

CHALMERS



ENERGIOPTIMERING AV FLERBOSTADSHUS I VÄSTRA ERIKSBERG

**HÅLLBART BYGGANDE I ETT
LIVSCYKELKOSTNADSPERSPEKTIV**

Marco Andersson

Peter Nilsson

Jonas Vätz

Examensarbete

HÖGSKOLEINGENJÖRSPROGRAMMET BYGGINGENJÖR

INSTITUTIONEN FÖR BYGG- OCH MILJÖTEKNIK

Chalmers tekniska högskola

GÖTEBORG, SWEDEN 2005

ENERGIOPTIMERING AV FLERBOSTADSHUS I VÄSTRA ERIKSBERG

HÅLLBART BYGGANDE I ETT LIVSCYKELKOSTNADSPERSPEKTIV

Marco Andersson

Peter Nilsson

Jonas Våtz

**ENERGY OPTIMIZING OF MULTIPLE-UNIT DWELLING HOUSES IN VÄSTRA
ERIKSBERG**

SUSTAINABLE CONSTRUCTION IN A LIFE CYCLE COST PERSPECTIVE

Marco Andersson, 1977

Peter Nilsson, 1978

Jonas Våtz, 1980

© Marco Andersson, Peter Nilsson, Jonas Våtz

DEPARTMENT OF CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SE-412 96 GÖTEBORG

SWEDEN

TELEPHONE + 46 (0)31-772 1000

Sammandrag

Inom byggbransch går utvecklingen med att minska energianvändning i byggnader långsamt. Detta ser Norra Älvstranden Utveckling AB som ett problem, så de kom med en förfrågan om vilka möjligheter det fanns att åtgärda detta när de nu skulle projektera ett nytt område i västra Eriksberg i Göteborg. Området omfattar ca 200 000 m² med en blandning av olika typer av flerbostads-hus. På grund av områdets storlek så finns det mycket energi och pengar att spara genom att bygga husen så energisnåla som möjligt.

Syftet med detta arbete är att främja och visa på att det även i byggsektorn går att ha ett långsiktigt tänkande samt att ge Norra Älvstranden ett underlag vid projekteringen av västra Eriksberg. För att nå den optimala kombinationen av välisolerade klimatskal och värmeenergisystem ur ett långsiktigt perspektiv används en LCC-studie, där kostnader för investeringar och energi under byggnadens hela livslängd beräknas. Målet med beräkningarna är att optimera klimatskal, ventilationssystem och värmesystem ur ett livscykelkostnads-perspektiv på 50 år. En låg energiförbrukning och inte allt för höga investerings-kostnader är de viktigaste parametrarna för att hålla nere kostnaderna i LCC-beräkningen. Det är viktigt att visa att det kan löna sig att investera lite mer vid byggnationen för att sedan under byggnadens livstid få tillbaks pengar i form av minskade energikostnader.

Arbetet genomfördes med hjälp av olika sorters datorprogram, som underlättade när husens olika energiförbrukningar och kostnader för väggar samt installationer beräknades. En LCC-mall användes för att sammanställa alla olika beräknings-värden från programmen. En del kostnader togs fram med hjälp av företag inom olika områden för att ge en aktuell och riktig bild av kostnaderna.

Inverkan av isolering i väggar, typ av hus, värmesystem och ventilationssystem har undersökts. Dessa undersökningar har haft som mål att minimera U-värdet för väggarna samt att med hjälp av olika kombinationer av väggar, ventilationssystem och värmesystem minimera energiförbrukningen i tre olika typer av flerbostads-hus. För att kunna jämföra olika hustyper med varandra så har de tre olika hus-typerna samma totala golvarea, men med olika yta/volym-värde. De tre olika typerna av hus är ett skivhus, ett punkthus samt ett trevånings flerbostadshus, som kallas radhuset.

Av resultaten i rapporten går det att utläsa att radhuset har den lägsta LCC, men detta på grund av lägre kostnader för fönster och väggar än skivhuset och punkt-huset. Radhuset har dock större kostnader när det gäller värmen, ventilationen och radiatorsystemet. En slutsats som kan dras av resultatet är att för alla hustyperna blir samma kombination av vägg- och ventilationssystem det mest kostnads-effektiva ur ett LCC-perspektiv. Kombinationen som har den lägsta LCC utan radiatorsystem är alternativet med mest isolering kombinerat med från- och tilluftssystem med värmeväxlare. Med radiatorsystem är det väggen med medel-tjock isolering kombinerat med ett från- och tilluftssystem med värmeväxlare det bästa alternativet ur ett LCC perspektiv.

Värmeenergiförbrukningen i husen med frånluftssystem är cirka 68-70 kwh/m², år och husen med FTX-system förbrukar endast cirka 35-37 kwh/m², år. Det är långt under ByggaBoDialogens krav på 85 kwh/m² och år.

En ökad isoleringsmängd i väggarna har en minimal påverkan på energiåtgången om den jämförs med ett effektivt ventilationssystem med värmeåtervinning. Detta innebär inte att isoleringen helt kan ignoreras, utan är fortfarande en viktig del i energisnålt byggande.

Abstract

Due to the large consumption of energy during a buildings lifetime it is of great importance that the building is energy efficient. The company Norra Älvstranden Utveckling AB (NAU) sees this as a key consideration when planning a new housing area with about 200000 m² of multiple-unit dwelling houses. They want to minimise the energy consumption through improvements to the buildings. The objective of this report is therefore to show what parts of the buildings can be improved to maximise energy economics as much as possible looking at a 50 year period and three different types of multiple-unit dwelling houses. As part of the analysis of this report, the life cycle cost (LCC) has been calculated, with the help of two different computer programs, Sektionsdata and BV², based on various costs data for energy and installation costs for heating pumps. The report shows that an air system with a heat exchanger is of key importance to keep the energy cost down. The report also shows that the lowest LCC is achieved with a medium wall, air system with a heat exchanger and the river Göta älv as the heating source. This result is almost the same for all three types of houses.

Keywords: LCC, energy optimizing, Multiple-unit dwelling houses.

Förord

Detta 11 poängs examensarbete har utförts på Chalmers tekniska högskola där det ingår i Byggteknik 120 p. Rapporten är gjord efter förfrågan av Norra Älvstranden Utveckling AB. Arbetet är utfört under vårterminen 2005.

Vi hoppas på att denna rapport skall ge en inblick i hur det går att förbättra byggandet ur ett energiperspektiv. Vi vill påpeka att rapporten endast är en jämförande studie av redan befintliga system. Syftet är att visa vilken kombination av system som ger den optimala lösningen ur ett livscykelkostnadsperspektiv.

Vi vill passa på att tacka följande personer för deras hjälp under vårt examensarbete; vår handledare Kurt Möller, vvs-konsult på Deltate, vår examinator på Chalmers Steve Svensson, Staffan Bolminger, Projektledare på Norra Älvstranden Utveckling AB, Magnus Utbult, vvs-konsult på Wikström vvs-kontroll AB, Stefan Aronsson, CIT Energy Management samt Lars-Olof Holmström, Platschef på JK-bygg.

Innehållsförteckning

Sammandrag.....	III
Abstract.....	V
Förord.....	VI
Innehållsförteckning.....	VII
1. Inledning	1
1.1. Bakgrund.....	1
1.2. Syfte	1
1.3. Metod	1
1.4. Avgränsningar	1
2. Energioptimering av bostäder	2
2.1. Energisnålt byggande	2
2.1.1. Energisnåla hus	2
2.2. Projekt med energisnåla hus	2
2.2.1. Bo01	2
2.2.2. Lindås.....	3
2.2.3. Glumslöv	4
2.3. Energianvändning	5
2.3.1. Energiförbrukning i bostäder	5
2.3.2. ByggaBoDialogen.....	6
2.3.3. Energiutveckling	6
2.4. Energiberäkningsmetoder	7
2.4.1. U-värdesberäkning	7
2.4.2. Energibalans.....	8
2.4.3. Yta/Volym-förhållande	10
2.5. Klimatskal	11
2.5.1. Tak	11
2.5.2. Platta.....	11
2.5.3. Väggar	12
2.5.4. Köldbryggor	13
2.5.5. Fönster.....	13
2.5.6. Energifönster	14
2.6. Värmesystem.....	14
2.6.1. Fjärrvärme	14
2.6.2. Värmepumpar.....	15
2.7. Ventilationssystem	16
2.7.1. Självdragsystem	16
2.7.2. Frånluftssystem.....	17
2.7.3. Från- och tilluftssystem med värmeväxling	17
2.8. Ekonomiska termer	18
2.8.1. LCC-beräkningar	18
2.8.2. Nuvärdemetoden	18
2.8.3. Kalkylränta.....	18
2.9. Datorprogram	19
2.9.1. BV ²	19
2.9.2. Wikells Sektionsdata 3.6.....	19

2.9.3.	LCC-mall	19
3.	Västra Eriksberg	21
3.1.	Områdesbeskrivning	21
3.2.	Husbeskrivning	22
3.2.1.	Skivhuset	22
3.2.2.	Punkthuset	23
3.2.3.	Radhuset	23
3.3.	Väggar	23
3.4.	Yta/Volym-värden för husen	26
3.5.	Internvärme	26
3.6.	U-värdesberäkning	26
3.7.	Ventilationssystem	27
3.7.1.	LCC-beräkning för ventilationssystem	27
3.7.2.	Frånluftsystem	27
3.7.3.	FTX-system (Centralt)	27
3.7.4.	FTX-system (Lägenhet)	28
3.7.5.	Jämförelse av de olika ventilationssystemen	28
3.8.	Värmesystem	29
3.8.1.	LCC-beräkning för värmesystem	29
3.8.2.	Fjärrvärmesystem	29
3.8.3.	Värmepump	30
3.8.3.1.	Bergvärme	30
3.8.3.2.	Älvvärme	30
3.8.4.	Radiatorsystem	30
3.8.5.	Luftvärme	30
3.9.	Allmänna parametrar	31
3.9.1.	Intern värmegenerering	31
3.9.2.	U-värden för väggarna	32
3.9.3.	Ekonomiska förutsättningar	32
3.9.4.	FTX-system	32
3.9.5.	F-system	32
3.9.6.	Fjärrvärme	32
3.9.7.	Värmepump	32
3.9.8.	Bergvärme	33
3.9.9.	Älvvärme	33
3.10.	Parametrar för varje hus	33
3.10.1.	Skivhuset	33
3.10.2.	Punkthuset	33
3.10.3.	Radhuset	34
4.	Resultat	35
4.1.	Skivhuset	35
4.1.1.	Energiberäkning	35
4.1.2.	Väggkostnadsberäkning	35
4.1.3.	LCC-beräkning	36
4.1.3.1.	F-system	36
4.1.3.2.	FTX-system centralt	36
4.1.3.3.	FTX-system lägenhet	37

4.1.3.4.	Sammanlagd ventilationskostnad.....	37
4.1.3.5.	Värmesystem.....	37
4.1.3.6.	Sammanlagt resultat för ventilation och värme	38
4.2.	Punkthuset.....	40
4.2.1.	Energiberäkning	40
4.2.2.	Väggkostnadsberäkning	40
4.2.3.	LCC-beräkning.....	41
4.2.3.1.	F-system	41
4.2.3.2.	FTX-system centralt.....	41
4.2.3.3.	FTX-system lägenhet	42
4.2.3.4.	Sammanlagd ventilationskostnad.....	42
4.2.3.5.	Värmesystem.....	42
4.2.3.6.	Sammanlagt resultat för ventilation och värme	43
4.3.	Beräkningar Radhuset.....	45
4.3.1.	Energiberäkning	45
4.3.2.	Väggkostnadsberäkning	45
4.3.3.	LCC-beräkning.....	46
4.3.3.1.	F-system	46
4.3.3.2.	FTX-system centralt.....	46
4.3.3.3.	FTX-system lägenhet	47
4.3.3.4.	Sammanlagd ventilationskostnad.....	47
4.3.3.5.	Värmesystem.....	47
4.3.3.6.	Sammanlagt resultat för ventilation och värme	48
4.4.	Jämförelse av total LCC.....	50
5.	Avslutning.....	52
5.1.	Slutdiskussion	52
6.	Referenser	54
6.1.	Litteratur.....	54
6.2.	Elektroniska källor	55
6.3.	Muntliga källor.....	55

