deltagit:

VVS Företagen	Rolf Kling
KTH-Energiteknik	Joachim Claesson
KTH-Energiteknik	Karina Antin
KTH-Energiteknik	Jaime Arias
KTH-Energiteknik	Jörgen Wallin

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Introduktion	6
Simuleringsverktyg	8
Byggnaderna	9
Havsörnsvägen 6	9
Gränsholmsbacken 8-12	10
Gamla Huddingevägen 443-445	14
Lollandsgatan 5	16
Trondheimsgatan 6, Husby	17
Basfall	20
Havsörnsvägen 6	21
Gränsholmsbacken 8-12	23
Åtgärdsförslag	30
Havsörnsvägen 6	30
Gränsholmsbacken 8-12	31
Gamla Huddingevägen 443-445	32
Ekonomiskt utfall	34
Havsörnsvägen 6	34
Gränsholmsbacken 8-12	35
Gamla Huddingevägen 443-445	36
Diskussion	37
Slutsatser	39
Referenser	40

Introduktion

Det svenska bostadsbeståndet som byggdes under 60-talet fram till sent 70-tal (Miljonprogrammet) är i stort behov av renovering. Det är i samband med detta intressant att studera vilka åtgärder som kan komma ifråga, och framför allt kan värmepumpar vara intressanta ur ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv.

Projektet syftar till att studera typiska byggnader under perioden 50-tal till miljonprogrammet, simulera dessa i lämpligt simuleringsprogram och i simuleringarna implementera alternativa systemlösningar, samt att studera alternativens utfall dels tekniskt, dels ekonomiskt. Baserat på simuleringsresultaten erhålls indikation på värmepumpars utfall i för perioden typiska byggnader.

Miljonprogrammet är i stort behov av renovering. Det är både i form av åtgärder på byggnadsskalet och energitekniska. Vissa åtgärder är ofrånkomliga medan andra kan tillföra omfattande energibesparingar. Miljonprogrammet motsvarar mer än 20 % av Sveriges bostadsbestånd idag. Energiprestanda för dessa är ofta riktigt dåliga. Det är därför viktigt att ta chansen och genomföra åtgärder som inte bara är direkt nödvändiga för att byggnaderna skall kunna fortsätta att användas, utan även åtgärder som är energibesparande.

Vid renovering byggnader finns ofta flera alternativ att tillgå, ofta sorterade som antingen byggnadstekniskt, installationstekniskt, eller som reglertekniskt. Dessutom används ofta en mix av åtgärder, där åtgärders energiprestanda kan påverka andra åtgärders energiprestanda. Frågan inställer sig då vilket mix av åtgärder som är den mest attraktiva, och ur vilket perspektiv? Byggnadstekniska åtgärder som t.ex. tilläggsisolering minskar transmissionsförlusterna i byggnader, men inte ventilationsförluster. Det finns dock en gräns hur mycket tilläggsisolering som är ekonomiskt försvarbart.

Värmepumpar kan i många fall vara intressant som del av åtgärdspaketet i byggnader. Miljonprogrammet består av ett antal typbyggnader, och frågan är hur attraktivt är värmepumpar i dessa byggnadstyper? För t.ex. punkthus kan en frånluftsvärmepump vara ett väldigt attraktivt alternativ, då dessa ofta har en gemensam avluftkanal på vinden, men ingen centralt till-luftsystem, vilket gör att traditionella ventilationsåtervinningssystem inte är tekniskt möjliga att implementera.

EPDB (Energy Performance of Buildings Directive, EU) ställer också krav på omfattningen av åtgärder samt hur energieffektiva dessa skall vara. Det är därför viktigt att beakta dessa riktlinjer då åtgärder i byggnader undersöks.

När nu också energideklarationer av byggnader har slagit igenom och många byggnader är energideklarerade finns ökade möjligheter att använda byggnader för utvärdering av dessa energiprestanda utan att själv behöva göra en energikartläggning. Självklart varierar kvaliteten på energideklarationerna och det är inte självklart att dessa stämmer i alla detaljer.

Miljonprogrammet med dess omfattande del av bostäder i Sverige står för en omfattande del av bostadssektorns energianvändning. Studier kring energianvändning i detta bestånd finns sedan tidigare, av flera forskare. Kort sagt är det lämpligt att åtgärda delar av byggnaden som ger mest tillbaka. För att åstadkomma detta behöver byggnadernas energianvändning fördelas så att förlusternas art kan identifieras. Olika byggnadstyper har olika förlustkaraktäristik, t.ex. kan

lamellhus förväntas ha relativt större andel förluster via byggnadsskalet och mindre ventilationsförluster än punkthus. Dessutom har lamellhus troligen flera mindre ventilationssystem som gör återvinning något mer komplicerad än i punkthus som färre ventilationssystem. Vidare har punkthus då mindre andel mantelarea vilket gör att per boendeyta mindre transmissionsförluster kan förväntas än motsvarande lamellhus. Om inte karaktäristiken hos respektive byggnadstyp beaktas kommer inte heller förslagen som ges att vara relevanta.

Det finns uppgifter om att energianvändningen i miljonprogrammet är i storleksordningen 150 - 250 kWh/m². Nybyggnadsnormen för byggnader som är inte är uppvärmda av elektricitet ligger 110 - 130 kWh/m², beroende på var byggnaden är lokaliserad. Preliminära studier pekar på att genom en väl avvägd mix av åtgärder med värmepump kan energianvändningen i miljonprogrammet minskas till under nybyggnadsnormen.

Simuleringsverktyg

Det finns ett antal verktyg att använda för att simulera energianvändningen i byggnader, alla har för och nackdelar. Det går även att skapa egna beräkningsalgoritmer då specifika behov föreligger, såsom det gjordes inom effsys1 för värmepumpar och även livsmedelsbutiker. På institutionen för Energiteknik på KTH har vi arbetet med flera av programmen:

- IDA ICE (Equa, 2010)
- TRNBUILD (TRNSYS 16, 2006)
- DesignBuilder (DesignBuilder Software Ltd, 2010)
- IES VE (Integrated Environment Solutions, 2010)
- Prestige (Forsén, 2004)
- CyberMart (Arias, 2004)

Dom tre första programmen är dynamiska program som hanterar transienta förlopp i byggnaderna och kan beräkna energianvändningen utifrån byggnadens struktur och materialval. Dessa tar således hänsyn till inte bara utetemperatur, utan även solstrålning, fuktighet, inre laster, ventilationssystem och så vidare.

IDA ICE är ett svenskt program. Det finns tre användarnivåer. Normal används mellannivån, vilket är den som används i detta projekt. Det finns en enkel nivå, IDA Room, som egentligen inte beräknar energianvändningen, utan dimensionerande behov för värme och kyla, på en "skokartongs"-formad byggnad. Vår erfarenhet med IDA ICE är att det är relativt hög starttröskel, vilket flertalet studenter anser efter kursutvärderingar.

Därför har DesignBuilder (DesignBuilder Software Ltd, 2010) används i begränsad omfattning för att se om det är enklare att använda för studenter. DesignBuilder har en mycket lägre starttröskel, med ett gränssnitt som är bekant då det liknar Google SketchUp. DesignBuilder är egentligen bara ett skal och beräkningsmotorn i programmet är EnergyPlus (Dept. of Energy, 2010). Det finns även ett gratis GUI till EnergyPlus, men detta är inte helt enkelt att använda. Detta använder faktiskt Google SketchUp som motor. DesignBuilder är enkelt att använda, men jag upplever ändå att det är förvirrande med alla flikar som finns, och jag är inte helt säker på vilka inställningar som används vid simuleringen. IDA ICE känns faktiskt mer "logiskt" och "överskådligt".

IES Virtual Environment (Integrated Environment Solutions, 2010) har också används tillsammans med studenter. Jag har ingen personlig erfarenhet med IES, men det som jag sett är imponerande. Framför allt verkar beräkningshastigheten vara i en klass för sig jämfört med IDA ICE och DesignBuilder. Dock har IES en otrolig knölig licenshantering.

I detta projekt används IDA ICE (av J. Claesson) och IES (av J. Arias och K. Antini). Anledningen till att två olika program används är att respektive användare har erfarenhet av programmen. Hade även jag haft erfarenhet av IES hade detta används uteslutande i projektet.

Byggnaderna

I projektet har ett antal byggnader valts ut som studieobjekt. Dessa är tänkta att representera byggnadsbeståndet som är av intresse. Självklart kan inte ett fåtal objekt anses vara helt representativt för ett större bestånd utan objekten får ses som exempel på lösningar som till viss del kan implementeras på andra liknande byggnader.

Fem byggnader har valts ut och dessa har besiktigats på plats. Energideklarationer har inhämtats på tre av dessa och de andra två har inte inkommit än. Byggnaderna är:

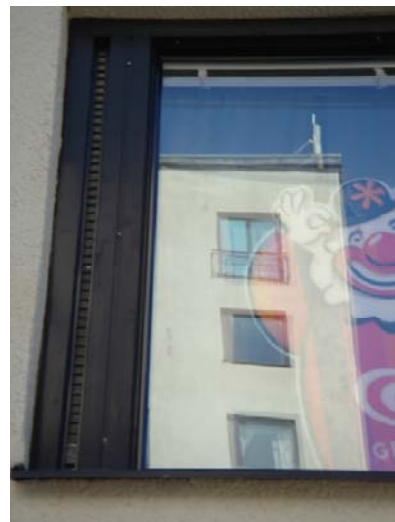
1. Havsörnsvägen 6, Fagersjö, Farsta
2. Gränsholmsbacken 8 – 12, Vårberg
3. Gamla Huddingevägen 443 – 445, Örby, Huddinge
4. Lollandsgatan 5, Kista
5. Trondheimsgata 6, Husby

Ingen av dessa byggnader har självdrag. Faktum så lyckades vi inte i projektet få fram en byggnad med självdrag. Därmed har inte denna typ av ventilationslösning studerats vidare, även om återvinningssystem för dessa byggnader är önskvärt.

Havsörnsvägen 6



Figur 1: Havsörnsvägen 6



Figur 2: Luftintag i fönster.

Havsörnsvägen är ett 10 våningar högt punkthus (Figur 1), beläget i Fagersjö. Energideklarationen anger att byggnadens A_{temp} är 3 445 m². Byggnaden har garage i markplan, samt källare med tvättstuga, UC och förråd. Lägenheterna längst upp är två våningar, annars är alla plan likadana. Det finns totalt 34 lägenheter i byggnaden. Utöver mätning av energitillförseln via fjärrvärme mäts även tappvarmvattenanvändningen. Byggnaden har en frånluftsfläkt, vilket vi tyvärr inte kunde komma åt för inspektion. Det ska även finnas en avstängd till-luftsfläkt som vi inte lyckades lokalisera. Denna fläkt har försett trapphus med luft. Det såg ut som om det gamla fläktrummet var cykelförråd. Till-luften till byggnaden kommer in genom fönstren (Figur 2). I området fanns flera snarlika byggnader, som även hittats i energideklarationsdatabasen, samt att aktuell byggnad deklarerats ytterligare en gång. Energianvändningen i byggnaden är relativt säker, och byggnadernas energiprestanda enligt energideklarationerna presenteras i

Tabell 1: Energiprestanda för grupper av liknande byggnader.

	Energi	varav el	
Byggnad 1	143	9	kWh/m ²
Byggnad 2	136	5	kWh/m ²
Byggnad 3	145	9	kWh/m ²
Byggnad 4	142	6	kWh/m ²
Byggnad 5	134	6	kWh/m ²
Medel	142	7	kWh/m ²
stddev	5	2	kWh/m ²
std/N ^{0.5}	2	1	kWh/m ²
student t	2.776	2.776	-
osäkerhet	6	2	kWh/m ²
osäkerhet	4	33	%
inkl. hushållsel	175	kWh/m ²	

Ventilationsflödet i byggnaden är uppmätt (2006) i större delen av byggnaden, se Tabell 2.

Tabell 2: OVK samt uppskattat ventilationsflöde.