Bilagor

Bilaga 1	Kostnads kalkyl V ägg
Bilaga 2	Kostnads kalkyl Ventilation
Bilaga 3	Kostnads kalkyl Värme
Bilaga 4	Kostnads kalkyl Radiatorsystem
Bilaga 5	LCC-sammanställning
Bilaga 6	Effekter och energier

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Göteborgs kommunala utvecklingsbolag Norra älvstranden utveckling AB planerar för närvarande att bygga ut norra älvstranden i Göteborg med ett nytt bostadsområde i Västra Eriksberg. Detta område kommer att omfatta 200 000 m² som innehåller 1750 bostäder och lokaler. Detaljplanen för detta område är inte ännu fastställd av kommunen som ger utrymme för påverkan. Norra Älvstranden AB är med i ByggaBoDialogen, vilket är ett samarbete mellan näringsliv och regering för att främja den hållbara utvecklingen i byggbranschen. En av de viktiga delarna i denna dialog är effektiv energianvändning med 85 kWh/ m² och år i uppvärmning som mål.

1.2. Syfte

Syftet med detta arbete är att främja och visa på att det även i byggsektorn går att ha ett långsiktigt tänkande. För att nå den optimala kombinationen av välisolerade klimatskal och värmeenergisystem används LCC-studier. Målet med beräkningarna är att optimera klimatskalet så att ett traditionellt värmesystem kan utelämnas.

1.3. Metod

Arbetet kommer att genomföras med LCC-beräkningar av olika klimatskal, ventilationssystem samt värmesystem. I beräkningarna kommer såväl byggkostnader som investerings- och energikostnader att beaktas. För att ta fram byggnadernas totala värmeenergibehov kommer energiberäkningsprogrammet BV² användas. Datorprogrammet Sektionsdata kommer att användas för att beräkna byggdelskostnader. En litteraturstudie har genomförts på Chalmers bibliotek och på Internet innan rapporten påbörjades.

1.4. Avgränsningar

Målet är att ge Norra älvstranden ett underlag till byggnadstekniska lösningar och val av värmesystem, innan vidare projektering av området görs. Tyngdpunkten kommer att ligga på att uppnå låga LCC för tre utvalda typhus i området. Det kommer inte att redovisas kompletta kostnader för husen utan endast kostnaden för de parametrar som ändras mellan de olika alternativen.

2. Energioptimering av bostäder

2.1. Energisnålt byggande

Byggandet och byggnaderna står för en stor del av vårt energibehov och spelar därför en stor roll för vår miljö, vår ekonomi och vår framtid. För att minska energiåtgången så måste byggbranschen börja leta efter möjligheter att minska energianvändningen. underlag

2.1.1. Energisnåla hus

Ett passivt hus är ett hus som skall klara sig utan konventionell uppvärmning så som t.ex. radiatorer och golvvärme. Detta kan ske genom ett väl isolerat klimatskal som även är mycket tätt för att slippa ofrivillig ventilation. Den värmeenergi som tillförs är endast solinstrålning och internvärme från personer och maskiner. För att inte gå miste om den uppvärmda luften så kan husen använda sig av ett FTX-system där inkommande luft värms av utgående. Den enda energi som ska gå in i huset ska driva apparater, lampor mm.

Anledningarna till att bygga passiva hus är framför allt två stycken. Den första är en ren ekonomisk aspekt då energin är dyr och troligtvis kommer att kosta mer i framtiden och den andra är en miljömässig eftersom en minskad energiåtgång sparar miljön.

Passiva hus finns redan i dag på flera ställen i Sverige och runt om i Europa. Ett föregångsland inom detta område är Tyskland som har byggt ca 9000 bostäder med denna teknik. I Sverige finns det ett exempel i Lindås utanför Göteborg

De hus som finns i Lindås fungerar bra vilket det går att läsa mer om i kap 2.2.2. Det problem som kan uppstå är att husen har svårt att hålla temperaturen uppe vid köldknäppar. Detta problem kan dock enkelt lösas eftersom det är ytterst lite värme som behöver tillföras. Värmen kan tillföras genom en mycket liten el-radiator eller genom ett värmebatteri i FTX-systemet.

Under de senaste 15 åren har nybyggda bostadshus inte förbättrats när det gäller energiförbrukning. Det har dock gjorts försök med att bygga hus som är helt självförsörjande med energi. En mindre sänkning av energiförbrukningen i alla nybyggda bostadshus skulle ge både en ekonomisk och miljömässig vinst.

2.2. Projekt med energisnåla hus

På några ställen i Sverige har projekt genomförts med vision att sänka energiförbrukningen för bostadshus. De tre mest framstående försöken beskrivs i detta kapitel.

2.2.1. Bo01

I Västra hamnen i Malmö uppfördes 2001 bostadsområdet Bo01. Visionen med området var att bygga en hållbar stadsdel. För att detta verkligen skulle genomföras togs ett kvalitetsprogram fram av Malmö stad i samarbete med byggherrarna och Bo01.

Programmet omfattar bland annat ett avsnitt som avser energianvändningen i området. Behovet av uppvärmning och el skulle minimeras med hjälp av byggnadernas utformning. I kvalitetskraven står det att den genomsnittliga energiförbrukningen inte ska överstiga 105 kWh/(m²BRA, år) med bibehållen god komfort. BRA står för bruksarea, alltså den area som omsluts av klimatskalets insida. Området ska också vara självförsörjande på energi, undantaget biogas och vindkraft.

Efter att ha mätt energiförbrukningen i husen under ett år har det gjorts flera utvärderingar för att se om kvalitetskraven har kunnat hållas. Samtidigt som området projekterades gjorde respektive byggherre energiberäkningar för att få fram ett uppskattat energibehov för varje hus. Fjärrvärmeanvändningen normaliserades för att kunna jämföra uppmätta värden med de beräknade värdena. Utvärderingarna visade att byggnaderna inte klarade av kravet på 105 kWh/(m²BRA, år) utan låg ganska mycket över det i energiförbrukning. I de hus som hade värmeåtervinning installerat låg snittet på 127 kWh/(m²BRA, år) och i husen utan värmeåtervinning låg genomsnittet på 186 kWh/(m²BRA, år).

Det visades sig att det fanns många olika orsaker till att skillnaderna mellan beräknade och uppmätta värden blev så stora. En av orsakerna var att det beräkningsprogram (Enorm) som byggherrarna använde sig av räknar med för mycket tillskottsenergi i form av solinstrålning och intern värmegenerering. Orsaken till det är att de inte går att tillgodoräkna sig all ”gratis” energi är att det kan resultera i övertemperaturer som ventileras bort. Det är också svårt att uppskatta den interna värmegenereringen som finns. Dessa värden togs från en undersökning gjord 1972-1984 och kan vara inaktuella i dagens boende.

När det gäller köldbryggor så hade bara ett fåtal byggherrar tagit med dem i sina beräkningar. Köldbryggor anses stå för upp till 20-30 % av transmissionsförlusterna i en byggnad och är således viktiga att ha med i beräkningarna.

Många av byggherrarna hade antagit och räknat med en innetemperatur på 20°C. Efter mätningar visade sig innetemperaturen vara upp mot 22°C. Denna tvågradiga höjning ger en kraftig ökning av energiförbrukningen.

En annan sak som studerats är hur komforten i husen upplevts. Detta gjordes genom en enkät som de boende fick fylla i. Kravet i programmet var att husen inte fick bli så energisnåla att komforten försämrades. Resultaten visade dock att det fanns problem med komforten trots att värmeenergiförbrukningen var ganska hög. (Nilsson, A. 2004)

2.2.2. Lindås

I Lindås 20 kilometer söder om Göteborg har Egnahemsbolaget byggt 20 radhus, där de har satsat på att utforma husen för att minimera energiförbrukningen. Radhusen är resultatet av flera års forskning på en rad olika högskolor och institut.

Husen är baserade på traditionella material och installationer och bygger på extra isolering, mycket bra fönster och värmeåtervinning av frånluften. Husen har inget traditionellt värmesystem med radiatorer utan har endast ett FTX-system installerat. Tilluften värms i en värmeväxlare av frånluften, med en verkningsgrad på 85 %. Resten av värmebehovet ska täckas av den interna värmegenereringen som kommer från personer, maskiner och belysning. Med hjälp av solfångare på taket kan en tredjedel av tappvarmvattnet värmas upp.

För att kunna uppnå så låg energiförbrukning krävdes noggrannhet vid byggnationen. Husen är mycket täta och har mer isolering i de olika byggdelen än ett vanligt hus. Lufttäteten har vid provtryckning på ± 50 pascal uppmätts till 0,4 oms/h. Tabell 2:1 visar U-värden för de olika byggdelen.

Tabell 2:1. U-värden för byggdelen i Lindåshusen. (Egnahemsbolaget 2003)

Byggdelen	U-värde
Yttervägg	0,10 W/m ² K
Regelvägg med 43 cm isolering	
Yttertak	0,08 W/m ² K
Masonitebalkar med 48 cm isolering	
Golv	0,09 W/m ² K
Betongplatta med 25 cm isolering	
Fönster	0,85 W/m ² K
Treglasfönster med kryptonfyllning	

Under projekteringen beräknades att summan av energiförbrukningen skulle hamna på 5400 kWh under ett normalår om det bor fyra personer i huset och om innetemperaturen är 20°C. Efter mätningar gjorda i området så blev inte förbrukning riktigt så låg. De flesta hushållen låg runt 7000 kWh per år. Anledningen till det kan vara att i en del hus bodde det bara 2 personer och att vissa använde fler apparater än beräknat. Årsförbrukningen kan jämföras med 13 500 kWh för ett konventionellt radhus och 20 000 kWh för en villa med lika stor yta som husen i Lindås.

En nackdel med dessa hus är att när de boende är bortresta under en längre tid krävs någon form av system för att kompensera bortfallet av internvärme. I Lindås har de löst det med en eftervärmare i ventilationssystemet. Kanske inte det mest energieffektiva sättet eftersom det saknas enskild rumsfördelning av varmluften. Varmluften kan inte ledas till ett speciellt utrymme där det är lite kallare utan går ut över hela systemet. På så sätt kan det bli för varmt i vissa utrymmen. (Egnahemsbolaget. 2003)

2.2.3. Glumslöv

Landskronahem slutförde under 2004 ett projekt med 35 bostäder i Glumslöv på den skånska västkusten. Husen ska vara självuppvärmda som husen i Lindås.

Bostäderna är byggda som en- och tvåplans radhus och har en trästomme som står på en platta på mark. De enda värmekällorna i husen är personerna som bor där och all teknisk apparatur. Ventilationen består av ett FTX-system som har en återvinningsgrad på 85 % av frånluften. 2000 – 4000 kWh/år beräknas komma från den interna värmegenereringen beroende på hur många som bor i husen.