Total, Mätt	1104	Lgh mätta	31
Uppskattat saknade lgh	96	Lgh ej mätta	3
Totalt frånluftsflöde	1200	l/s	

Gränsholmsbacken 8-12

Byggnaden är ett lamellhus, byggt sent 60-tal (67-68). Byggnaderna är delvis skyddade arkitektoniskt, då arkitekten (en australiensare) endast byggt två områden i Stockholm (Läth, 2010). Byggnaden är speciell i den meningen att det är indraget liv, dvs. källare är smalare än våningsplanen vilket innebär att entréplanet delvis hänger i luften.



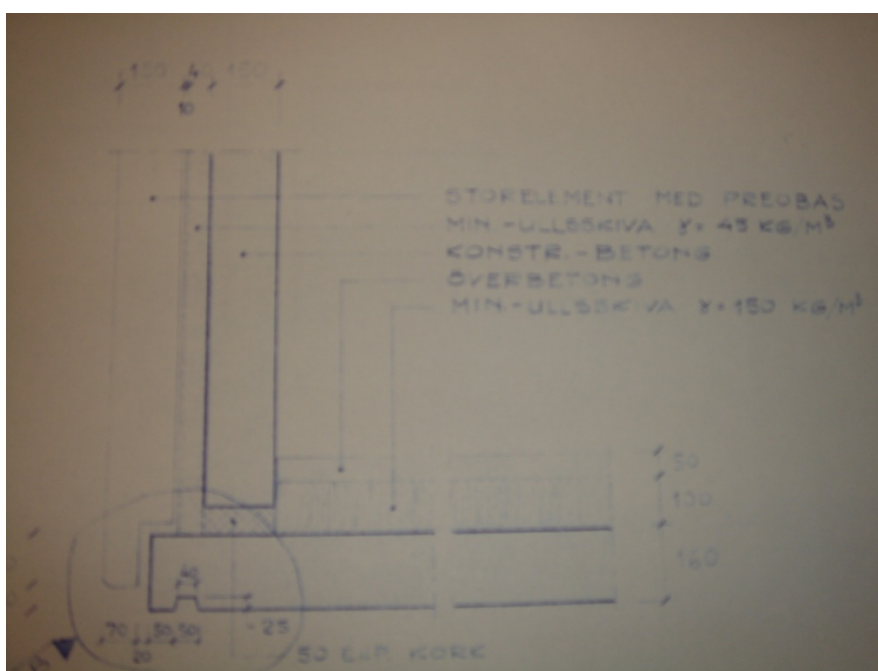
Figur 3: Entrén, notera indraget liv vid trappan.

Det är tre våningsplan och tre trapphus, plus källaren. A_{temp} enligt energideklarationen är 2045 m². Byggnaden har inte egen UC för fjärrvärme utan förses från central UC som betjänar hela bostadsrättsföreningens byggnader (12 snarlika byggnader). Kulverten mellan husen är original, dvs. från

sent 60-tal (Läth, 2010). Delar av byggnadens fönster är utbytta under 80-talet, tre glas men inte isolerglas, med aluminiumram. Till-luften till byggnaden sker via entrédörrar samt springor i aluminiumramen på fönstren. Fönster på balkong är dock inte bytta, utan är kopplade 2-glasfönster med träram från sent 60-tal (Läth, 2010). Byggnaden är relativt väl isolerad, se Tabell 3.

Tabell 3: Vegg och golvkonstruktion enligt K-ritning.

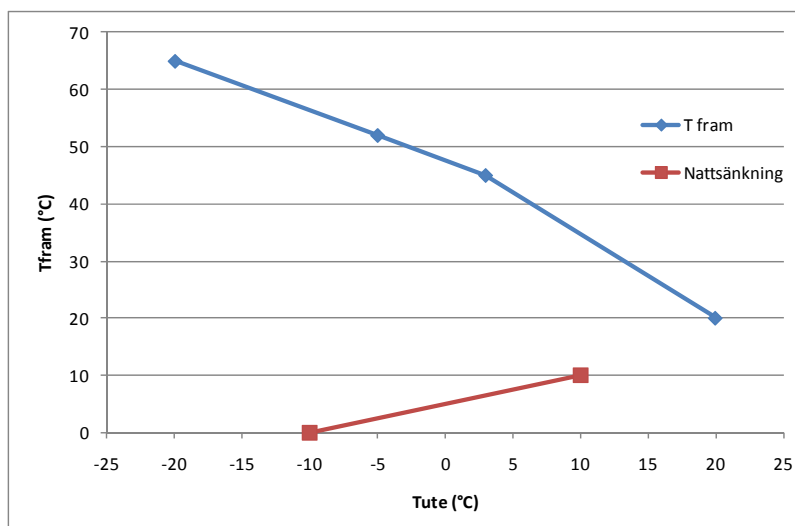
	mm	W/mK		
Golv	δ	λ	R	U
Överbetong	50	0.47	0.106	
Mineralullskiva, 150 kg/m ³	100	0.037	2.703	
Konstruktionsbetong	160	1.7	0.094	
		Summa	2.903	0.344
Vägg	δ	λ	R	U
Konstruktionsbetong	150	1.7	0.088	
Mineralullskiva, 45 kg/m ³	40	0.036	1.111	
Luft	10	0.024	0.411	
Storelemen, PreoBas	150	0.15	1.000	
			2.611	0.383



Figur 4: K-ritning för klimatskärm.

Eftersom det är en gemensam UC är rapporterad energianvändning fördelad enligt schablon, baserat på respektive byggnads A_{temp} (Läth, 2010).

Ventilationen är uppmätt i februari 2010 (Läth, 2010). Då det är tre fläktar, en för varje trapphus, är ventilationsflödet uppskattat till 300 l/s per fläkt, totalt 900 l/s, se Tabell 4. Radiatorkurvan är enligt driftkort från 2008 enligt Figur 5. Dagdrift av VS-system är må-fre mellan 06-22.

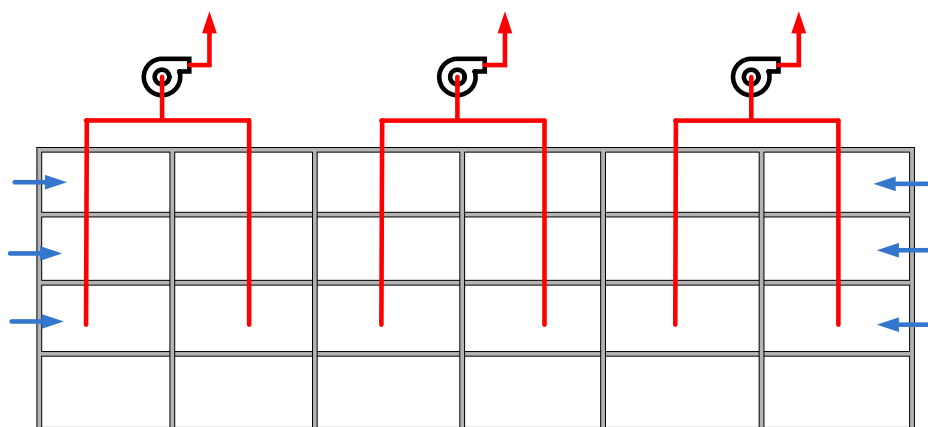


Figur 5: Radiatorkurva med nattsänkning.

Tabell 4: Flöden enligt OVK.

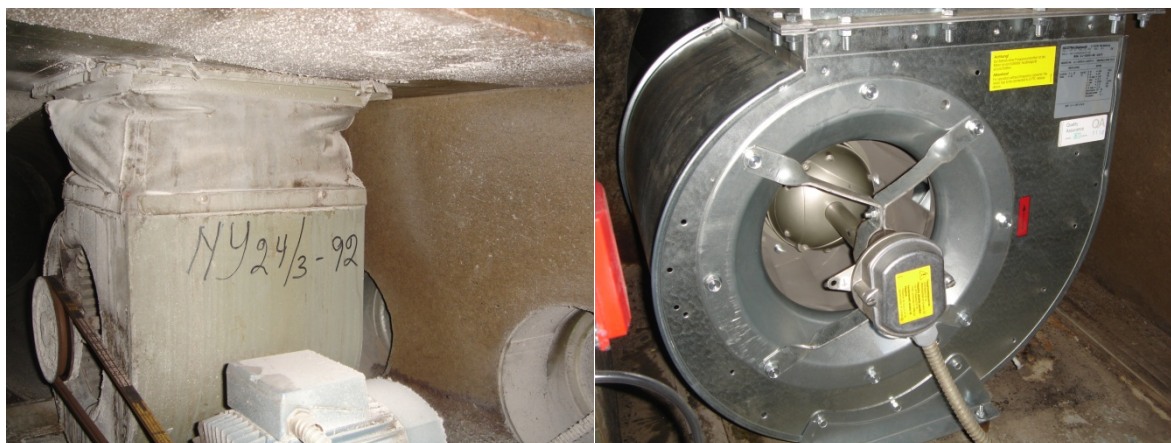
Lgh	Kök	Bad	WC	Dusch	Totalt
175	18	15			
176	14	16	8		
177	15	13			
178	18	7	9	19	
179	22	10			
180	15	12			
181	17	9			
182	14	12	10		
183	16	9		10	
184	12	10	11		
185	14	15		10	
186	16	11	9		
187	12	14	12		
188	14	13			
189	11	10	5	10	
190	19	11			
191	21	14	8	18	
192	14	15			
Medel	15.7	12.0	9.0	13.4	
Antal	18	18	8	5	
STDAV	3.03	2.54	2.14	4.67	
Osäkerhet	0.71	0.60	0.76	2.09	
Totalt	282	216	162	241.2	901.2
Per fläkt					300.4

Frånluftssystemet består av tre separata fläktar som sitter på tak ovanpå trapphuset och servar de lägenheter i respektive trapphus, se Figur 6.



Figur 6: F-system, en fläkt per trapphus.

Alla fläktarna på alla tolv byggnader är från sent 60-tal, medans motorn är utbytt 1992. En fläkt är utbytt nyligen som utvärdering. Fläkten är varvtalsstyrd från en utetemperaturkompenserad tryckreglering. Föreningen avser att installera detta på alla fläktar på fastigheten.



Figur 7: Gammal och ny fläkt (text "ny" avser motorn).

Energianvändningen är enligt energideklarationen 146 kWh/m², se även Figur 8. Notera att denna siffra innehåller kulvertförluster. Kulverten är från sent 60-tal och energiförlusterna för typiska kulvert kan uppskattas till 700 kWh/m·år (ATON Teknikkonsult AB, 2007) vilket motsvarar i detta fall ca 25 kWh/m²·år.

Energiprestanda, kWh/m ² , år	146
....varav el, kWh/m ² , år	10
Fjärrvärme, kWh/m ² , år	136
Fastighetsel, kWh/m ² , år	10
Verksamhetsel, kWh/m ² , år	2
Hushållsel, kWh/m ² , år	0

Figur 8: Energianvändning enligt Energideklaration

Gamla Huddingevägen 443-445

Byggnaden är belägen i Örby, har tre våningsplan och en källare, totalt 1 602 m² enligt energideklarationen och det finns 15 lägenheter. Det finns två trapphus, plus ingång i till källaren på baksidan. Belysningen är närvarostyr i källaren, samt även tidsstyrd i trapphus. Huset är byggt 1966. Det finns inga synliga till-luftsdon, inte heller kring fönstren där enligt uppgift till-luften skall tas. Fönstren är kopplade 2-glasfönster, som antagligen är från byggåret.



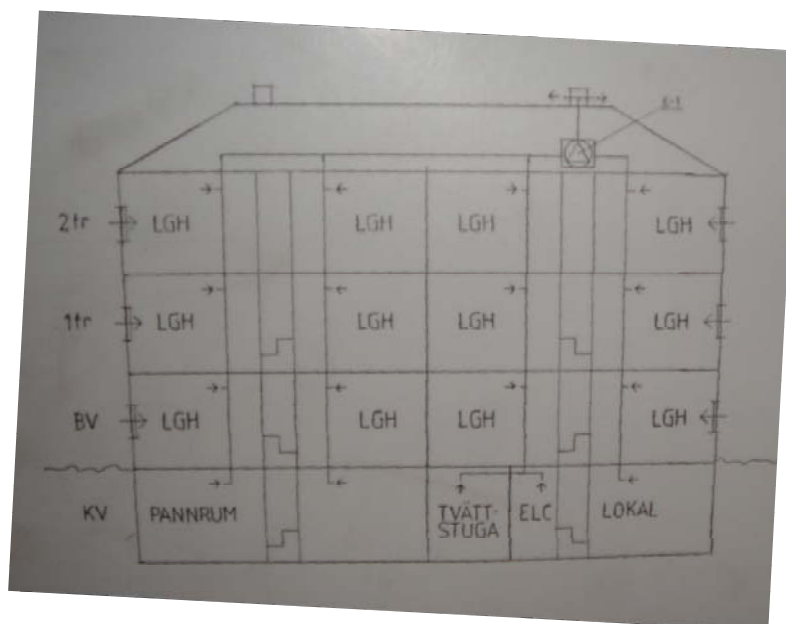
Figur 9: Fasadvy Gamla Huddingevägen 443 – 445.



Figur 10: Uppskattning av isoleringstjocklek.

Fasaden har såvitt vi kan bedöma inte åtgärdats sedan byggnaden uppfördes, däremot har den gamla oljepannan bytts mot en IVT GreenLine G35. Utöver detta har vinden tilläggsisolerats, med cirka 300-350 mm cellulosaisolering, ovanpå minerallullsplattan. Ingen uppskattning av väggarnas eller golvens isolerförmåga.

Ventilationen sker via ett frånluftssystem med tilluft genom fönster. En fläkt används för hela byggnaden,



Figur 11: Ventilationsutformning.

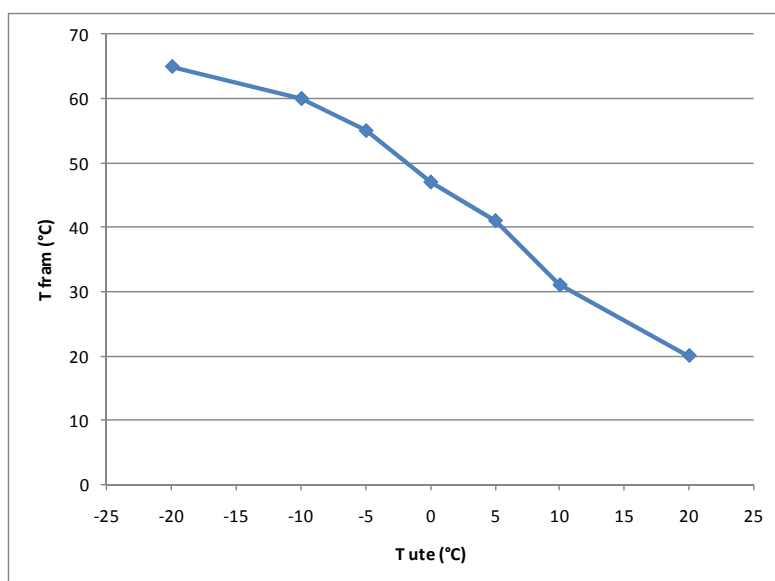
OVK genomfördes december 2008 med mätningar i alla lägenheter, se Tabell 5. Ventilationsflödet är således $0.37 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ räknat med A_{temp} . Källaren står ungefär för ca 25% av A_{temp} , vilket tyder på viss överventilation. Å andra sidan anger OVK kontrollanten att börvärdet på ventilationen är 805 l/s , vilket motsvarar $0.50 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$. Detta är mer än Boverkets riktlinjer kring ventilationen i bostäder. Enligt ordförande i föreningen står dock ventilationen still från 22⁰⁰ till 06⁰⁰ p.g.a. oljud i lägenheterna under fläkten (Sporell, 2010).

Tabell 5: OVK-protokoll.

	Kök grund	Kök forc	Bad	WC	Kläd	Totalt
lgh 01	12.2 l/s	29.2 l/s	15.6 l/s	8.3 l/s		36.1 l/s
lgh 02	15.3 l/s	26.4 l/s	15.0 l/s	8.3 l/s		38.6 l/s
lgh 03	14.2 l/s	29.7 l/s	16.7 l/s	8.6 l/s		39.4 l/s
lgh 04	13.9 l/s		19.4 l/s	8.3 l/s		41.7 l/s
lgh 05	11.1 l/s	26.4 l/s	16.7 l/s			27.8 l/s
lgh 06	15.3 l/s	18.1 l/s	25.0 l/s			40.3 l/s
lgh 07	15.0 l/s	41.7 l/s	18.1 l/s	6.9 l/s		40.0 l/s
lgh 08	12.8 l/s	37.5 l/s	13.3 l/s	27.8 l/s	6.4 l/s	60.3 l/s
lgh 09	20.8 l/s		16.7 l/s		6.9 l/s	44.4 l/s
lgh 10	15.3 l/s	38.9 l/s	18.1 l/s	6.9 l/s		40.3 l/s
lgh 11	13.9 l/s	30.6 l/s	16.4 l/s	11.1 l/s	6.9 l/s	48.3 l/s
lgh 12	9.7 l/s	27.2 l/s	16.7 l/s		6.9 l/s	33.3 l/s
lgh 13			25.0 l/s			25.0 l/s
lgh 14	12.5 l/s	44.4 l/s	15.8 l/s		5.6 l/s	33.9 l/s
lgh 15	13.9 l/s		16.7 l/s			30.6 l/s
WC, källare				6.9 l/s		6.9 l/s
						586.9 l/s

Enligt energideklarationen använder byggnaden $57 \text{ kWh/(m}^2\cdot\text{år)}$, varav allt är el. Antas en årsvärme-faktor runt 3 innebär detta att byggnaden använder i runda slängar $150 \text{ kWh/(m}^2\cdot\text{år)}$. Det finns ingen

mätning på värmepumpens prestanda. Radiatorkurvan på värmepumpen är inställd enligt Figur 12. Prestanda enligt leverantör enligt Tabell 6.



Figur 12: Framledningstemperatur, Gamla Huddingevägen.

Tabell 6: IVT Greenline G35 (IVT Industrier AB, 2006).

Modell		G35
Avgiven värmeeffekt 0/35°C ¹⁾	kW	36,2
Tillförd elförbrukning 0/35°C ¹⁾	kW	8,4
Avgiven värmeeffekt 0/50°C ¹⁾	kW	36,5
Tillförd elförbrukning 0/50°C ¹⁾	kW	11,0
Avgiven värmeeffekt 0/60°C ¹⁾	kW	37,1
Tillförd elförbrukning 0/60°C ¹⁾	kW	13,2

Lollandsgatan 5

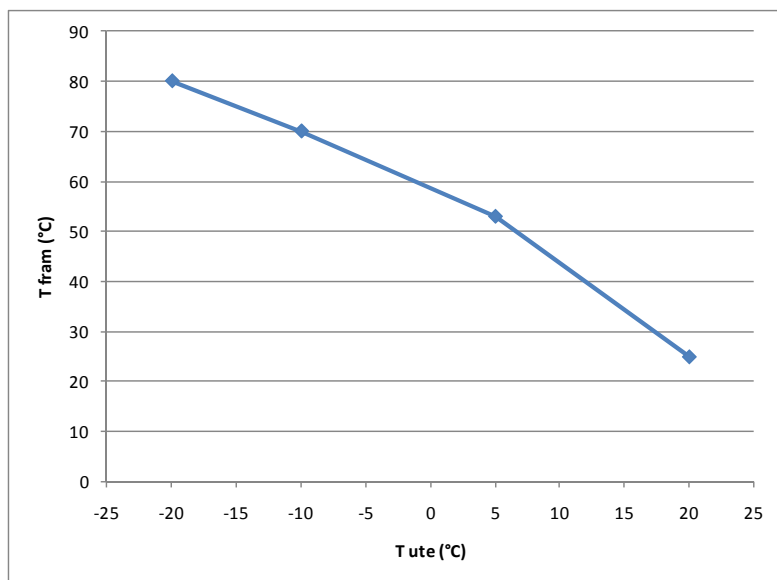
Lollandsgatan 5 är lite modernare loftgångshus, där även våningsplanen är delvis förskjutna till varandra, se Figur 13. Byggnaden har 4 våningar med 32 lägenheter, med garage i hela bottenplanet. Garaget är uppvärmt, med ett börvärde på 15 °C. Under de förskjutna våningsplanen sitter extra isolering, oklart om detta är ditsatt efteråt eller om det var så från början. Anledningen torde vara köldbryggan som uppstår inne i lägenheten ovanpå. Klimatskärmnen är i övrigt orörd sedan byggnaden uppfördes. Fönster består av enkelglas plus dubbelisolerglas. Takisolering består av ca 100-150 mm lösa mineralullsmattor.



Figur 13: Fasadvy, Lollandsgatan.

Det finns tre frånluftsfläktar, en för frånluften, en för sopor, en för garaget. I garaget finns även en till-luftsfläkt för garaget. Fläktarna verkar vara tidstyrda, helfart mellan 06⁰⁰-22⁰⁰, halvfart övrig tid. Tiduret är ett gammalt mekaniskt ur, och gick åtminstone en timme fel, vilket torde vara p.g.a. sommartid.

I annan byggnad på området finns relativt ny UC som serverar flera byggnader. Pumpar är tryckstyrda, men oklart om dessa kördes konstant varvtal eller varierade med trycket. Radiatorkurvan är den högsta i dessa fem byggnader som vi studerat, se Figur 14



Figur 14: Radiatorkurva Lollandsgatan.

Trondheimsgatan 6, Husby

Trondheimsgatan har vi inte ännu fått tag på energideklarationen, däremot har vi varit på plats och inspekterat byggnaden. Byggnaden är ett loftgångshus och är byggd 1974, har 24 lägenheter fördelat på 5 lägenhetsvåningar, Figur 15. Det finns även en källare under hela byggnaden. Klimatskalet verkar inte vara åtgärdat utan är från byggnadsåret. Fönster har luftspalter, trots att byggnaderna från början har FT-system. Ursprungligen fanns tre stycken fläktar, men dessa har ersatts med ett

frånluftsaggregat placerat på tak (se Figur 16), som är utrustat med ett vätskekopplat återvinnings-system. Värmen förs ned till källareplan där till-luftsfläkten med nytt installerat värmeåtervinnings-batteri finns installerat. Detta verkar vara utfört efter 2006. Vi vet att till-luftsfläkten var avstängd för cirka 10 år sedan, då annan likadan byggnad inspekterades av J. Wallin. Fasaden, speciellt fönsterventiler är väldigt öppna. Det är i dagsläget oklart hur detta påverkar balansen mellan till-luft- och frånluftsfläktarna. Frånluftsfläkten är utrustad med frekvensstyrning men verkar ändå med konstant varvtal. Det fanns så vitt vi kunde se ingen installerad tryckgivare som reglerade varvtalet, inte heller syntes detta på frekvensomriktaren. Börvärdet på tillförd luft är 16 °C.

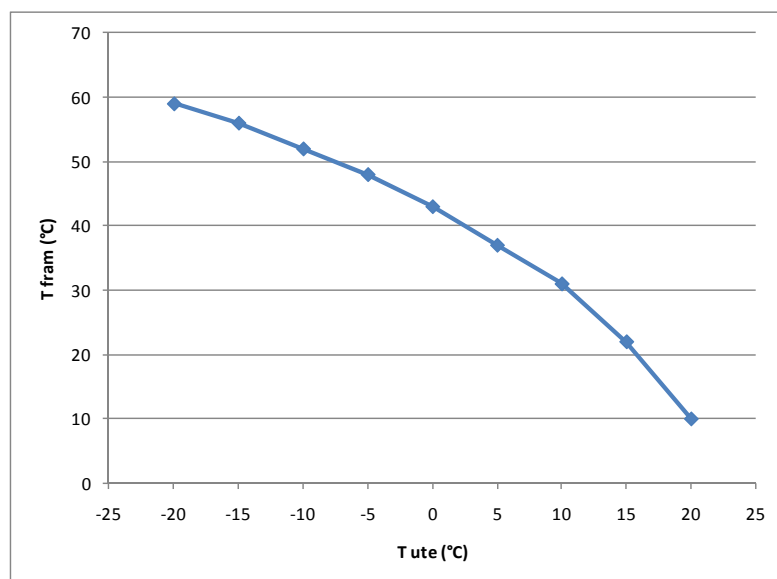


Figur 15: Fasadbild Trondheimsgatan

I källaren av byggnaden finns UC som serverar flera byggnader inom området, vilket gör att rapporterad energi är fördelad. Total varmvattenanvändning för områdets byggnader mäts i UC. Radiatorkurvan är något lägre ställd än tidigare rapporterade kurvor i de andra byggnaderna, se Figur 17.