Klimatskalet är mycket väl isolerat med 45 centimeter mineralull uppdelat på fyra lager i ytterväggarna. Under betongplattan ligger det 35 centimeter cellplast-isolering och i taket finns det ett 55 centimeter tjockt lager med lösull. Fönstren är av 3-glas typ med låg-emissionsskikt och med ädelgas. Lufttätheten är beräknad att vara 5-8 gånger bättre än i ett konventionellt hus. För att få så tätt har alla rör som skulle ha gått igenom ytterväggen dragits ner i betongplattan. Överlappen i tätskikten har även klistrats för att minska läckaget.

Även husen i Glumslöv har haft problem med för låg innetemperatur under de kalla vintermånaderna. Landskronahem har registrerat så låga temperaturer som 15,1°C. (Bengtsson, U. 2004)

2.3. Energianvändning

Det moderna samhället är mycket beroende av energi för att allt skall fungera. Industrin, transport och bostäder är de sektorer som använder mest. 2002 var den totala svenska energitillförseln 616 TWh, hela 25 % eller 154 TWh gick till bostäder och service. Den energi som används i Sverige är till ungefär en tredjedel fossilt bränsle vilket medför att om energiförbrukningen minskar i bostäderna så minskar miljöpåverkan drastiskt. (www.stem.se)

2.3.1. Energiförbrukning i bostäder

Energianvändningen i bostäder och lokaler har legat på i stort sett på samma nivå de senaste åren. Enligt Tabell 2:2 så ligger dagens energi som går till uppvärmning betydligt högre än vad ByggaBoDialogen har som krav. Tabellen 2:2 visar även på en marginell minskning av energiförbrukning i flerbostadshus. Den större minskningen år 2002 förklaras av att det var ett ovanligt varmt år och därmed mindre värmebehov.

Tabell 2:2 Genomsnittlig energianvändning för uppvärmning i småhus, flerbostadshus och lokaler åren 2001-2003, kWh/m². www.skogsvardsstyrelsen.se

År	Småhus			Flerbostadshus			Lokaler		
	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003
Genomsnittlig energianvändning	152	152	141	175	166	171	151	148	145

En genomsnittlig lägenhet i ett flerbostadshus förbrukar totalt cirka 12 000 kWh per år. Denna energiförbrukning fördelar sig på tre stora poster som är uppvärmning 54 %, varmvatten 21 % och hushållsel på 21 %. De resterande fyra procenten går till tork och tvätt samt till hushållsmaskiner. (www.graninge.se)

Det kanske svåraste med att sänka energiförbrukningen är att i Sverige är vi vana vid en viss standard, vilket syns tydligt på el- och varmvattenförbrukningen. När varmvattenkonsumtionen inte syns på räkningen är det lättare att slösa. Det åtgärdas nu på senare tid genom separat mätning och betalning för varmvattnet. Resultatet visar att en sänkning av energiförbrukningen är möjlig genom ändrade vanor.

2.3.2. ByggaBoDialogen

Våren 2003 startades en dialog mellan företag, kommuner och regering som skall främja ett energisnålt och långsiktigt byggande i Sverige, vilken fick namnet ByggaBoDialogen.

Dialogens huvudkrav är att verka för en hållbar utveckling inom bygg- och fastighetssektorn sett till byggnadens hela livslängd. Det har även ställts mycket hårda krav på energiförbrukning i bostäder, kravet för nybyggnation av bostäder 2005 är att endast förbruka 85 kWh/m² och år i värme samt 35 kWh/m² och år i el.

Sedan starten har totalt 37 olika aktörer skrivit under dialogen. Det är emellertid många av dessa som inte har skrivit under allt utan avsagt sig flera stora och viktiga bitar. Om företag inte uppfyller de åtagande som de har så finns det inget vite eller böter. (Boverket 2003)

Denna rapport kommer att utgå ifrån ByggaBoDialogens krav på 85 kWh/m² och år för värmeförbrukning i de olika typhusen.

2.3.3. Energiutveckling

Det blir bara dyrare och dyrare med energi, samtidigt så görs det av med mer och mer energi för varje år. Att priserna hela tiden stiger kommer att leda till och har redan lett till att marknaden försöker söka efter energisnålare alternativ. Elpriset har under tiden 1997 till 2005 stigit med mellan 54 och 39 % (www.stem.se). Variationen på stigningen beror på att priset styrs av mängden köpt energi. Det är mycket troligt att priset på el kommer att fortsätta att stiga, vilket gör åtgärder ännu mer aktuella. Enligt Diagram 2:1 så har kostnaden på el, olja och fjärrvärme stigit ganska kraftigt under de senaste åren, vilket tyder på att det kommer att bli dyrare med energi oavsett vilken energikälla som väljs.

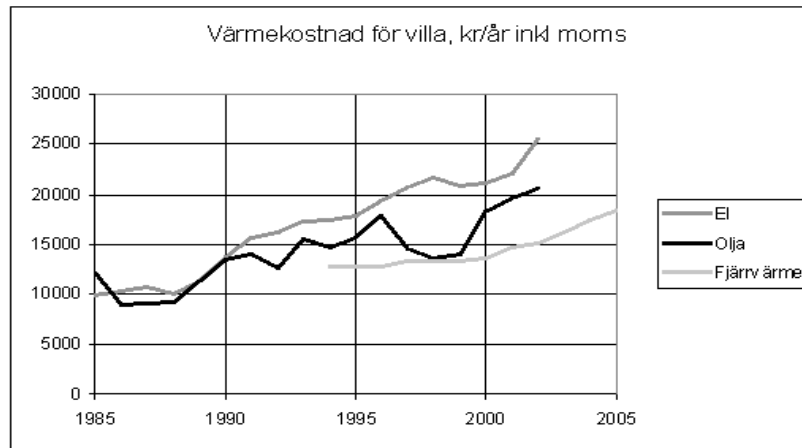


Diagram 2:1. Utveckling av värmekostnad för villor, energiläget i siffror 2003
(www.kristinehamnsenergi.se)

2.4. Energiberäkningsmetoder

I de följande kapitlen behandlas byggnadsfysiska beräkningar. De vanligaste formlerna och begreppen redovisas.

2.4.1. U-värdesberäkning

Värmeledning/värmeledning/koefficient är ett materialvärde som vanligen betecknas med den grekiska bokstaven λ . Värmeledningsförmågan beskriver den mängd värme som går genom en kubikmeter av ett material per sekund då temperaturskillnaden är en grad och har enheten [W/mK]. Detta λ -värde används för att få materialets värmemotstånd genom formel 2:1.

$$R = d / \lambda \quad [\text{m}^2\text{K/W}, \text{m}^2\text{°C/W}] \quad \text{Formel 2:1}$$

Vid beräkning av hur mycket värme Q som försvinner ut genom en konstruktionsdel så används de olika byggdelenas värmemotstånd R_{tot} . Detta R_{tot} fås genom att summera alla de olika materialens R -värde i byggdelen. Vid beräkning av en vägg så tas gipsens R -värde och summeras med isoleringens och så vidare genom hela väggen. För att göra R_{tot} fullständigt så adderas även ett inre och ett yttre värmeövergångsmotstånd (R_{se} och R_{si}). R_{tot} används för att få värmeväxlingskoefficienten q genom formel 2:2 där T_1 är inomhustemperaturen och T_2 är utomhustemperaturen.

$$q = (T_1 - T_2) / R \quad [\text{W/m}^2] \quad \text{Formel 2:2}$$

R_{tot} används även för att få värmegenomgångskoefficienten även kallat U -värdet. U -värdet fås genom att ta inversen av R (formel 2:3). U -värdet är det som vanligen används för att beskriva hur bra isolationsförmåga en detalj/material har. Fönstertillverkarna anger hur bra ett fönster är genom att visa vilket U -värde fönstren har. Det går att räkna U -värde på varje byggmaterial för sig men det som är det intressanta är det totala för hela byggdelen. Ett lågt U -värde pekar på att materialet har god isolationsförmåga.

$$U = 1/R \quad [W/m^2K, W/m^2C] \quad \text{Formel 2:3}$$

Enligt Boverkets Byggregler 94:3 finns det ett krav på högsta tillåtna genomsnittliga värmegenomgångskoefficient $U_{m,krav}$. För att beräkna denna nivå enligt formel 2:4 så behövs A_f som är sammanlagd area (m^2) för fönster, dörrar, portar och dylikt. A_{om} är sammanlagd area (m^2) för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft. A_f får dock vara högst 18 % av den uppvärmda golvarean, om den är högre så används 18 %.

$$U_{m,krav} \text{ för bostäder} = 0,18 + 0,95 A_f/A_{om} \quad [W/m^2K, W/m^2C] \quad \text{Formel 2:4}$$

För att beräkna U_m för hela huset multipliceras de olika byggdelenas U -värde med dess andel av det totala klimatskalet, vilket blir en summa som ska vara mindre än $U_{m,krav}$. Enligt Annika Nilsson (2004) får denna summa överskridas med 30 % om ytterligare energibesparande åtgärder kan påvisas. Slutligen fås Q genom formel 2:5 där A är area i m^2 , oftast konstruktionsdelens men kan även vara exempelvis per m^2 . Detta ger det totala värmeflödet genom just den delen. Det är dock ett måste att delen är konstruerad på samma sätt på hela arean annars blir det ett felaktigt värde. (Pettersson, B-Å 2001)

$$Q = qA \quad [W] \quad \text{Formel 2:5}$$

För att beräkna U -värdet i detta projekt så har vi använt datorprogrammet BV2.

2.4.2. Energibalans

När energiåtgången skall beräknas i en byggnad görs detta genom en så kallad energibalans. Här balanseras tillförd energi med den bortförda, den energi som försvinner från byggnaden måste tillföras på något sätt och det är oftast kostsamt. I dessa beräkningar så används Q som är värmemängd (Wh) och $Q_{tillfört}$ skall vara i balans med $Q_{bortfört}$.

Den tillförda värmemängden kommer till största delen från den värmekälla som finns i huset ($Q_{värmekälla}$), hit räknas även internvärme (Q_{intern}) och solinstrålning (Q_{sol}). Den interna värmen består av två olika komponenter, dels kommer den från de personer och djur som vistas i huset samt från belysning och maskiner som inte har till uppgift att värma men gör det ändå. Bengt-Åke Pettersson skriver i Tillämpad Byggfysik att en person i vila alstrar 100 Watt i vila och upp till 600 Watt vid hårt arbete. När de gäller solinstrålning så är detta så kallad "gratis energi". Solen sprider sitt solljus in genom fönster och gör det varmt i byggnaden. Varför den värmen inte kan kallas gratis är på grund av att den oftast måste skärmis eller kylas bort. Det gäller även internvärmen. Detta fenomen kallas övertemperatur. Solinstrålning och internvärme är mycket svåra att beräkna eftersom de är beroende på yttre omständigheter.

När det gäller den lagrade värmen (Q_{lagrat}) så är även denna mycket besvärlig att beräkna för det är många olika parametrar som styr, som till exempel tyngd på

stommen och dess lagringsförmåga. Dessa ovanstående tre värmemängder är inte tillräckliga för att skapa balans i ekvationen utan det behövs en fjärde ($Q_{\text{värmekälla}}$). Till denna del räknas alla installationer som alstrar värme på ett mekaniskt eller kemiskt sätt, som till exempel olje- eller bergvärme. Den tillförda värmemängden är en summa av all dessa delar enligt formeln 2:6 nedan.