Figur 16: Frånluftsaggregat med återvinning.



Figur 17: Radiatorkurva Trondheimsgatan.

Basfall

I detta kapitel beskrivs de energiprestanda som IDA ICE ger för de tre första byggnader som beskrivits tidigare. Flera osäkerheter ingår i de resultat som dels redovisas i energideklarationen, dels i de resultat som IDA ICE presenterar, bl.a.:

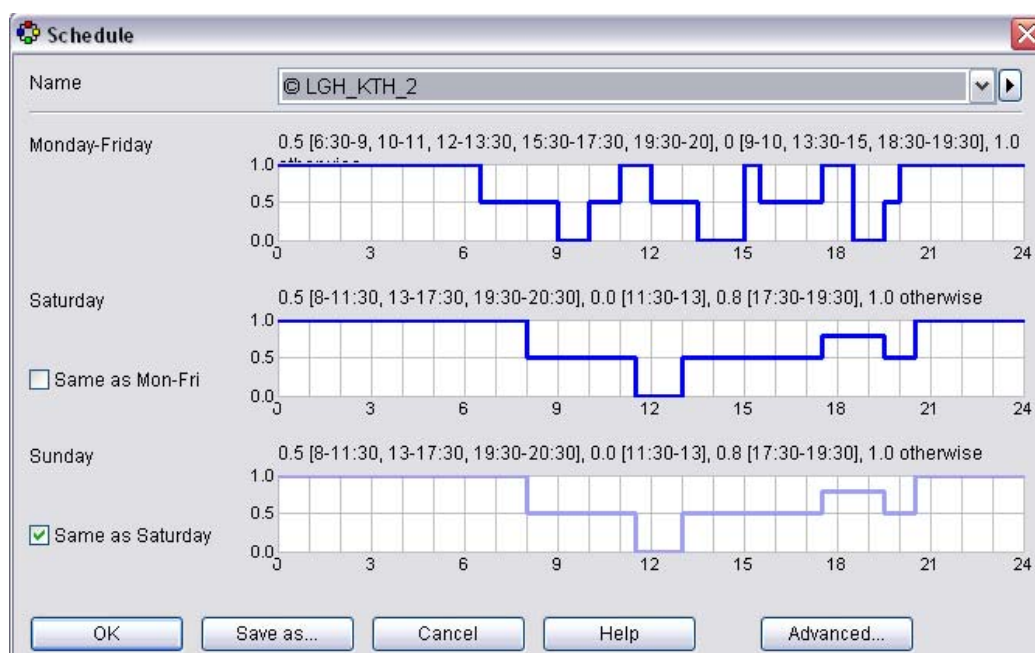
1. Olika klimat
2. Olika Atemp
3. Olika klimatskärm
 - a. Area
 - b. U-värden
 - c. Tidskonstant
4. Olika fönster
 - a. Area
 - b. U-värden
 - c. Sol-värden

Då syftet med undersökningen har varit att se hur värmepumpar står sig investeringsmässigt jämfört med andra konkurrerande investeringar eller tillsammans med andra kompletterande investeringar är faktiska nivåer viktiga men inte absoluta. Studien blir relativ, men då olika åtgärder sparar på olika delar av förluster (t.ex. ventilation, tak, väggar, fönster) är det viktigt att få en "rätt" fördelning mellan dessa i basfallet. Om inte relationen är rätt kommer åtgärder som inbegriper endast en del av totala förlusterna inte vara rättvist beskrivet. Problemet är att i befintlig byggnad vet man ofta vilken total energianvändning som byggnaden har. Energin får då fördelas på respektive poster. En bättre kartlagd byggnad kanske även mäter varmvattenanvändningen så att dess energipost kan tas bort från uppvärmningsenergin, men detta är mer undantag att specifik mätning av varmvattnet sker. Detta görs i två av byggnaderna ovan, dock så förser en av dessa flera byggnader, vilket återigen introducerar osäkerheter.

I vår undersökning har vi använt oss av faktiska data när sådana finns tillgängliga, t.ex. så används faktisk väggkonstruktion i en av byggnaderna då ritning var tillgänglig. Övriga byggnader har rådande byggstandard används (BABS 1950, 1960, 1967) (Kling, o.a., 2009). Fönster har identifierats efter konstruktion och motsvarande fönstertyp tillgänglig i IDA ICE har använts.

I energideklarationen anges byggnadens energianvändning exklusive hushållsel eller verksamhetsel. Detta är delvis logiskt då dessa inte drivs direkt av byggnadens prestanda, men den påverkar ändå energibalansen i byggnaden och måste uppskattas. I denna undersökning används modell för hushållsel enligt Boverket (Boverket, 2007) (Adalberth & Wahlström, 2009) (ATON Teknikkonsult AB, 2007).

Antalet personer påverkar också byggnadens energibalans, tillsammans med när de boende är hemma. I denna undersökning används schablonmässigt att det är 2.5 boende per lägenhet. Hur de boende är hemma eller inte har helt enkelt antagits, sex stycket olika profiler har hittats på och används i lägenheterna, se Figur 18 för ett exempel.



Figur 18: Exempel på närvaroschema för lägenheterna, en av sex.

Ventilationsflöden och drifttider på fläktar har använts enligt den information som inhämtats för varje objekt. När ventilationsflöden inte varit kända har typvärden använts från ELIB enligt (ATON Teknikkonsult AB, 2007).

För varmvatten har i de fall varmvattenförbrukningen mätts den faktiska mängden använts. Däremot om användningen är uppskattad eller fördelad in energideklarationen har modell enligt (ATON Teknikkonsult AB, 2007) använts.

Fastihetsel har om möjligt använts uppmätta värden, om sådana finns att tillgå annars har modell och data från (ATON Teknikkonsult AB, 2007) använts.

Havsörnsvägen 6

Havsörnsvägen 6 har flera likadana byggnader runt i omgivningen, vilka alla finns energideklarerade. Energianvändningen för dessa byggnader är i medeltal då 142 kWh/m². Byggnaden har implementerats i IDA ICE, se Figur 19. Energianvändningen är uppskattad till 133 kWh/m², vilket inom 10 % från värde i energideklarationen. Detta måste nog anses vara inom acceptabel gräns.

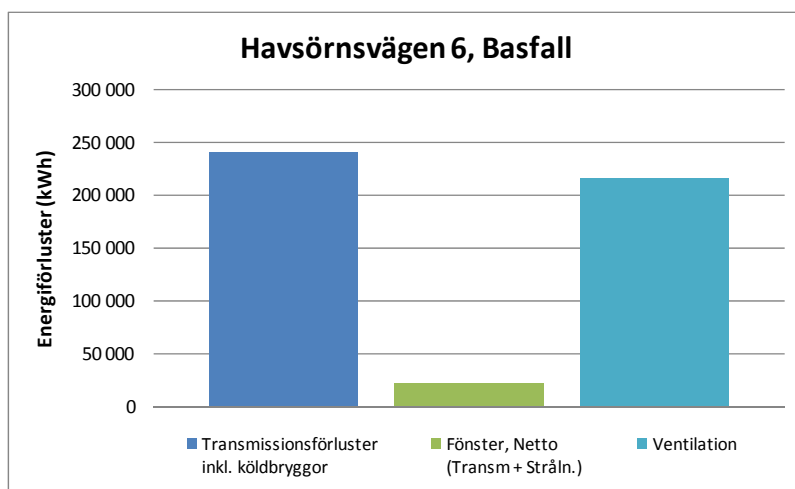
Tabell 7: Energianvändning enligt IDA ICE

	Energianvändning
	kWh / m ²
Belysning, fastighet	0.3
Kyla	0
HVAC aux	1.9
Totalt, Fastighetsel	2.2
Uppvärmning	89.5
Varmvatten	41.6
Total uppvärmning	131.1
Summa energianv.	133.3



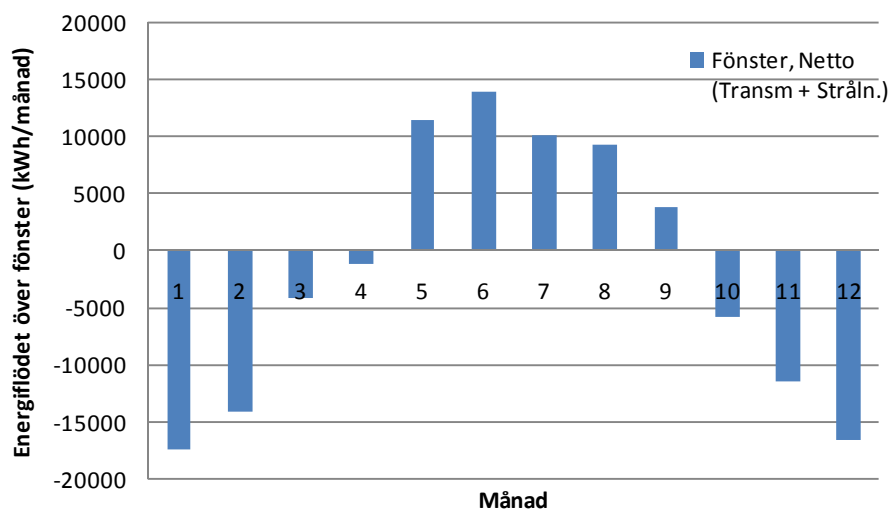
Figur 19: IDA modell av Havsörnsvägen.

Fördelningen av energiflödet i byggnadens delar illustreras i Figur 20. Notera att i fönster är litet, vilket beror på att detta är summan av energiflödet över hela året, dvs. strålningsinflödet på vår, sommar och höst nästan helt kompenserar för transmissionsförlusten ut genom byggnaden. Visserligen har byggnaden ingen nytta av denna solinstrålning flera månader under året vilket gör bilden lite missvisande.



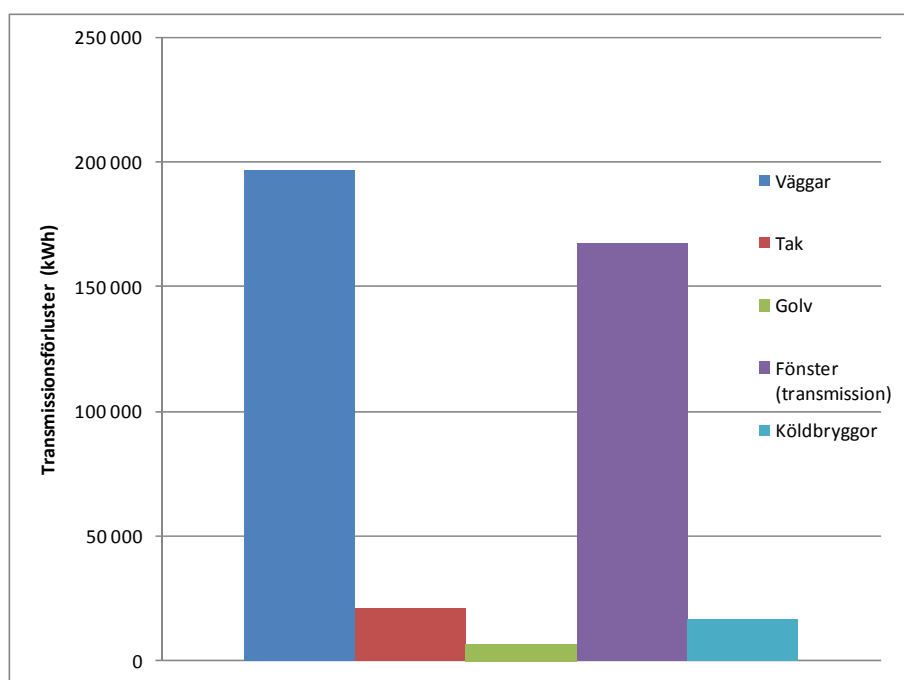
Figur 20: Fördelning av energiförluster (per år) på Havsörnsvägen 6.

Det månatliga nettoenergiflödet visas i Figur 21 vilket tydlig visar variationen över året. Det är alltså viktigt att förstå hur fönstrens egenskaper påverkar detta nettoflöde. Transmissionsförlusten beror på fönstrets U-värde medans strålningsegenskaperna ofta uttrycks som fönstrets SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) eller fönstrets g-värde. Vid inspektion av fönster tillgängliga i IDA ICE så är trenden tydlig, låga U-värden ger också låga SHGC, men med viss spridning. Det är således troligt att för bostäder där aktiv kyla inte används, är det inte bara viktigt att titta på fönstrets U-värde, utan också dess SHGC. För andra lokaler där kylbehov föreligger under stor tid under året, är det dock viktigt att ha låga U-värden tillsammans med låga SHGC.



Figur 21: Nettoenergi flöde över fönster, Havsörnsvägen.

Det är även intressant att se hur transmissionsförlusterna fördelas, Figur 22. Det är nu tydligt hur stor del av transmissionsförlusterna som försvinner ut genom väggar samt fönster. Notera att fönsterförlusterna är transmissionsförluster enbart, ingen strålning tas hänsyn till.

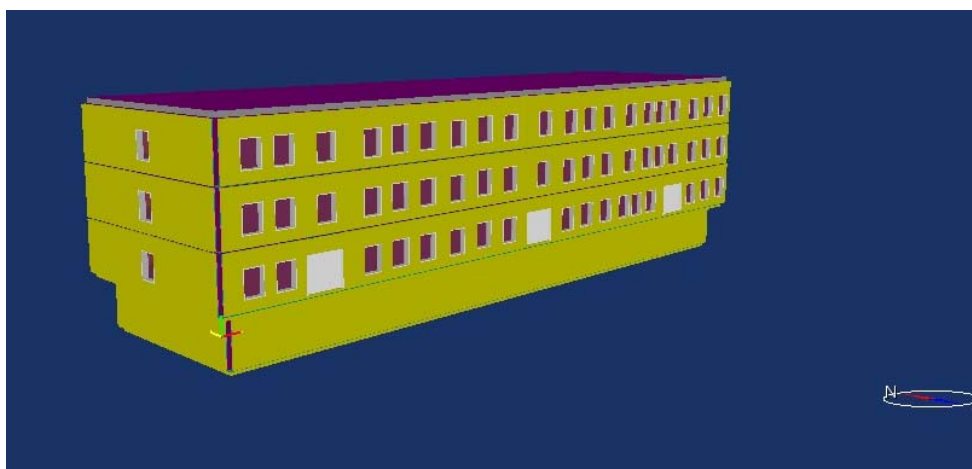


Figur 22: Fördelning av transmissionsförluster, Havsörnsvägen.

Gränsholmsbacken 8-12

Gränsholmsbacken har precis som Havsörnsvägen flera liknande byggnader omkring sig. Skillnaden är att energianvändning mäts centralt och inte på varje byggnad. Osäkerheten blir således lite större. Vidare är det en kulvert mellan UC och byggnaderna, vilket introducerar ytterligare osäkerhet. Kulverten är från 60-talet och är inte uppgraderad. En sådan kulvert har uppskattningsvis 240 till 700 kWh/m, vilket för aktuell byggnad motsvarar 8 till 25 kWh/m² (ATON Teknikkonsult AB, 2007).

Energianvändningen är enligt energideklarationen 146 kWh/m². Byggnaden har implementerats i IDA ICE (Figur 23) och dess energianvändning har beräknats till mellan 127 till 144 kWh/m², se Tabell 8.



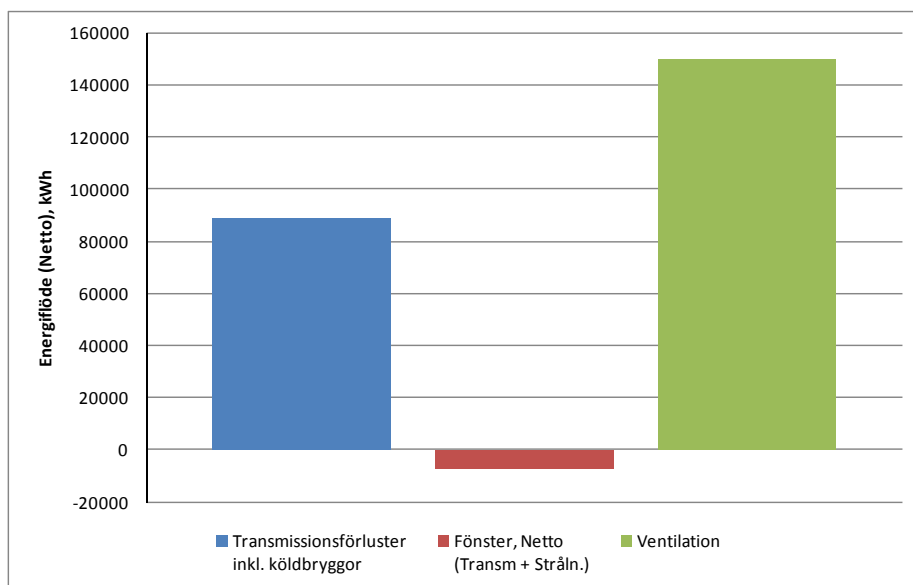
Figur 23: Gränsholmsbacken i IDA ICE

Tabell 8: Energianvändning enligt IDA ICE, plus uppskattade kulvertförluster.

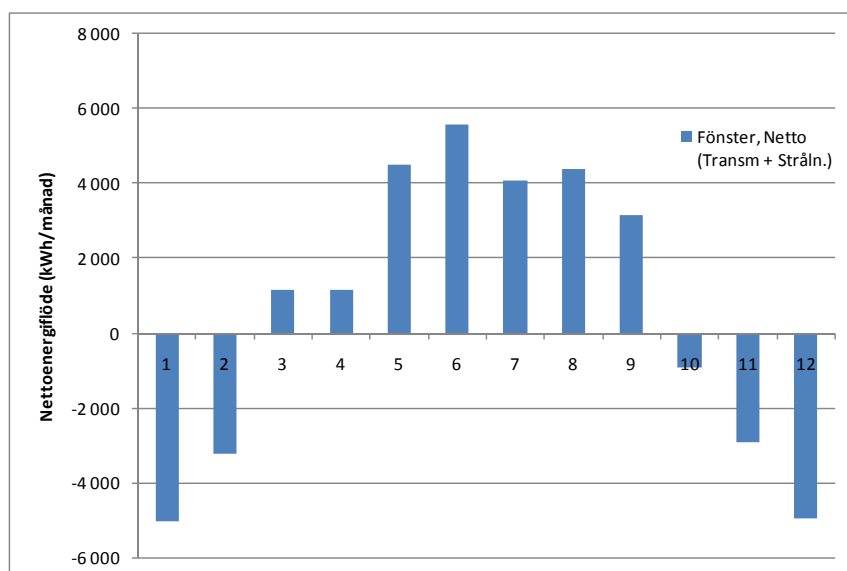
	Energianvändning, kWh/m ²
Belysning	4
Utrustning	14
Kyla	0
HVAC aux	1
Total fastighetsel	19
Uppvärmning	69
Varmvatten	32
Total uppvärmning	101
Kulvert	8 - 25
Summa	127 - 144

Även här får överrensstämelsen mellan IDA och energideklarationen anses vara god. Det är viss skillnad på indata, i IDA har alla fönster antagits vara treglas med U-värde på 1.9, medans i verkligheten är balkongfönster inte treglas, utan tvåglas med träram. Likaså har inte de indragna balkongerna tagits med, utan slät vägg har implementerats.

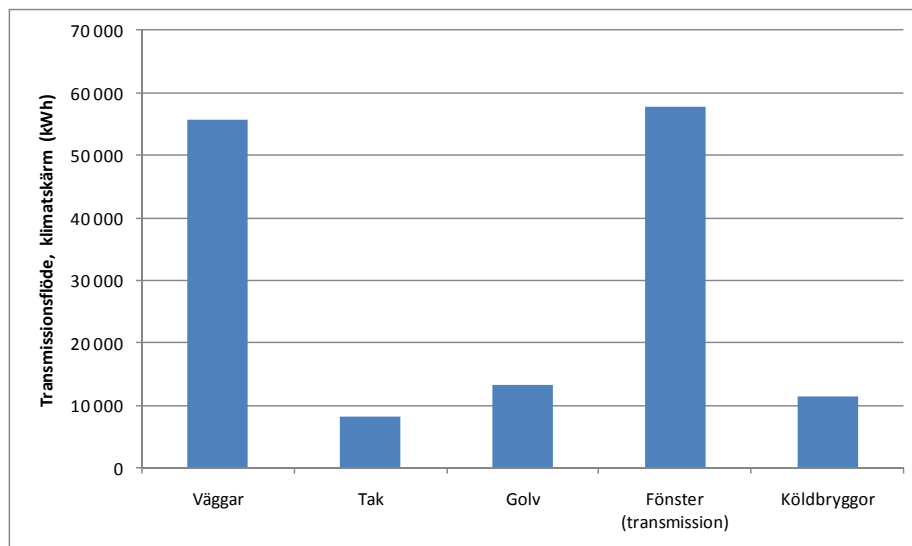
Fördelningen av energiflödet ses i Figur 24. Det är tydligt att ventilationsförlusterna dominerar samt att nettoenergin på årsbasis över fönster är nära noll. Spridningen är dock stor över året och visas i Figur 25. Uppskattade transmissionsförluster visas i Figur 26. Transmissionsförlusterna genom väggar dominerar, sedan kommer transmissionsförluster genom fönster.



Figur 24: Fördelning av nettoenergi flöde över klimatskalet.



Figur 25: Månatligt nettoenergi flöde över fönster.

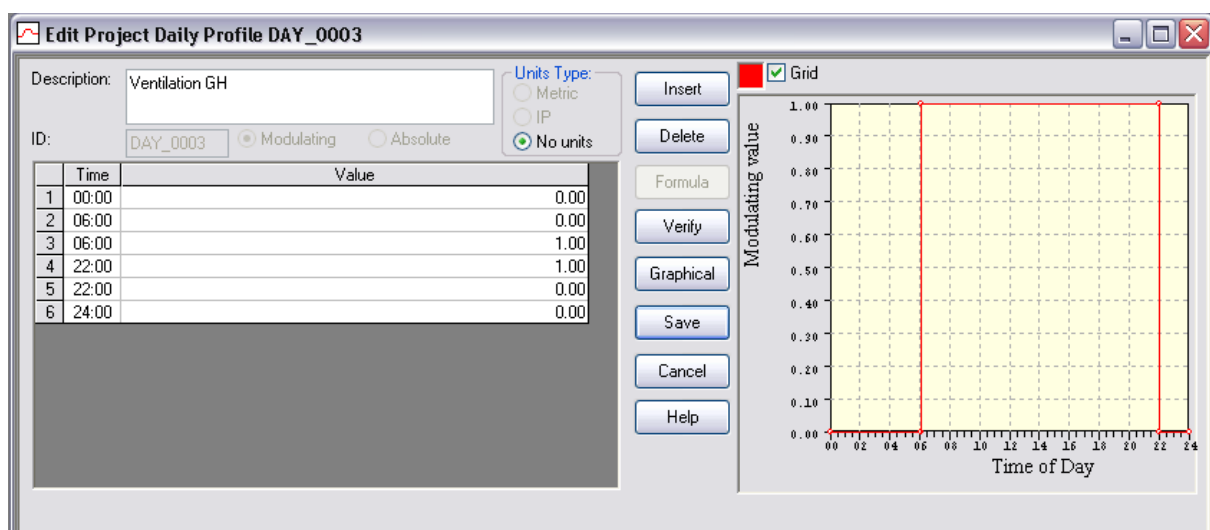


Figur 26: Transmissionsförluster i klimatskärm.