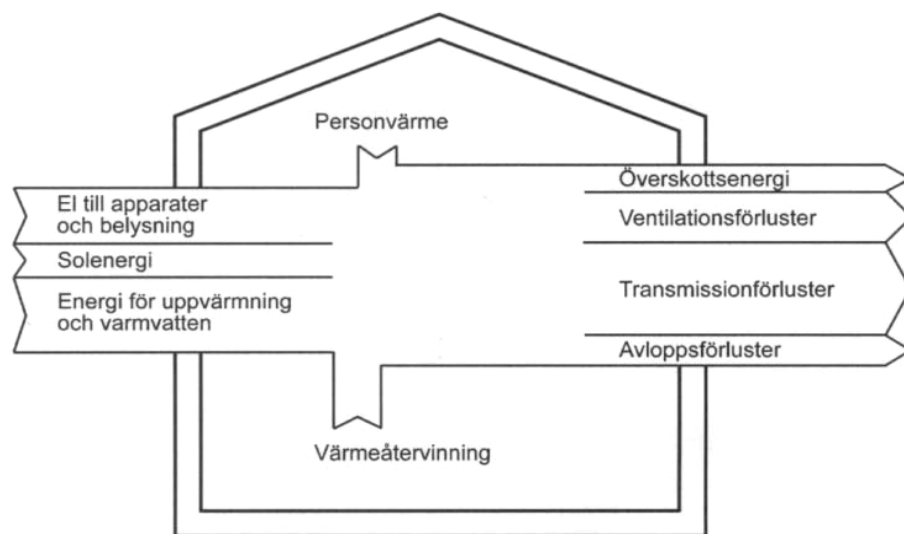
$$Q_{\text{tillfört}} = Q_{\text{värmekälla}} + Q_{\text{sol}} + Q_{\text{lagrat}} + Q_{\text{intern}} \text{ [Wh]} \text{ Formel 2:6}$$

Den bortförda värmen är en summa av transmission (Q_{trans}), ventilation (Q_{vent}), ofrivillig ventilation eller läckage ($Q_{\text{läckage}}$) och avlopp (Q_{avlopp}). Transmissionsförluster är den värme som går genom klimatskalet och det som är den drivande kraften är temperaturskillnaden mellan ute och inne. Det som gör den optimal är skalets värmegenomgångskoefficient (U-värde, se kapitel 2.5.1). Eftersom lokaler och hus måste ventileras så försvinner självklart värme ut med den varma luften och kyla kommer in med den kalla. Det går självklart att minimera denna förlust genom vissa åtgärder som exempelvis olika typer av återvinning. När det gäller Q_{avlopp} så är det helt enkelt det varma vattnet som spolas ut i avloppet, vilket ger en värmeförlust. Denna förlust är mycket behovsstyrd och varierar över dygnet vilket gör förlusten svår att beräkna. Den sista delen av $Q_{\text{bortfört}}$ är $Q_{\text{läckage}}$ vilken består av varmluft som sipprar genom håligheter i klimatskalet. Läckaget av värme är kanske en av de viktigaste sakerna att göra något åt för att minska energiförbrukningen i en byggnad. Ekvationen för den bortförda värmen kan skrivas som nedan. (Pettersson, B-Å. 2001)

$$Q_{\text{bortfört}} = Q_{\text{trans}} + Q_{\text{vent}} + Q_{\text{läckage}} + Q_{\text{avlopp}} \text{ [Wh]} \text{ Formel 2:7}$$

Om de två formlerna 2:6 och 2:7 sätts samman till en balans så blir resultatet enligt formel 2:8. Q_{avlopp} och Q_{lagrat} finns inte med i formel 2:8 på grund av att siffrorna skulle innehålla allt för många antagande.

$$Q_{\text{värmekälla}} + Q_{\text{sol}} + Q_{\text{intern}} = Q_{\text{trans}} + Q_{\text{vent}} + Q_{\text{läckage}} \text{ [Wh]} \text{ Formel 2:8}$$



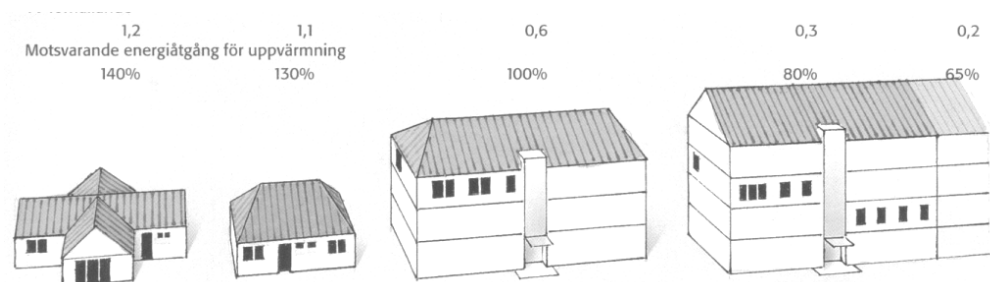
Figur 2:2. Energibalans (Nilsson, A.2004)

Det är oftast den tillförda energin som söks eftersom den måste skickas in i huset på ett eller annat sätt. Det är även denna energi som är en stor kostnad i driftskedet av byggnader. För att göra balansen fullständig (se figur 2:2) så kan även Q_{apparat} läggas in i beräkningen. Denna post består av den el som går åt att driva lampor och apparatur i huset. Viss del av denna energi kommer tillgodo eftersom den blir till värme. Q_{apparat} kommer endast delvis vara med i rapporten. I beräkningarna kommer den energi som fläktar och pumpar förbrukar medräknas, men inte den el som den övriga apparaturen förbrukar. Dock kommer värmen från alla maskiner att räknas med. Den slutliga formeln som vi kommer att använda är enligt formel 2:9, där vissa delar är borttagna för att underlätta. (Pettersson, B-Å 2001)

$$Q_{\text{värmekälla}} = Q_{\text{trans}} + Q_{\text{vent}} + Q_{\text{läckage}} + Q_{\text{avlopp}} - Q_{\text{sol}} \text{ [Wh]} \text{ Formel 2:9}$$

2.4.3. Yta/Volym-förhållande

Förhållandet mellan yta och volym så kallat YV-förhållande är enligt Thomas Schmitz-Günther en viktig del som måste tas stor hänsyn till när det gäller att bygga energisnålt. Att det är viktigt med förhållandet mellan omslutningsyta och volym kan enkelt visas genom att föreställa sig flera hus med olika utseendet (figur 2:3). Ett hus görs med många vinklar, ett annat kompakt med en våning och ett tredje i flera våningar.



Figur 2:3. Yta/Volym-förhållande för olika utseende på hus. Samt hur mycket energi de drar i förhållande till varandra. (Schmitz-Günter, T. 2000)

Det första får då en mycket stor vägg och takyta på grund av sina smala husdelar som gör att YV-förhållandet blir kanske orimligt högt. Vidare så får ett kompakt hus ett lägre YV-värde på grund av den mindre väggytan. Men om det istället byggs på höjden så minskar förhållandet avsevärt. Nu blir takets och plattans yta mycket mindre vilket medför att YV-förhållandet minskar. Om detta förhållande skulle vara det enda som styrde så skulle husen byggas halvklotformat som en igloo, eftersom dessa har låga YV-värde. Det är dock mycket annat som exempelvis arkitektur och funktion som styr byggnaders utseende. YV-förhållandet bör spela en stor roll vid projekteringen av lågenergihus, eftersom ett trevåningshus har 40 % mindre yta än ett vinklat enplanshus med samma volym. Det minskade YV-värdet leder till minskade energiförluster om konstruktionerna är de samma. Detta visas även i figur 2:3 ovan som energiåtgång för uppvärmning. (Schmitz-Günter, T. 2000)

2.5. Klimatskal

Klimatskal är de delar på ett hus som skyddar mot den omgivande miljön som skall skyddas mot väder och vind men även mot ljud, dofter och från annan yttre påverkan. Klimatskalet består av alla delar som avskärmar den yttre omgivningen från den inre som: tak, platta, fönster, dörrar och väggar. Ett modernt klimatskal innehåller så mycket mer än vad det egentligen måste, det består av mycket detaljer och utsmyckningar. Om endast de viktiga delarna skall väljas så kan en liknelse dras till en vanlig koja, där finns de viktiga delarna som skydd mot vatten, vind, och kyla. Dessa tre delar är även idag de som är de dominerande funktionerna när det skall byggas en bra och beständig byggnad.

Vind- och vattentäthet har utvecklats mycket och kan inte göras på så många olika sätt. Fasadmateriel och underliggande material väljs utifrån ekonomi, design och funktion. När det gäller isoleringsförmågan så är det helt omvänt. Denna del är mycket komplicerad och det finns en mängd alternativ att ta hänsyn till. Det finns självklart lagar som måste följas men det är ekonomin som i slutändan styr hur klimatskalet skall utformas.

2.5.1. Tak

Taket är av stor betydelse när det gäller att få en välisolerad byggnad eftersom värmen stiger och lätt går ut genom taket. Om det inte skulle vara ett välisolerat i tak skulle detta vara som att gå utan mössa när det är kallt, då stor del av värmeförlusterna skulle försvinna den vägen. När det gäller isolationsförmågan i taket så är detta viktigare när det gäller mindre hus. I en villa så utgör taket en stor del av det totala klimatskalet, medan i ett större och framförallt ett högre hus med fler våningar så blir taket en mindre del av klimatskalet och minskar därmed i betydelse.

Isolation av tak kan ske på två huvudsätt, kall- och varmtak. Kalltak är kanske det vanligaste när det gäller villor och då är den vanligaste varianten sadeltak, där isoleringen ligger på vinden ovanpå underliggande vånings innertak. Detta medför att vindsutrymmet mellan vindsbjälklag och yttertak blir kallt eftersom värmen hålls kvar och inte sipprar ut genom isoleringen. Den andra typen av tak är det så kallade varmtaket som är vanligare vid större byggnader som till exempel lagerhallar. Konstruktion innebär att taket inte är ventilerat. Det gör att taket blir varmt då det läcker ut lite energi i form av värme genom isoleringen.

Generellt så är det mycket vanligt att det läggs mycket isolering i takkonstruktionen för att nå BBR's regler på U_m -värdet. Taket är vanligen det ställe det är billigast och minst komplicerat att isolera lite extra. Detta innebär att U -värdet på resterande klimatskalsdelar kan hållas lägre och därmed minska investeringskostnaden på de byggdelarna.

2.5.2. Platta

När det gäller plattan så är den en viktigare del när det handlar om mindre hus och villor, men när det gäller ett större hus så blir betydelsen mindre. Det som kan

vara lite svårt när det gäller just plattan och dess isolering är att den har kontakt mot marken. Eftersom marken alltid har en viss fuktighet och det även kan finnas fritt vatten som kan tryckas in i konstruktionen så är inte bara isolationen viktig men även fuktskyddet.

När det gäller att isolera källare eller platta på mark går det inte isolera hur mycket och på vilket sätt som helst. Om plattan ligger ytligare än tjälfrött djup så får inte plattan isoleras mer än att det kommer sippra ut värme genom isoleringen så att det inte fryser under den. Detta enbart för att slippa problem med tjälskador. När det gäller större hus är detta oftast inget problem eftersom de oftast grundläggs på tjälfrött djup.

2.5.3. Väggar

Till skillnad från tak och platta så ökar väggarnas del av klimatskalet när huset blir högre och större, vilket gör denna del till den viktigare när det gäller isolation. Det finns dock en gräns hur mycket isolering det går att sätta in i en vägg. Till slut blir väggen för tjock och otymplig i flera aspekter. Självklart så är det inte bara tjockleken som spelar roll utan materialens U-värde.

En sak som gäller alla byggdelar i klimatskalet är att de måste vara i stort sett lufttäta. Om inte klimatskalet är lufttätt så försvinner mycket av värmen ut med det läckage som uppstår. Det skikt som skall hålla lufttätt är oftast diffusionsspärren, den skall även hindra den fuktiga inomhusluften att vandra ut genom väggen. För att bibehålla diffusionsspärren hel läggs spärren en bit in i isoleringen. På så sätt behöver inte all el- och vvs-dragningspenetrera plasten och det blir ett tätare hus. Detta görs på många av de hus som byggs idag, men det är på kvaliteten det brister. Uppsättning av plasten och tätning av genomgångar är två av de ställen där förbättringar behövs. Det finns motståndare till att göra hus så täta som möjligt. De höjer ett varningens finger för att det kan bli fuktskador i konstruktionen på grund av att den fuktiga inomhusluften inte har någon annan stans att ta vägen än ut genom väggen. Det finns dock de som hävdar att detta problem går att avstyra med hjälp av en styrd ventilation som redan finns i många bostäder redan idag i form av F- och FTX-system.

I de moderna byggnationerna så finns det två huvudtyper av stommar, den tunga och lätta stommen. Dessa två typer har båda sina för- och nackdelar men i denna rapport kommer vi bara att behandla de energimässiga egenskaperna. Det är nämligen så att en tung stomme lagrar värme och kyla, det är som en massiv gammal stenkyrka som nästan alltid har samma inomhusklimat. Den tunga stommen har en viss inbyggd tröghet, vilket innebär att temperaturförändringarna blir långsammare och inte fluktuerar lika mycket. Den lätta stommen som ofta byggs i trä får ett mer instabilt klimat som lättare förändras. De lätta konstruktionerna har inte samma inbyggda tröghet som de tunga konstruktionerna.

Det är självklart inte endast dessa två rena typer som finns, oftast kombineras de två ihop. En tung bärande stomme kombineras oftast med en lättare utfackningsvägg och blir då en medeltung eller en tung konstruktion.

2.5.4. Köldbryggor

För att få ett så energisnålt hus som möjligt måste köldbryggor av alla de slag minimeras. En köldbrygga är en passage genom klimatskalet där energitransport kan ske obehindrat utan att avbrytas av någon form av isoleringsmaterial, exempelvis när en regel går rakt igenom en vägg och det blir ett avbrott i isoleringen. En vanlig köldbrygga är när en balkong är en direkt förlängning av bjälklaget, vilket medför att det försvinner mycket energi genom golvet vidare ut till balkongen. Detta känner de boende bland annat genom att det blir kallt på golvet innanför balkongen.

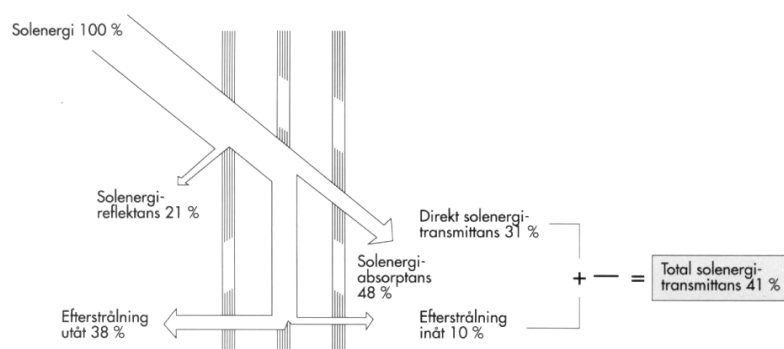
Det som är viktigt när det gäller att förebygga köldbryggor är att utföra isoleringen med stor noggrannhet men framför allt göra klimatskalet utan genomgående delar. Detta förhindras idag genom att det används flera lager isolering utan genomgående regler och med förskjutna skarvar.

2.5.5. Fönster

Fönster är en av de delar i klimatskalet som spelar en stor roll när det gäller att trivas i bostaden. Fönstren har ett värde för de boende som inte enbart går att räkna ekonomiskt eller energimässigt på, eftersom de släpper in dagsljus och ger en kontakt med omvärlden.

Fönster har varit upphov till stora energiförluster, med dåliga U-värden i de klassiska en- och tvåglasfönstren som även orsakade kallras och kondens. Med stigande energipris steg efterfrågan på energisnåla fönster och utvecklingen gick mot betydligt bättre fönster. Idag är det inte ovanligt med treglasfönster med isolerglas.

Solfaktor eller ljustransmittans är ett tal mellan 1 och 0 som beskriver hur mycket av solljuset som kommer igenom till insidan av fönstret. En stor del av ljuset reflekteras bort på utsidan av fönstret, ett öppet fönster får faktorn 1. Det sker även stora förluster genom att rutorna absorberar energin, som senare ges tillbaka i form av efterstrålning. Den största delen av efterstrålningen sker dock utåt och inte inåt, vilket inverkar negativt på solfaktortalet. Figur 2:4 redovisar ett exempel från elitfönster ”Elit neutral”, hur solenergin tar sig igenom ett fönster och vilka förluster som sker. (www.elitfönster.se)



Figur 2:4. Solenergens fördelning i ett treglasfönster. (Elitfönster produktkatalog)

2.5.6. Energifönster

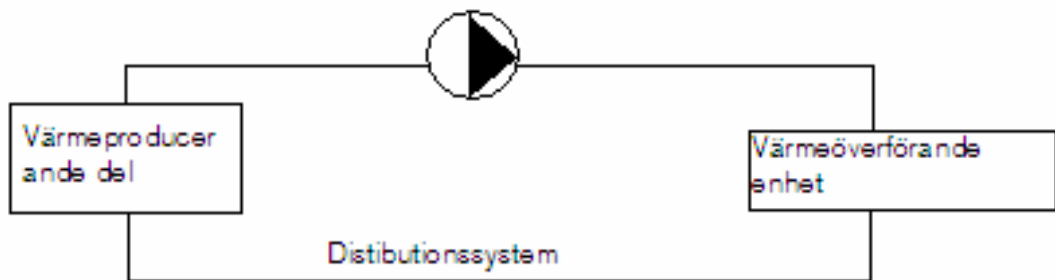
För att ett fönster skall komma ner till låga U-värden så används lågemissionsskikt eller isolerrutor. För att hindra den långvågiga värmestrålningen att gå tillbaks ut genom fönstret beläggs ofta en av rutorna, vanligen den innersta, med ett metalloxidskikt. Denna beläggning brukar vanligen kallas för lågenergiskikt eller lågemissionsskikt (LE) och är en tunn osynlig metalloxidhinna, till exempel silveroxid. Denna behandling kan enligt Tillämpad byggfysik (2001) jämföras med en extra luftspalt. När glaset är behandlat med denna typ av metall så kallas detta för energiglas.

När det gäller isolerrutor så är detta ett paket av två eller fler hopfogade rutor med ett gastätt utrymme mellan rutorna. Tanken med detta är att få en gas mellan rutorna som isolerar och ligger så still som möjligt för att undvika värmeöverföring. De enklare fönstren är med torr luft som mellanliggande gas. För ett lägre U-värde så väljs ofta en ädelgas, som har en sämre värmeledningsförmåga och har därmed bättre isoleringsförmåga. Argon och Krypton är de vanligaste tunga gaserna som används i fönster idag. (www.elitfönster.se)

2.6. Värmesystem

Värmesystem i en byggnad har tre huvuddelar som beskrivs nedan och i figur 2:5.

- En värmeproducerande del som till exempel fjärrvärme eller en värmepump.
- Ett distributionssystem som i de flesta fall är ett rörsystem för luft eller vatten.
- En i rummet värmeöverförande enhet som kan vara en radiator, golv-, takvärme eller don för varmluftsinsblåsning.



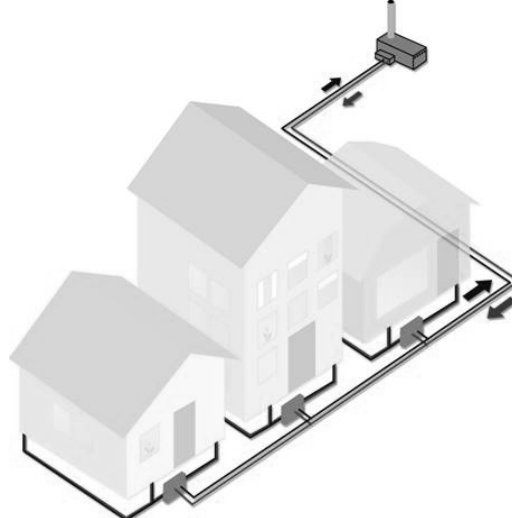
Figur 2:5. Enkel principskiss av ett värmesystem med en värmeöverförande enhet, värmeproducerande del, distributionssystem med en pump.

Vid val av värmeproducerande enhet är det inte bara ekonomiska och miljömässiga aspekter att ta hänsyn till utan även kommunens planbestämmelser som kan föreskriva eller förbjuda olika lösningar. Detta kan inträffa om du befinner dig inom ett fjärrvärmeuppvärmt område för då krävs särskilda skäl för att få använda en annan värmeproduktion. (Miljöteknikdeligationen 1999)

2.6.1. Fjärrvärme

Uppvärmningen av ett fjärrvärmenät sker genom att vatten värms i ett värmeverk. Denna uppvärmning kan ske på flera olika sätt till exempel genom förbränning av

ett bränsle, en elpanna eller spillvärme från industrier eller avlopp. Dessa processer kan förstärkas med hjälp av värmepumpar.



Figur 2:6. Enkel principskiss av ett fjärrvärmenät från producent till konsument.
(www.svenskfjarrvarme.se)

I ett nät kan det finnas flera värmeanläggningar av olika typ. Nätet fungerar oftast så att det finns en basanläggning som klarar det mesta av uppvärmningsbehovet med hjälp av ett billigt bränsle och sedan finns det anläggningar på fjärrvärmenätet som stödjer basanläggningen under den kalla perioden. I figur 2:6 visas en enkel principskiss över ett fjärrvärmenät.

Till de svenska fjärrvärmeverken används till största delen resurser som annars hade varit oanvända spillprodukter från skogsindustrin och processindustrin. Den spillvärme som används är bland annat från pappersbruk och oljeraffinaderier men även från olika industrier som använder sig av kylvatten. Om temperaturen i vattnet inte är tillräcklig så höjs den med hjälp av en värmepump. En annan stor källa till fjärrvärme är avfallsförbränningsanläggningar där avfallet som annars hade legat på en soptipp, eldas upp och värmer vattnet.

Vattnet i ett fjärrvärmenät håller en temperatur av 70-80°C men kan under kalla perioder stiga till 100-120°C. Dessa temperaturer har vattnet när det är på väg ut i systemet. Då det är på väg tillbaka håller det en temperatur av 40-50°C. Ledningarna är gjorda för att klara av temperaturer upp till 120 grader och ett tryck på 16 bar. Vattnet cirkuleras av en pump som vanligtvis finns i produktionsanläggningen men vid behov kan det även finnas pumpar på fler ställen i nätet. (www.svenskfjarrvarme.se)

2.6.2. Värmepumpar

Värmepumpar började produceras i början av 80- talet då staten gav bidrag till utvecklingen. Den snabba utvecklingen berodde på att oljepriset var mycket högt samtidigt som elpriserna var låga. I ett småhus är en pump ett bra val ur ett miljöperspektiv och i dag finns det ca 300 000 värmepumpar installerade i Sverige. Sedan 1995 har försäljningen av värmepumpar fördubblats.