Gamla Huddingevägen 443-445

Tillskillnad mot de två tidigare objekten finns det inte flera likadan byggnader i närheten som byggnaden på Gamla Huddingevägen kan jämföras med. Vidare skiljer sig analysen av bygganden från de tidigare två då ett annat simuleringsverktyg använts, IES VE (Integrated Environment Solutions, 2010). Simuleringarna har trots detta försökt att hållas lika.

Fönstren har i IES VE definierats enligt byggnadsstandard för motsvarande typhus och typår, d.v.s. kopplade 2-glasfönster, som antagligen är från byggåret. Drifftiderna för ventilation är implementerade enligt samma schema som i byggnaden, vilket är kl.06:00-22:00, övrig tid helt avstängd fläkt. Flöden för ventilation i basfallet antas vara konstanta under drifttiden och uppgår till 0,37 l/s·m² enligt OVK-protokoll. Figur 27 visar hur driftschemat ser ut i IES VE.



Figur 27: Ventilationsprofil i Virtual Environment

Varmvattenförbrukningen har antagits efter brukardata på 18 m³ per person och år för boende i flerbostadshus (Levin, 2009).

För huset på Gamla Huddingevägen har det antagits att det är 2,5 personer i varje lägenhet, dygnet runt. Belysningen antas att förbruka 8 W/m².



Figur 28: Huddingevägen i Virtual Environment.

Energianvändningen är enligt energideklarationen 57 kWh/m² per år. Enligt IES VE är energibehovet för grundfallet 65 kWh/m² per år.

Tabell 9 visar resultat från simuleringarna.

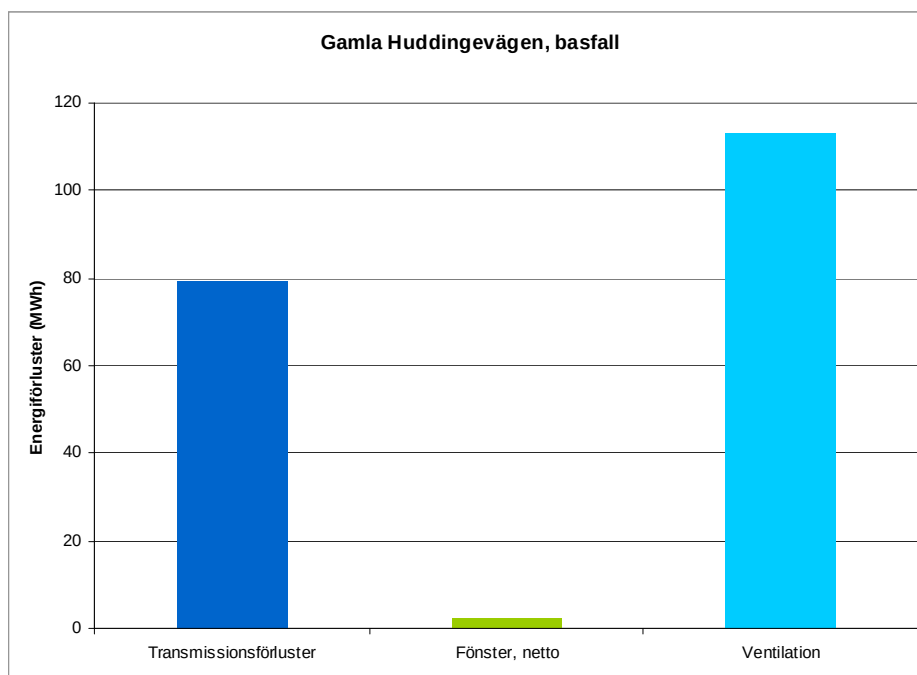
Tabell 9: Energianvändning enligt IES VE.

	Energianvändning kWh/m ²
Belysning, fastighet	5.1
Kyla	0.0
HVAX aux	14.3
Totalt, fastighetsel	19.4
Uppvärmning	13.2
Varmvatten	20.1
Total uppvärmning	33.3
Summa energianvändning	52.7

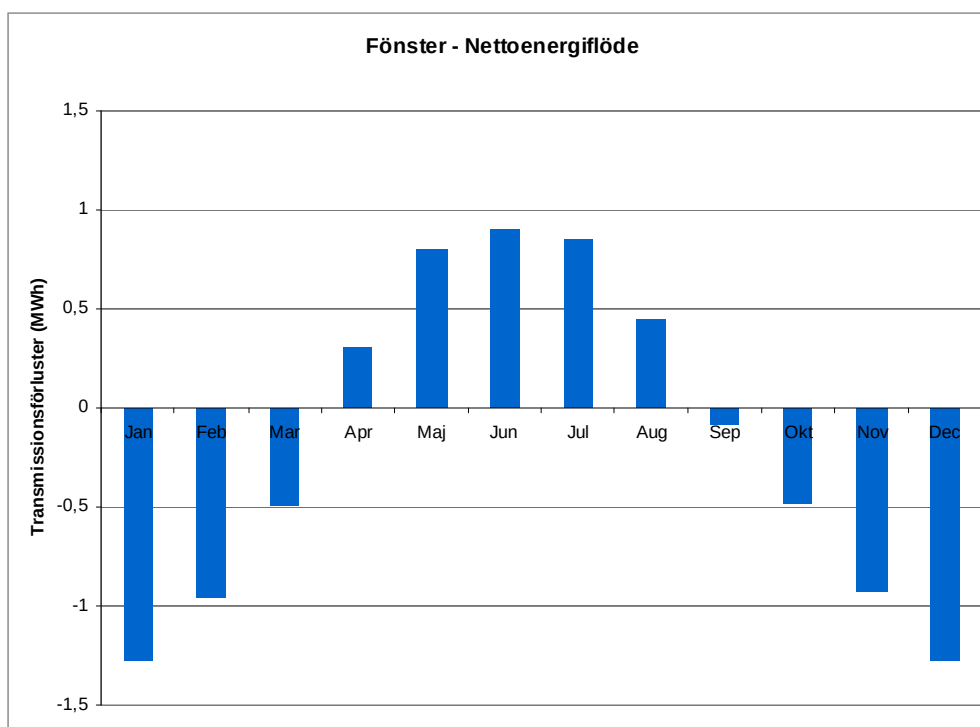
Den uppskattade energianvändningen i IES VE överensstämmer relativt väl med energianvändningen enligt energideklarationen. Då felmarginalen ligger inom 15 % så anses beräkningarna vara tillförlitliga.

Figur 29 presenterar fördelning av nettoenergi flöde över klimatskalet. Ventilationsförlusterna dominerar knappt över transmissionsförluster, medans tydligen återigen transmissionsförluster kompenseras med instrålad energi, vilket ger nettoförlusten liten. Återigen, dessa båda energitransporter sker delvis vid olika tider på året, vilket gör att de inte kompenserar varandra gällande

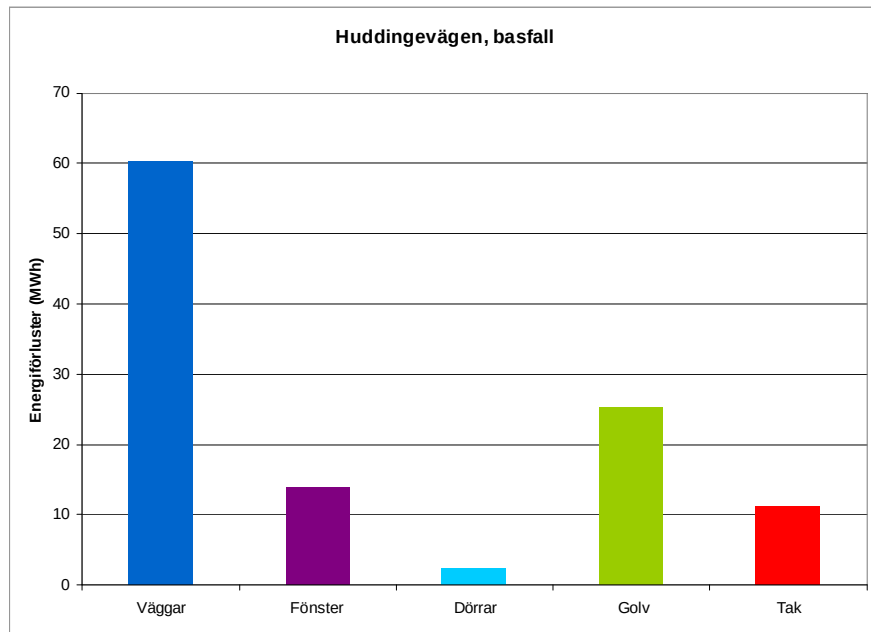
uppvärmningsbehovet, vilket visar i Figur 30. Fördelningen av transmissionsförlusterna på klimatskärmen visas i Figur 31. Väggarna dominerar kraftigt transmissionsförlusterna.



Figur 29: Fördelning av nettoenergi flöde över klimatskalet.



Figur 30: Månatligt nettoenergi flöde över fönster.



Figur 31: Transmissionsförluster i klimatskärm.

Åtgärdsförslag

I detta kapitel studeras det energitekniska utfallet av olika åtgärder i byggnaderna. Här har då endast ett fåtal valts ut, det finns otaliga tekniska lösningar som kan vara lämpliga. Av speciellt intresse har varit att se om/hur värmepumpar står sig mot andra alternativa åtgärder. Typiska åtgärder för bostäder kan fås från flera källor, t.ex. (ATON Teknikkonsult AB, 2007) (Adalberth & Wahlström, 2009) (Kling, o.a., 2009). Det är först när energiförlusternas fördelning i byggnaden är känd som lämpliga alternativ kan identifieras. Är ventilationsförlusterna stora kanske det finns ekonomi att studera närmare lösningar som minskar ventilationsförlusterna, så som injustering av ventilations-systemet eller installation av frånluftsvärmepump. Typiska åtgärder kan vara (Kling, o.a., 2009):

- Klimatskalet
 - o Åtgärda fönster
 - o Tilläggsisolera
 - o Reducera köldbryggor
- Ventilation
 - o Justera ventilationsflöden
 - o Varvtalsstyrd fläkt (tryck & | temperaturkompensering)
 - o Behovsstyrd ventilation
 - o Värmeåtervinning, t.ex. frånluftsvärmepump
- Värmesystemet
 - o Justering
 - o Effektivare/billigare uppvärmningskälla
 - o Uppgradera kulvert
 - o Bättre reglermöjligheter, t.ex. nya termostatventiler
- Övrigt
 - o Belysning
 - o Elmotorer

Havsörnsvägen 6

I denna byggnad ansåg projektgruppen att följande åtgärder kunde vara intressanta att studera:

1. Anpassning ventilationsflöden
2. VÅV med värmepumpar
 - a. VV med ack.tank
 - b. Värme återförs på VS-retur
3. Fönsterbyte
4. Tilläggsisolering
5. Fönster + Tilläggsisolering

Det är enligt Boverkets regler tillåtet att i bostäder styra ventilationen per lägenhet efter behov, förutsatt att ventilationsflödet inte understiger $0.1 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ om ingen är hemma, samt att det inte får understiga $0.35 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ om någon är hemma. Alternativ 1 bryter mot dessa regler i och med att ventilationsflödet anpassas mellan 600 ppm till 800 ppm. Besparingen skall därför ses som maximal besparing som kan åstadkommas genom anpassning av ventilationsflödet.

Värmepumpen studerades två alternativt, dels att installera en värmepump som återvinner energi från avluften och värmer tappvarmvattnet., dels installation av en värmepump som återvinner energi ur avluften och återför den till värmesystemets retur. Det skulle givetvis även möjligt med kombinationer av dessa två, såsom sker i de flesta frånluftsvärmepumpar för villabruk, med denna kombination har inte studerats här. Resultaten indikerar att värmepumpen blir cirka hälften så stor om enbart varmvatten skall värmas, dvs. det finns lika mycket värme kvar att återvinna i avluften innan påfrysning.