Värmepumpar kan använda energi från ett flertal källor så som jord, berg, vatten och luft. Värmepumpstekniken är en så kallad termodynamisk cirkelprocess som lyfter värmeenergin från en nivå till en högre. Det är i stort sett samma process som för våra kylskåp, fast dessa kyler istället för att värma. Processen går till så att ett köldmedel med egenskapen att ta upp värme när det kokar övergår till gasform vid den låga temperaturen som värmekällan har. Gasen komprimeras med tryck och temperaturökning som följd. Nästa skede är att gasen växlar över värmen till det medie, vanligen vatten eller luft, som skall distribuera värmen. Den värme som köldmediet avger är summan av den utvunna värme och det som tillförts av kompressorn. Köldmediet passerar en ventil och återfår ursprunglig temperatur och tryck, vilket sluter cirkeln. En värmepump drivs vanligen av el och hur effektiv den är mäts i kvoten mellan uttagen värmeeffekt och tillförd eleffekt. Ett normalvärde för kvoten mellan värme- och eleffekt är 3 vilket innebär att pumpen genererar 2/3 ”gratisvärme” ur värmekällan.

Hos alla värmepumpar finns det en brytpunkt då värmebehovet i byggnaden blir större än vad pumpen kan leverera, vid dessa tillfällen måste det tillföras värme från en annan källa.

Hur ekonomisk en värmepump blir beror till stor del på elpriset, dess verkningsgrad och driftssäkerheten men även investeringen. Installationen av en bergvärmepump i ett enfamiljshus uppgår till en kostnad på cirka 100 000 kronor och en bruklig intjäningsperiod är 10 år. Om värmepumpar är ett bra ekonomiskt alternativ beror på vad det jämförs med och vad energipriserna blir i framtiden. (Miljöteknikdeligationen 1999)

2.7. Ventilationssystem

Ventilation betyder att luften i ett slutet utrymme byts ut. Kravet BBR har för bostäder är att flödet skall vara minst 0,35 l/s, m². Ett annat mått för att mäta ventilation är omsättningar per timme, oms/h. 1 oms/h betyder teoretiskt att all luft i ett utrymme byts ut på en timme. I ett vanligt hus med takhöjden 2,40 m motsvarar BBR's krav 0,5 oms/h. Ventilationen är till för att föra bort föroreningar som alstras i luften, den är alltså inte till för att tillföra nytt syre. Den är också till för att värma luften och i de fall det blir för varmt föra bort överskottet.

Det finns många olika benämningar på luft. Frånluft är luft som tas ifrån rummen och antingen skickas direkt ut eller går via ett ventilationssystem. Tilluft är luft som är behandlad i ett ventilationssystem och sedan tillförs rummet medan uteluft tillförs utan att behandlas. (Danielsson, S. 1999)

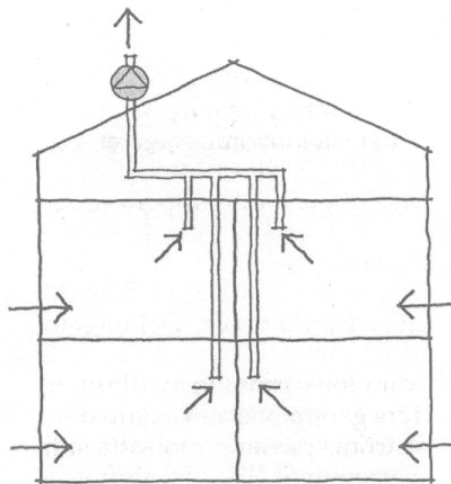
2.7.1. Självdragsystem

Självdragsystem eller S-system är den enklaste formen av ventilation och är inte så vanlig i nybyggnation. Den bygger på skorstenseffekten som betyder att den varmare inomhusluften stiger i rummet och vidare ut. Tilluften är uteluft som kommer in via ventiler i yttervägg och genom otätheter runt fönster och dörrar

och i väggen. Eftersom tilluften inte behandlas på något sätt så är temperaturen på luften ungefär den samma som uteluften när den kommer in. Detta innebär att det kan vara svårt att ha ett högre flöde än ca 0,5 oms/h innan inneklimatet påverkas. Genom att sätta ventilerna bakom radiatorer så kan luften värmas upp en aning innan den kommer in i rummet. Det går inte att styra flödet eftersom det inte finns några fläktar eller spjäll i systemet. Det som styr är förhållandet mellan klimatet ute och inne. När det är liten differens mellan inne och utetemperaturen så är den termiska drivkraften liten och flödet blir således lågt. (Danielsson, S. 1999)

2.7.2. Frånluftsystem

I ett frånluftsystem eller F-system är det fläktar som suger ut luften från rummen genom kanaler och vidare ut. F-system kräver mindre utrymme än S-system och det går att påverka flödet i byggnaden, därför är det naturligt att välja detta i nya hus. Frånluftsfläkten är relativt enkel, driftsäker och förbrukar lite el vilket gör systemet okomplicerat och billigt. Tilluften är också i det här systemet obehandlad och tas in via don i fasaden. Eftersom dagens hus blir allt tätare för att spara energi så är det viktigt att placera dessa tilluftsdon rätt för att undvika störande drag. Även här finns en begränsning på luftflödet som motsvarar 0,5-0,6 oms/h innan inneklimatet påverkas negativt. (Installationsteknik 2001). Det blir allt vanligare med F-system som har en återvinningsfunktion, en så kallad frånluftsvärmepump. Figur 2:1 visar en enkel principskiss av ett frånluftsystem.

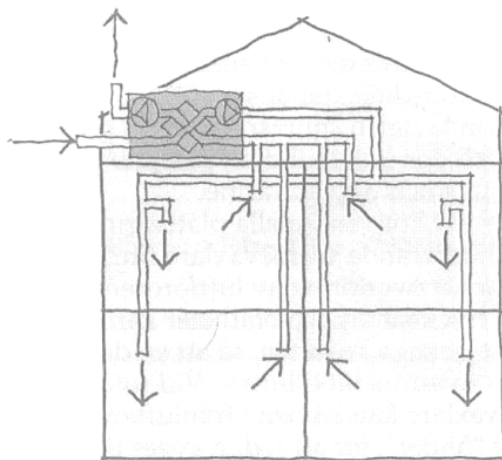


Figur 2:1. Illustration av ett frånluftsystem. (Danielsson, S. 1999)

2.7.3. Från- och tilluftsystem med värmeväxling

FTX-system är en förkortning av från- och tilluftsystem med värmeväxling. I denna typ av system förs frånluften bort som i ett F-system, uteluften går inte direkt in i rummet utan passerar först ett ventilationsaggregat. Aggregatet består bland annat av en värmeväxlare, där den kalla tilluften värms av den varma frånluften innan denna skickas ut i bostaden. I detta system kan luftflödet vara större än i andra system utan att orsaka störande drag eftersom tilluften har en temperatur som är nära innetemperaturen vid inblåsning. FTX-system är tekniskt

mer avancerade än andra system och kräver mer utrymme vilket visas i figur 2:2. De blir därför också lite dyrare i drift. (Danielsson, S. 1999)



Figur 2:2. Illustration av ett från- och tilluftsystem med värmeväxling. (Danielsson, S. 1999)

2.8. Ekonomiska termer

I denna rapport berörs flera olika ekonomiska termer som förklaras nedan. Dessa termer är viktiga delar för att kunna bedöma om en investering i nuet kommer att betala sig under en längre period.

2.8.1. LCC-beräkningar

LCC är en förkortning av lifecyclecost och beskriver samtliga kostnader som i dagsläget kan kopplas till en viss verksamhet under hela dess livslängd. För en byggnad så är det till exempel byggnadens drift och underhåll som vägs in i LCC-beräkningarna. Vad som inte ingår är priset på den miljö-påverkan som sker under objektets livslängd. Genom en LCC-beräkning går det att visa att en stor initieell investering på sikt betalar sig och blir det mest lönsamma alternativet. I dagsläget finns inte någon standard för hur en LCC-beräkning skall genomföras utan den anpassas till varje projekt. (Skärvad, P-H och J Olsson. 2003)

2.8.2. Nuvärdeметoden

Nuvärdeметoden används i beräkningar då det gäller att räkna om framtida värden, kostnader eller besparingar till vad de är värda i nutid. Detta sker med hjälp av en kalkylränta. Detta ger en möjlighet att jämföra objektets alla intäkter och utgifter under dess livslängd vid ett tillfälle, det vill säga tiden för investeringen. (Skärvad, P-H och J Olsson. 2003)

2.8.3. Kalkylränta

Kalkylränta är en teoretisk konstruerad ränta som skall motsvara objektets avkastning eller lönsamhetskrav på det kapital som är investerat i objektet. En

vanlig ränta är den som motsvarar räntan en alternativ investering hade gett. (Skärvad, P-H och J Olsson. 2003)

2.9.Datorprogram

I detta arbete har tre datorprogram använts, BV², Sektionsdata och en LCC-mall i Excel.

2.9.1. BV²

Detta program är utvecklat av CIT Energy Management AB. Programmet använder statistiska klimatdata och utifrån detta så räknar det ut energi- och effektförbrukning på värme, el och kyla. Förbrukningen kan visas både för hela fastigheten eller per m². Programmet räknar timvis och inte dygnvis som exempelvis beräkningsprogrammet Enorm gör. Detta innebär att BV² räknar med att solen inte lyser lika mycket hela dygnet och att utomhustemperaturen varierar under dygnet.

Det som har matats in i BV² är bland annat olika väggtyper, klimatskalens storlek och U-värden. Programmet ger efter avslutad inmatning ett resultat i både siffror och grafer.

2.9.2. Wikells Sektionsdata 3.6

Sektionsdata har använts till att få ut kostnader på olika byggdelar. Programmet har en stor mängd byggdelar som går att ändra och justera så de passar till de olika husen. I arbetet har nybyggnadsdelen, värmesystemdelen samt ventilationsdelen i programmet använts för att få fram priser på olika byggdelar. Sektionsdata har förprogrammerade priser och enhetstider som har använts utan uppdatering. Enhetstid är den tid det tar för en person eller maskin att utföra en viss mängd av arbete som till exempel en m² vägg och beskrivs i timmar eller minuter.

Beräkningarna har inte gjorts med ett komplett och fullständigt hus, eftersom det är skillnaden i kostnad mellan olika alternativ som söks.

2.9.3. LCC-mall

LCC-mallen är ett verktyg för att analysera livscykelkostnader. Alla parametrar som förts in i LCC-mallen kommer från kapitel 3.9.3 Ekonomiska förutsättningar.

LCC-mallen baseras på ett Excelblad där alla formler för bland annat Nuvärdemetod redan är inmatade. Det går att ändra på livslängd, kalkylränta och årlig uppräkning av kostnader. Vi har valt att räkna med de olika delarna energi, städ och drift, underhåll och utbyte samt investeringskostnad i LCC-mallen. En egen del har använts för beräkning av luftaggregatets LCC som senare summerats med de andra kostnaderna. I diagram 3:1 ges ett exempel på hur slutresultat visas i LCC-mallen.

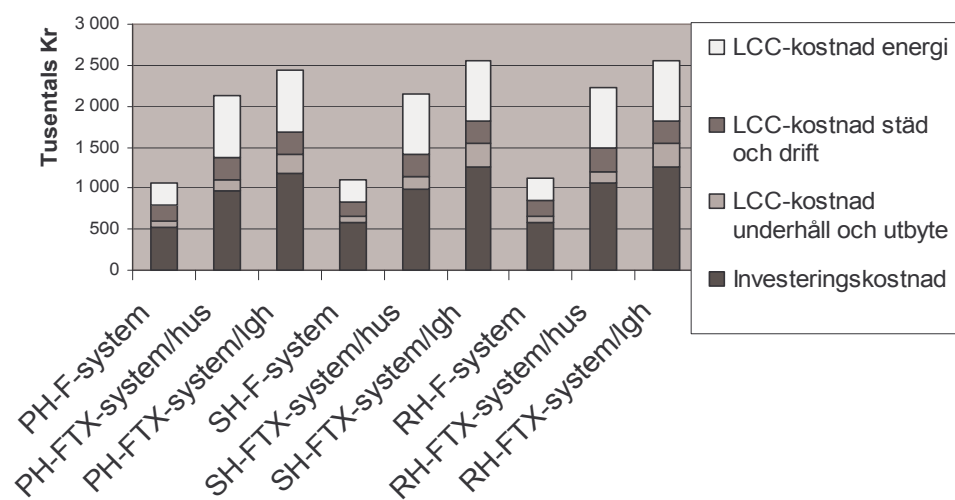


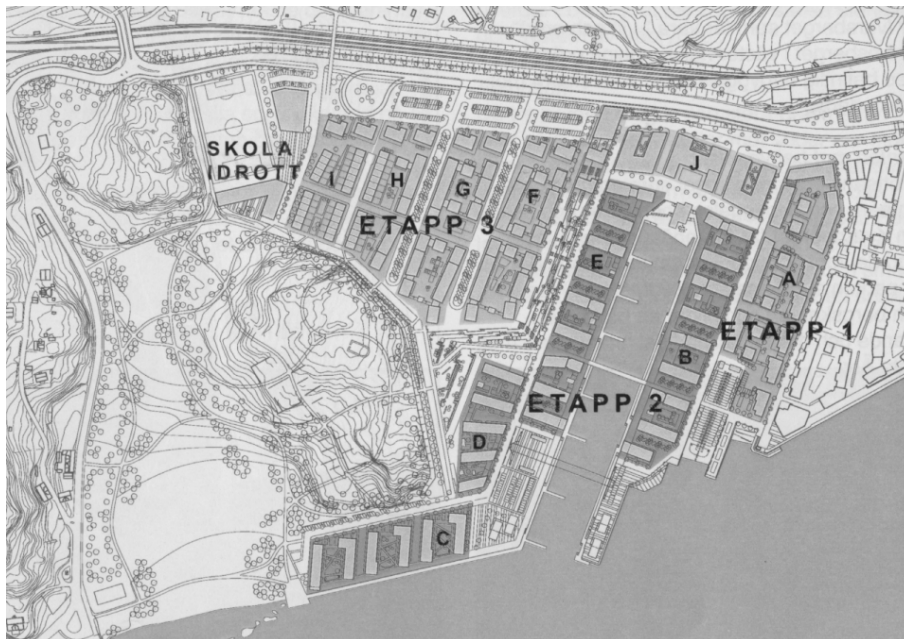
Diagram 3:1. Exempel på hur slutresultatet visas i LCC-mallen.

3. Västra Eriksberg

I detta kapitel kommer området som valts att presenteras samt vilka olika byggdelar och installationer som valts och varför. Det kommer även att redovisas vilka fasta parametrar vi har räknat med. Alla priser som redovisas är inklusive moms på grund av att byggandet riktar sig till privatpersoner.

3.1. Områdesbeskrivning

De tre husen som studerats i rapporten ligger i området Västra Eriksberg på norra älvstranden i Göteborg. Området har en lång och intressant historia som började i början av 1600-talet då Karl 12:e grundade Färjenäs, en föregångare till nuvarande Göteborg. Färjenäs brändes bara ett par år senare ner av danskarna och allt som finns kvar är en ruin. Trots att Färjenäs inte blev en stad så blev det en viktig plats ändå då det blev en plats där folk tog sig över älven. När industrialiseringen kom och efterfrågan av mark ökade började det växa upp företag på Västra Eriksberg. Varvsindustrin som området är mest känt för startade i liten skala under andra halvan av 1800-talet. Den ökade till stor skala under 50- och 60-talet men försvann helt under varvskrisen i slutet av 70-talet. Det enda som finns kvar av varven idag är den höga bockkranen och dockan.



Figur 3:1. Etappindelning i området Västra Eriksberg. (Stadsbyggnadskontoret i Göteborg 2004)

Området har delats in i tre etapper, se figur 3:1, där olika sorters hus skall byggas. Den första av de tre etapperna, som ligger närmast den befintliga bebyggelsen i öster, kommer inom kort att påbörjas. Etapp 2 ligger runt den gamla dockan vid bockkranen där Ostindienfararen byggs samt utmed älven. Den sista etappen etapp 3 ligger på en platå lite högre än de andra, där det i dag finns ett containerupplag. Varje etapp kommer att ha en typ av hus. Byggnader i området är till för boende utom de som är belägna längst in i dockan i området som betecknas med J

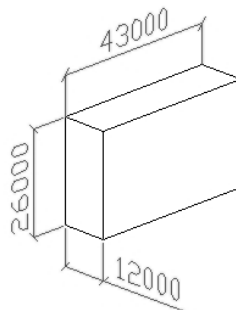
på kartan. I området planeras även ett grönområde samt en badstrand utmed älven. Det finns dessutom planer på att bygga en skola med en tillhörande idrottshall i området. Totalt skall området innefatta 193 000 m² lägenheter till större delen bostadsrätter men även hyresrätter, samt 9000 m² övriga lokaler. (Stadsbyggnadskontoret i Göteborg 2004)

3.2. Husbeskrivning

De tre hustyperna som studerats är ett skivhus, ett punkthus samt ett trevånings flerbostadshus som vi har valt att kalla för radhuset. Gemensamt för de tre husen är den totala golvarean på 4200 m² BRA, för att ge en möjlighet att jämföra de olika hustyperna i ett energiperspektiv. I rapporten har även en sorts fönster och andelen fönster på varje fasad fastslagits med hjälp av det tidigare examensarbetet Energioptimering av flerbostadshus(2003). Detsamma gäller u-värdet på taken och ett u-värde för plattan på mark. De parametrar som varierar är tjocklek på ytterväggar från en normalvägg till en så tjock vägg som går att bygga utan att ändra uppbyggnaden av väggen, samt ventilationssystemet som utgörs av ett F-system eller ett FTX-system. Även de olika värmekällorna i form av fjärrvärme, bergvärme och älvvärme varierar. (Stadsbyggnadskontoret i Göteborg 2004)

3.2.1. Skivhuset

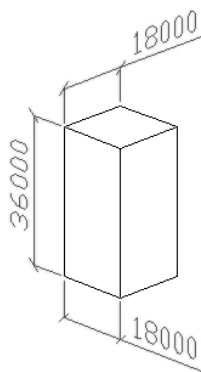
Skivhuset är 9 våningar högt 12 m brett och 43 m långt (se figur 3:3) och innehåller totalt 46 lägenheter varav 14st 1:or, 14st 2:or och 18st 3:or. Huset ligger vid dockan i etapp 2 E och B. Husets planlösning och antal lägenheter har vi själva tagit fram med hjälp av de fasadskisser vi fått av de arkitekter som arbetar med husen.



Figur 3:3. Principskiss av skivhuset, samt husets yttermått (mm).

3.2.2. Punkthuset

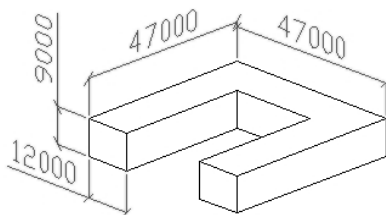
Punkthuset har 13 våningar och basen har måtten 18 x 18 m (se figur 3:4). I huset finns det 39 lägenheter med en fördelning på 13 st 2:or, 13 st 3:or och 13 st 4:or. Huset är beläget i etapp 2 D. Antal lägenheter och planlösning har vi fått av de arkitekter som arbetar med huset.



Figur 3:4. Principskiss av punkthuset med tillhörande yttermått (mm).

3.2.3. Radhuset

Radhuset har 3 våningar och formen av ett U med mått enligt figur 3:5. Det innehåller samma antal och fördelning av lägenheter som skivhuset. Huset är beläget i etapp 3. Eftersom etapp 3 är den sista etappen som skall byggas finns det inte så mycket ritningar på husen utan vi fick göra egna antagande på storlek och form utifrån de uppgifter vi fick från arkitekterna i projektet.

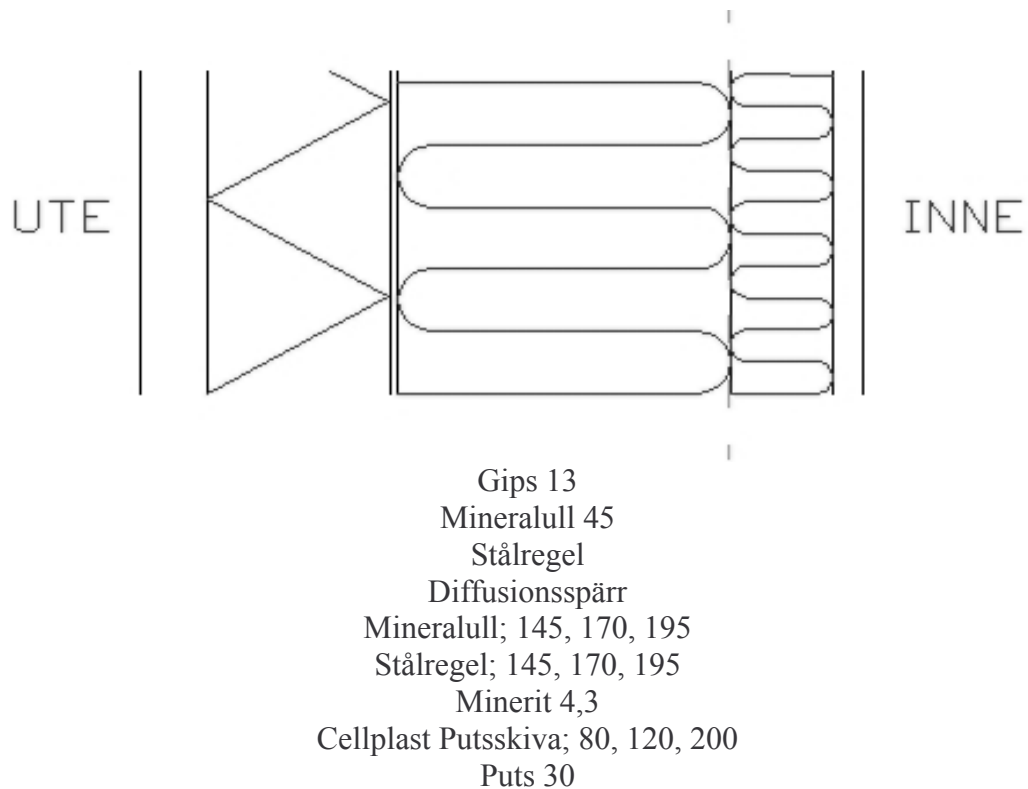


Figur 3:5. Principskiss av radhuset med tillhörande yttermått (mm).