Ett alternativt som ständigt är aktuellt är att byta fönster, vilket även här har studerats. Fönstren i byggnaden är 2-glasfönster med träkarm ($U = 2.9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $\text{SHGC} = 0.76$). Dessa har som åtgärdsalternativ bytts ut mot ett av de mest effektiva fönster som finns i IDA ICE databas, med ett U värde på $0.6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ och $\text{SHGC} = 0.49$.

Vidare har 100 mm tilläggsisolering studerats, med ett värmeledningstal på $0.036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Utan på denna isolering sattes 1 cm puts. Dessutom har kombinationen av fönsterbyten och tilläggsisolering studerats.

I Tabell 10 visar de energianvändningarna som är resultatet av simuleringarna i IDA ICE. Kombinationseffekten av att tilläggsisolera tillsammans med effektiva fönster är energiteknisk mest energibesparande. Näst energieffektivt är två olika åtgärder, dels tilläggsisolering, dels frånluftsvärmepump.

Tabell 10: Energianvändning för de olika åtgärderna samt basfallet, Havsörnsvägen.

	Basfall	Åtgärd 1	Åtgärd 2 VS	Åtgärd 2 VV	Åtgärd 3	Åtgärd 4	Åtgärd 5
Belysning	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Utrustning	0	0	0	0	0	0	0
HVAC aux	1.9	1.1	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Totalt fastighetsel	2.2	1.4	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Uppvärmning	89.5	73.9	59.8	89.5	67.3	60	41.7
Varmvatten	41.6	41.6	41.6	14.9	41.6	41.6	41.6
Total uppvärmning	131.1	115.5	101.4	104.4	108.9	101.6	83.3
Summa	133 kWh/m²	117 kWh/m²	104 kWh/m²	107 kWh/m²	111 kWh/m²	104 kWh/m²	86 kWh/m²

Gränsholmsbacken 8-12

I denna byggnad ansåg projektgruppen att följande åtgärder kunde vara intressanta att studera:

1. Anpassning ventilationsflöden
2. Temp.komp. frånluftsfläktar
3. Byte fönster
4. Shuntgrupp med F-värmepumpar, retur på VS

Det är enligt Boverkets regler tillåtet att i bostäder styra ventilationen per lägenhet efter behov, förutsatt att ventilationsflödet inte understiger $0.1 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ om ingen är hemma, samt att det inte får understiga $0.35 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ om någon är hemma. Alternativ 1 bryter mot dessa regler i och med att ventilationsflödet anpassas mellan 600 ppm till 800 ppm. Besparingen skall därför ses som maximal

besparing som kan åstadkommas genom anpassning av ventilationsflödet. Detta innebär även att alternativ 2 ovan inte kan bli mer lönsam, medan investeringskostnaderna skiljer sig åt.

Ett alternativt som ständigt är aktuellt är att byta fönster, vilket även här har studerats. Fönstren i byggnaden är till ca 80 % 3-glasfönster utan isolerglas, med aluminiumram, från 80-talet. Fönstren i balkongerna är 2-glasfönster med träkarm. I simuleringen är alla fönster antagna vara 3-glasfönster utan isolerglas ($U = 1.9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $\text{SHGC} = 0.68$). Dessa har som åtgärdsalternativ bytts ut mot ett av de mest effektiva fönster som finns i IDA ICE databas, med ett U värde på $0.6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ och $\text{SHGC} = 0.16$. Även två andra fönster har studerats, ett med samma låga U -värde men med högre SHGC (0.49), samt ett med $U = 1.1$ och $\text{SHGC} = 0.62$. Det visar sig att lågt U -värde med högt SHGC är fördelaktigt ur energisynpunkt för denna byggnad som inte har aktivt kyla.

Som sista alternativ studerades att installera en frånluftsvärmepump som är kopplad till radiator-systemets retur. Flera olika alternativa inkopplingar är möjliga, med för och nackdelar. Nackdelen med att koppla värmepumpen på returen är att en del av den återvunna värmen blir kulvertförlust. Det går att koppla på ytterligare en UC för att separera systemen, samt att värmepumpen kopplas in på framledningen, med förhöjd arbetstemperatur som följd. Vi har i simuleringen antagit att värmepumpen är inkopplad på returen, samt att all avgiven energi i värmepumpen tillförs byggnaden. Detta är givetvis en starkt förenklad analys men ger ändå en fingervisning kring potentialen hos lösningen.

Tabell 11 visar vilken energibesparing som kan i bästa fall förväntas av de olika alternativen. Som synes, ger anpassning av ventilationsflödet på CO_2 -halt högst besparing, medan fönsterbyte ger minst besparing.

Tabell 11: Utfall av åtgärdsalternativen.

	Basfallet	Alt 1 & 2	Alt 3	Alt 4
Belysning	4	4	4	4
Utrustning	14	14	14	14
Kyla	0	0	0	0
HVAC aux	1	0	1	1
Total fastighetsel	19	18	19	19
Uppvärmning	69	36	62	41
Varmvatten	32	32	32	32
Total uppvärmning	101	68	93	72
Kulvert	8 - 25	8 - 25	8 - 25	8 - 25
Summa	127 - 144 kWh/m²	94 - 111 kWh/m²	120 - 137 kWh/m²	99 - 116 kWh/m²

Gamla Huddingevägen 443-445

För huset på Huddingevägen avsågs följande åtgärder att studeras:

1. Anpassning av ventilationsflöden
2. Balkonginglasning
3. 3-glasfönster
4. Injustering värmesystem

Då byggnaden redan har en värmepump installerad och energianvändningen per m² är relativt låg i nuläget, förväntas de föreslagna åtgärderna inte slå stort på mängden sparad energi.

I grundfallet användes de för huset uppmätta flödena. För att anpassa ventilationen för en minskad energianvändning sattes ventilationsflödena att uppgå till de lägsta möjliga enligt BBR samt styrning efter CO₂-halt i lägenheterna.

En inglasning av balkongerna görs för att undersöka om transmissionsförlusterna samt energianvändningen kan minska, i det här fallet med hjälp av en "extra fasad" framför balkongerna, vilket innebär att det till varje balkong har lagts till ett 1-glasfönster.

De nuvarande 2-glasfönstren med träkarm är originalfönster med ett uppskattat U-värde 2.9 W/m²·K. Dessa ersattes i fall 3 av 3-glasfönster med ett U-värde på 1.46W/m²·K Samt ett g-värde (SHGC) på 0.61.

Tabell 12 visar på resultaten av simuleringarna i IES VE. Utifrån resultaten kan slutsatsen dras att det mest energibesparande alternativet är att anpassa ventilationen efter CO₂-halt. Besparingen ska dock ses som en maximal besparing som kan åstadkommas då luftflödet i detta fall ligger under de krav enligt BBR.

Tabell 12: Utfall av åtgärdsalternativen.

	Anpassad ventilation Energianvändning kWh/m ²	Balkonginglasning Energianvändning kWh/m ²	3-glasfönster Energianvändning kWh/m ²	Återvinning av frånluft till borrhål Energianvändning kWh/m ²
Belysning, fastighet	5.1	5.1	5.1	5.1
Kyla	0.0	0.0	0.0	0.0
HVAC aux	14.0	14.3	14.3	14.3
Totalt, fastighetsel	19.1	19.4	19.4	19.4
Uppvärmning	10.9	11.5	11.9	13.0
Varmvatten	20.1	20.1	20.1	20.1
Total uppvärmning	31.0	31.6	32.0	33.1
Total energi	50.1	51.0	51.5	52.5

Ekonomiskt utfall

I detta kapitel används ekonomiska verktyg för att uppskatta lönsamheten för de olika åtgärdsförslagen som beräknats. Till detta används då LCC-analys (Life Cycle Cost) vilket enkelt uttryckt är en nuvärdesmetod, baserat på hela åtgärdens livslängd. Det finns andra verktyg som också kan användas till ekonomisk analys men kommer inte att användas i denna rapport, det finns mer att läsa i t.ex. (Kling, o.a., 2009) (Adalberth & Wahlström, 2009) (Abel & Elmroth, 2008).

LCC beräknas enligt

$$LCC = LCC_{Värme} + LCC_{El} + LCC_{Underhåll} + LCC_{Hyra} + LCC_{Miljö}$$

En investering antas vara lönsam om LCC är större än noll. Som namnet indikerar summerar metoden alla kostnader som en åtgärd har, inklusive miljö, skrotning osv. under hela dess livslängd.

I huvudsak åtgärder på klimatskärm, med fönsterbyte eller tilläggsisolering av fasaden, har studerats. Inget fall av tilläggsisolering på vind har studerats, dels för att i punkthus är takarean liten i förhållande till total omslutande area, dels har de lamellhus eller skivhus som simulerats redan genomfört tilläggsisolering. Vidare har installation av återvinning via värmepump. Ingen av de simulerade byggnaderna har mekanisk till-luft, vilket normalt inte möjliggör återvinning till till-luften, men en frånluftsvärmepump kan lyfta temperaturnivån på avluftens energi till nyttig energi i t.ex. värmesystemet. Som sista typåtgärd som simulerats inverkan av är justering av ventilationsflödet, baserat på CO₂-nivån i respektive zon.

När ekonomiskt utfall av olika åtgärder skall ställas mot varandra behöver bl.a. energipriset uppskattas, dels dess basnivå (tidpunkt för investering) samt dess prisutveckling. Det första av dessa är relativt enkelt att ta fram uppgifter om, det andra är svårare. I denna utvärdering har energipriset för fjärrvärme antagits till 650 kr/MWh, samt 1 200 kr/MWh för el (Fortum, 2010). Prisutvecklingen har antagits vara 2 % för båda dessa energislag.

Övriga kostnader har i huvudsak hämtats från (ATON Teknikkonsult AB, 2007), se Tabell 13.

Tabell 13: Kostnadsuppskattning för olika åtgärder.

	Investeringskostnad	Underhåll, kkr/år	Livslängd, år
Behovsstyrning av ventilationsflöde	40 000 kr/fläkt + 10 000 kr/lgh	2 000	30
Fönsterbyten	3 000 kr/m ²	-	
Tilläggsisolering	(70 +420) kr/m ²	-	30
Värmepump	100 000 + 15 000 kr/kW	4 000	15
Varmvattenberedare	50 000	-	15

Havsörnsvägen 6

Följande åtgärder har undersökts:

1. Anpassning ventilationsflöden
2. VÅV med värmepumpar
 - a. VV med ack.tank
 - b. Värme återförs på VS-retur
3. Fönsterbyte

4. Tilläggsisolering
5. Fönster + Tilläggsisolering

Baserat på areor av fönster, fasad, värmepumpseffekt och andra indata för åtgärder presenteras åtgärderna LCC i Tabell 14. Lägst kostnad har tydligen åtgärd #1, behovsanpassad ventilation.

Tabell 14: LCC för olika alternativ, Havsörnsvägen

Fjärrvärme, kostnad (kr/kWh)	0.65						
Energiprisökning, Fjärrvärme	2%						
El, kostnad (kr/kWh)	1.20						
Energiprisökning, El	2%						
Investeringåtgärd	Basfall	#1	#2a	#2b	#3	#4	#5
Realränta	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Investering (kr)	-	380 000	420 000	550 000	1 293 180	1 297 491	2 590 671
Underhåll (per år)	-	2 000	4 000	4 000	0	0	0
Besparing (fjärrvärme per år, kWh)	-	59 872	183 312	159 232	85 207	113 579	183 952
Besparing (El per år, kWh)	-	3 290	-57 185	-44 843	0	0	0
Driftkostnad (Fjärrvärme per år)	328 032	289 115	208 879	224 531	272 647	254 205	208 463
Driftkostnad (El per år)	10 282	6 334	78 904	64 093	10 282	10 282	10 282
Återinvestering (år)	-	-	15	15	-	-	-
Återinvestering (kr)	-	-	320 000	270 000	-	-	-
LCC (kkr)	6 551	6 132	6 200	6 324	6 772	6 419	6 826

Gränsholmsbacken 8-12

Följande åtgärder har undersökts:

1. Anpassning ventilationsflöden
2. Temp. komp. frånluftsfläktar
3. Byte fönster
4. Shuntgrupp med F-värmepumpar, retur på VS

LCC för basfall, tillsammans med åtgärdsförslagen presenteras i Tabell 15.

Tabell 15: LCC för olika alternativ, Gränsholmsbacken.

Fjärrvärme, kostnad (kr/kWh)	0.65			
Energiprisökning, Fjärrvärme	2%			
El, kostnad (kr/kWh)	1.20			
Energiprisökning, El	2%			
Investeringåtgärd	Basfall	#1 - #2	#3	#4
Realränta	5%	5%	5%	5%
Investering (kr)	-	220 000	593 102	295 000
Underhåll (per år)	-	2 000	0	4 000
Besparing (fjärrvärme per år, kWh)	-	63 888	14 780	77 114
Besparing (El per år, kWh)	-	1 851	0	-21 260
Driftkostnad (Fjärrvärme per år)	233 415	191 888	223 808	183 291
Driftkostnad (El per år)	36 797	34 576	36 797	62 309
Återinvestering (år)	-	-	-	15
Återinvestering (kr)	-	-	-	195 000
LCC (kkr)	5 232	4 636	5 639	5 201

Behovsstyrning av ventilationen är återigen minst kostsam medans näst minst kostsam är värmepumpskopplad återvinning av avluften till VS-retur. Fönsterbyten verkar inte vara lönsamt i förhållande till basfallet.

Gamla Huddingevägen 443-445

Ingen av de studerade energibesparingsåtgärderna är mer lönsamma än basfallet, Tabell 16. Eventuellt skulle ventilationsflödesanpassningar vara ett alternativ.

Tabell 16: LCC för olika alternativ, Gamla Huddingevägen.

El, kostnad (kr/kWh)	1.20				
Energiprisökning, El	2%				
		Ventilationsflöde	Fönster	Balkong	Återvinning Frånluft
Investeringåtgärd	Basfall	#1	#2	#3	#4
Realränta	5%	5%	5%	5%	5%
Investering (kr)	-	20 000	129 800	165 000	100 000
Underhåll (per år)	-	2 000	0	0	2 000
Besparing (El per år, kWh)	-	3 600	2 000	3 000	800
Driftkostnad (El per år)	248 533	247 200	246 133	244 933	247 648
Återinvestering (år)	-	-	-	-	-
Återinvestering (kr)	-	-	-	-	-
LCC (kkr)	4 812	4 837	4 896	4 908	4 926

Det är tydligt att en byggnad med värmepump installerad är det svårt att ekonomiskt motivera många åtgärder som annars kanske kunde vara lönsamma. Det kan vara lönsamt att innan värmepump installeras fundera över vilka besparingsåtgärder som kan genomföras så att värmepumpens installerade effekt minskar. Det kan finnas ett ekonomiskt utrymme där lönsamheten för mindre lönsamma investeringar hjälps av värmepumpens besparingar, se t.ex. (Kling, o.a., 2009). När väl värmepumpen finns på plats och senare energibesparande åtgärder planeras kan dessa oftast inte motiveras ekonomiskt, vilket Tabell 16 illustrerar.

Diskussion

I detta kapitel diskuteras kort resultaten från de olika åtgärdsförslagen, osäkerheter i utfallen samt andra implikationer som åtgärder kan ha.

Simuleringarna tillsammans med uppskattade investeringkostnader indikerar att den mest lönsamma åtgärd är att installera behovsanpassad ventilation. I simuleringar antas styras ventilationen på CO₂ i respektive zon, med minsta tillåtna flöde på 0.1 l/(s·m²) och största flöde på 0.35 l/(s·m²). Styrningen är alltså inte i egentligen närvarostyrd, vilket Boverket egentligen kräver då ventilationsflödet är stipulerat att vara 0.35 l/(s·m²) om någon är hemma. Detta innebär i verkligheten att simulerad besparing är i överkant. Enligt (ATON Teknikkonsult AB, 2007) är närvarobaserad ventilation i huvudsak bara möjlig att implementera i småhus och inte i flerfamiljshus som är studerats. Även kostnaderna för åtgärden innehåller stort mått av osäkerhet, då det inte varit möjligt att ännu få en prisuppskattning på denna åtgärd.

Till detta kommer stor osäkerhet i närvaro av personer, vilket i simuleringarna antagits variera för olika lägenheter, enligt t.ex. Figur 18. Förövrigt påverkas även internvärmegenerering av närvaron. I simuleringarna har belysning och hushållsel inte varierats enligt personnärvar, utan smetats ut som en baslast, på relativt låg medeleffekt. Detta avviker ju också från hur ett verkligt hus beter sig.

Tilläggsisolering samt fönsterbyten verkar, precis som många andra påpekat tidigare, inte vara ur ett tekno-ekonomiskt perspektiv motiverat på den tidshorisont som här använts. Det skall dock noteras att inverkan av eventuellt möjlig sänkning av innetemperaturen, pga. förbättrad (höjd) operativ temperatur har inte beaktats. Det är enligt (ATON Teknikkonsult AB, 2007) tveksamt om någon effekt kan förväntas om väggens U-värde innan åtgärd är bättre än 0.4 W/m²·K medans om den var 1 W/m²·K kan upp till en grad minskad lufttemperatur kunna användas, utan att minska komforten i byggnaden. Ökas tidshorisonten, dvs. om livslängden för åtgärder är liknande de livslängder som befintliga klimatskal har fått utstå, kan de dock fortfarande vara intressanta. Vilken livslängd som behövs har inte studerats i projektet.

LCC-uppskattningarna visar att värmepumpar har en roll att spela i dessa byggnader, de är väl så intressant som andra alternativ. Det skall noteras att värmepumpsinstallationen på Gamla Huddingevägen gör att dess energianvändning är så låg som 57 kWh/m², vilket nästan är i paritet med nybyggnadskravet för nya elvärmda byggnader i aktuell region. Byggnaden hade genomfört en tilläggsisolering på tak, vilket såklart påverkar användningen. Det visar sig också att det inte finns ekonomiskt utrymme att göra ytterligare investeringar, i alla fall inget energi-ekonomiskt utrymme, eftersom värmepumpen redan är installerad och kanske något överdimensionerad.

Dock är det troligen så att "enkel" anpassning av ventilationsflöden till minsta tillåtna flöde (utan reglering) är den mest lönsamma åtgärden, då den i huvudsak inte kräver någon egentlig installation, utan enbart utnyttjar befintliga installationer. Om exempelvis Gränsholmsbacken justerade ventilationsflödet i sina lägenheter mot 0.35 l/(s·m²) och att detta görs var femte år, behöver energibesparingen enbart behöva vara något mer än 3 000 kWh/år¹.

¹ Baserat på kostnad enligt (ATON Teknikkonsult AB, 2007) och 5 % realränta.

Det är också viktigt att elanvändning i gemensamhetsutrymmen ses över, oavsett om uppvärmningen är genom fjärrvärme eller värme pump. I båda fallen är motsvarande energimängd som belysning bidrar till uppvärmningen bara 55 % så dyr om fjärrvärme används som uppvärmning och 33 % om en värmepump används.

Användningen av värmepumpar i dessa byggnader har fördelen att värmeåtervinning i byggnader utan mekanisk till-luft kan implementeras, vilket inte annars är möjlig. Det är också möjligt att använda värmepump i lamellhus, där det är flera parallella frånluftssystem, även om det är mer fördelaktigt i punkthus där det oftast är ett frånluftssystem. Även om bergvärmepump är intressant kan återvinning av frånluften göras genom installation av värmeväxlare i frånluftskanalerna. Detta har inte gjorts i Gamla Huddingevägen, men skulle innebära att brinevätskan värms något ytterligare innan den tillförs förångaren, samt att borrhållet delvis återladdas under varmare årstider.

Intressant att notera var att i ett loftgångshus med tre frånluftssystem hade vätskekopplat värmeåtervinningssystem installerats, med en gemensam frånluftsfäkt. Där fanns ett till-luftsystem, vilket gör att värmepump inte är nödvändig för återvinning av frånluften.

Utöver att använda värmepump som tidigare är det fullt möjligt att installera dedikerade tappvarmvatten värmepumpar, med uteluft som värmekälla. Det är inte speciellt stora värmepumpar som behövs till en sådan lösning, en större villavärmepump är ofta tillräcklig, vilket då inte heller kräver omfattande luftbatterier, vilket med lätthet torde få plats på taket. Som alla uteluftsvärmepumpar ger den inte tillräcklig kapacitet vid kalla väderlekar, men backup-energi finns oftast, t.ex. befintligt fjärrvärme. Då värmepumpen inte har tillräcklig effektkapacitet behövs systemet en varmvattenberedare istället för de vanligt förekommande genomströmningssärlare, liknande det som studerats i en av byggnaderna ovan, vilket ökar kostnaden något. Effsys2-projektet P22 har genomfört en simulering för ett punkthus och funnit att köpt energi minskar till 38 % av ursprungsbehovet.

Slutsatser

Värmepumpar är uppenbart en viktig del att minska användningen av köpt energi i byggnader. Som för alla åtgärdsförslag bör alla tänkbara åtgärder identifieras och utvärderas. Simuleringarna tyder på att fönsterbyten och tilläggsisolering inte kan stå sig mot att installera frånluftsvärmepump ur ett tekno-ekonomiskt perspektiv.

I första hand skall enkla injusteringar beaktas som använder befintliga installationer, vilket innebär att kostnaden ofta inskränker sig konsulttid med begränsad omfattning. Dessa är oftast mest lönsamma, vilket illustreras av att injustering av ventilationsluft i enlighet med Boverkets regler om minsta tillåtna luftflöden enbart behöver spara in mer än 3 000 kWh/år, jämfört med andra lösningar som kräver 20 gånger mer besparing för samma lönsamhet. Värmepumpar ger möjlighet att använda återvinning i de byggnader som inte har mekanisk till-luft. Installation av bergvärme ger avsevärd besparing, vilket kan illustreras av bygganden på Gamla Huddingevägen, där köpt energi är i paritet med nybyggnadskraven enligt Boverket.

Exemplen illustrerade i rapporten indikerar att betydande energibesparingar kan göras med installation av värmepumpar. Det finns också utrymme för kreativa lösningar, med avseende på framförallt val av värmesänkan.

Referenser

- Abel, E., & Elmroth, A. (2008). *Byggnaden som system*. Stockholm: Forskningsrådet Formas.
- Adalberth, K., & Wahlström, Å. (2009). *Energibesiktning av byggnader - Flerbostadshus och lokaler*. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Arias, J. (2004). CYBERMART. KTH - Energiteknik.
- ATON Teknikkonsult AB. (2007). *Energideklarering av bostadsbyggnader - Metoder för besiktning och beräkning, version 2*. Stockholm: ATON Teknikkonsult AB.
- Boverket. (2007). *BFS 2007:4, Boverkets Författningssamling BED1*. Karlskrona: Boverket.
- Dept. of Energy. (2010). EnergyPlus. USA: Dept. of Energy.
- DesignBuilder Software Ltd. (2010). *DesignBuilder - Building design, simulation and visualisation - Building Simulation... Made Easy*. Hämtat från DesignBuilder - Building design, simulation and visualisation - Building Simulation... Made Easy: <http://www.designbuilder.co.uk/> 2010
- Equa. (2010). www.equa.se. Hämtat från www.equa.se den 22 06 2010
- Forsén, M. (2004). Prestige. KTH - Energiteknik.
- Fortum. (2010). *Fortum*. Hämtat från www.fortum.se 2010
- Integrated Environment Solutions. (2010). *IES Virtual Environment*. Hämtat från <http://www.iesve.com/UK-ROI> 2010
- IVT Industrier AB. (den 05 Januari 2006). IVT Greenline G, modell 35-45 kW. Tranås, Sverige.
- Kling, R., Everitt, M., Hult, M., Warfvinge, C., Dahlgren, B., Björling, S., o.a. (2009). *Renoveringshandboken för hus byggda 1950-75*. Stockholm: VVS Företagen.
- Läth, O. (Maj 2010). Ordf. (J. Claesson, Intervjuare)
- Sporell, P. (June 2010). Ordf. (J. Claesson, Intervjuare)
- TRNSYS 16. (2006). Transient System Simulation Program. USA: SEL, University of Wisconsin Madison.