3.3. Väggar

I undersökningen är väggar en viktig parameter för att få fram det mest energisnåla alternativet. Vi har utgått från en utfackningsvägg som ska klara ByggaBoDialogens krav och som enligt Lars-Olof Holmström på JK-bygg är en standardvägg som används mycket i husbyggnation. Väggen används i byggnationen av "Höghuset" på Eriksberg i Göteborg. Utfackningsväggen anpassas till den tjocklek och sammansättning som behövs för att uppnå önskat u-värde samt önskad täthet. Vi har valt att använda Parocs mineralull och Sundolitts cellplast för att få riktiga mått. Valen har anpassats till tillgängliga dimensioner i

Sektionsdata för att göra det möjligt att få ett pris på konstruktionen. Dessa förutsättningar har gjort att det går att välja mellan tjocklekar enligt figur 3:4. Den innersta mineralullen på 45 mm är till för att dra installationer, vilket minimera håltagningen i diffusionsspärren. De två yttre isoleringsskikten varierar i de tre väggtyperna. Antalet har maximerats till 3 tjocklekar i varje lager isolering för att hålla nere antalet alternativ. All ökad isoleringstjocklek byggs utåt för att inte minska den uthyrningsbara bostadsytan. (Lindahl, Utbult, Värmsjö. 2003)



Figur 3:4. Snitt av den valda väggen samt de delar som väggen är uppbyggd av och delarnas olika dimensioner i mm. Materialen är uppräknade inifrån och ut.

Valet av vägg har delats in i tre olika kategorier. Den första väggen 01 är konstruerad för att uppnå ByggaBoDialogens krav på 85 kWh/m^2 och år. Den bästa väggen 03 har valts genom att isolera så mycket som möjligt utan att byta konstruktion. Denna konstruktion kommer möjligen att uppfylla kraven på ett "Nollenergihus". Det tredje alternativet 02 har valts genom beräkning av förhållandet mellan förbättrat u-värde och kostnadsökning. Vid jämförelse hur mycket u-värdet respektive kostnaden förändras från utgångspunkt (u.p.k) vägg 01, fås tabell 3:1 samt diagram 3:2.

Tabell 3:1. Sammanställning av tänkbara väggkombinationer, med vägg 01 som utgångspunkt (u.p.k) där kostnadsökningen samt U-värdeskillnaden beräknats.

Väggtyp	Isolering mm	Summa Isolering mm	Kostnad kr	U- värde W/m ² °C	Kostnad över u.p.k.(1)	U-värde under u.p.k.(2)	(1)/(2)
01	80+145+45(u.p.k)	230	475	0,16	0	0	--
	80+170+45	255	483	0,15	8	0,02	400
	80+195+45	280	498	0,13	23	0,03	767
	120+145+45	310	508	0,12	33	0,04	825
02	120+170+45	335	515	0,11	40	0,05	800
	120+195+45	360	530	0,1	55	0,06	917
	200+145+45	390	570	0,09	95	0,07	1357
	200+170+45	415	578	0,09	103	0,07	1471
03	200+195+45	440	593	0,08	118	0,08	1475

I tabell 3:1 har all isolering räknats med samma λ -värde. Kostnaden är beräknad endast på isoleringen för att möjliggöra en jämförelse.

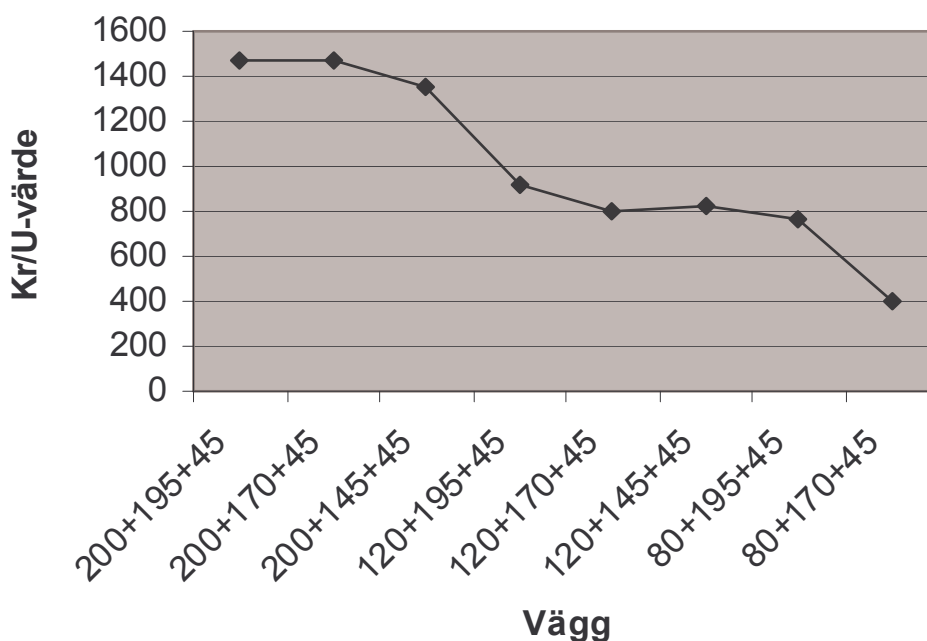


Diagram 3:2. Grafen visar förhållandet mellan kostnad i kronor och U-värdet för de olika isoleringskombinationerna.

Väggen med isoleringen 120+170+45 väljs som alternativ 02 eftersom den är en lokal minpunkt i grafens mittsegment. Det är även önskvärt att den sista väggkonstruktionen 02 blir en vägg med en medeltjock isolering.

För att beskriva vilken vägg det handlar om kommer väggarna att benämnas som nummer 01, 02, 03, men även vilken tjocklek av isolering som vägen är sammansatt av, där uppräknningen sker utifrån och in, till exempel, 80+145+45. Båda beteckningarna kommer att finnas i rapporten.

3.4. Yta/Volym-värden för husen

Vid beräkning för de olika husen så fås följande yta/volym-värden.

Skivhuset	0,35 1/m
Punkthuset	0,32 1/m
Radhuset	0,45 1/m

Punkthuset har lägst YV-värde, 0,32, noterbart är att detta hus har minst platt- och takyta av de tre jämförda husen, vilket kan påverka energiutsläppet genom klimatskalet.

3.5. Internvärme

I rapporten har en del av internvärmerna som finns i en bostad räknats med i energi-beräkningarna. Värdena på internvärmerna har valts med stor försiktighet på grund av att med felaktiga värden finns det en risk att resultatet blir missvisande.

Vid beräkningar av internvärmerna så har vi utgått från en lägenhet som har en yta på 80 m² vilket vi tror kan vara en medelstor lägenhet i området. När det gäller den internvärme som kommer från personer så har det räknats med en person som avger 100 watt hela dygnet, vilket ger 1,25 W/m². Det är troligt att det vistas mer än en person i lägenheten vissa delar av dygnet men samtidigt är det troligt att lägenheten står tom stora delar av dygnet.

Den internvärme som kommer från lampor har antagits till 0,75 W/m². Denna siffra har erhållits genom att det lyser en 60 Watts lampa dygnet runt per lägenhet. Detta anses återigen som en låg siffra, vilket är bra för att hålla värdet nere.

I rapporten har ett medel på 2,07 W på dagen och 2,61 W på natten använts för internvärme producerad av apparatur. Värmen på natten får ett högre värde för att BV² räknar natt från klockan 18.00 till 06.00. Vid beräkningarna har det antagits att det finns en kyl och en frys som går dygnet runt, samt att det finns en tv, dator och stereo i varje lägenhet som används mellan kl 15.30 och kl 23.00.

3.6. U-värdesberäkning

För att få ett lämpligt U-värde så har en jämförelse gjorts mellan BV² och uppgifter från isoleringstillverkare. BV² visade ett λ -värde på 0,055 för alla typer av isolering samtidigt som både Paroc och Sundolitt visar betydligt bättre värden. I beräkningarna valdes tillverkarnas värde på 0,036 adderat med en faktor på 0,02. Denna faktor tar hänsyn till produktionsfel.

Enligt Annika Nilsson(2004) så står köldbryggor för en stor del av transmissions-förlusterna i en byggnad. Annika skriver att transmissionförlusterna ökar med 20-30 % på grund av köldbryggor. Detta ser vi som en viktig del och kommer därför att räkna med ett 25-procentigt påslag på husets olika U-värden. Detta påslag kommer att läggas på väggar, tak och platta men det kommer inte att läggas på fönster och dörrar. Här anser vi att de eventuella köldbryggor som uppstår inte är

beroende på fönstret utan orsakas av montagefel. U-värdet på ett fönster blir inte sämre för att det monteras in i ett hus.

3.7. Ventilationssystem

I alla hus har följande ventilationssystem studerats:

- Frånluftssystem
- Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (centralt)
- Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (lägenhet)

Självdragssystem har inte kontrollerats på grund av det är inte speciellt vanligt som ventilationssystem i större flerbostadshus i dag. Det krävs mer plats i byggnaden för alla schakt och på så sätt blir det mindre uthyrbar yta i huset och således mindre hyresintäkter. Ventilationsrör antas kunna dras i bjälklagen.

3.7.1. LCC-beräkning för ventilationssystem

Nedan visas vilka delar som ingår i LCC-beräkningen för ventilationen. Den återvunna energin i FTX-systemen räknas inte med i LCC_{vent} , utan tas med i den totala LCC-beräkningen för hela huset.

$$LCC_{vent} = Inv. + LCC_{und} + LCC_{drift}$$

LCC_{vent} Den sammanlagda LCC för hela ventilationssystemet.

Inv. Kostnaden för den investering som görs i nutid.

LCC_{und} Kostnader för underhåll och utbyte av delar i nuvärde.

LCC_{drift} Kostnader för drift i nuvärde.

3.7.2. Frånluftsystem

F-systemet är dimensionerat för ett luftflöde på 0,35 l/(s,m²) och har en specifik fläkteffekt som är 0,9 kW/(m³/s). Luften tas från kök och badrum genom frånluftsdon och vidare ut till schakten. På varje hustak har 2 frånluftsfläktar placerats. Tilluften tas in bakom radiatorerna vid fönstren via ventiler.

En kostnadskalkyl för systemen finns i bilaga 2. Hela systemet, förutom spisfläktar och takfläktar, beräknas ha en livslängd som sträcker sig över hela kalkylperioden. Spisfläktarna och takfläktarna kommer att bytas ut 2 gånger under kalkylperioden, första gången efter 20 år och den andra efter 40 år. Arbetstiden för byte har antagits till 1,5 gånger normal tidsåtgång vid nybyggnation.

3.7.3. FTX-system (Centralt)

Det ena FTX-systemet som studerats är ett centralt system med ett stort ventilationsaggregat som placerats på taket och försörjer alla lägenheter i huset.

Systemet har dimensionerats för ett luftflöde på 0,35 l/(s,m²) och en inblåsningstemperatur på 18° C vid utetemperaturer under 18° C, med en specifik fläkteffekt på 2,5 kW/(m³/s). Systemet består av en tilluftsfläkt, frånluftsfläkt, roterande värmeväxlare och en luftvärmare. Värmeväxlaren har en återvinningsgrad på 85 %. Kök och badrum har frånluftsdon, sovrum och vardagsrum har tilluftsdon.

En kostnadskalkyl för systemen finns i bilaga 2. Ventilationsaggregat, shuntgrupper och spisfläktar kommer att bytas ut 2 gånger under kalkylperioden, efter 20 och 40 år. De nya investeringarna räknas fram som i fallet för F-systemet.

3.7.4. FTX-system (Lägenhet)

Det andra FTX-systemet som studerats bygger på att det sitter ett mindre ventilationsaggregat i varje lägenhet i huset. Aggregatet placeras i ett skåp i köket och förser hela lägenheten med luft. Systemet är dimensionerat för ett luftflöde på 0,35 l/(s,m²) och en inblåsningstemperatur på 18° C vid utetemperaturer under 18° C, med en specifik fläkteffekt på 2,5 kW/(m³/s). Systemet består av en tilluftsfläkt, frånluftsfläkt, korsströmsvärmeväxlare och en luftvärmare. Värmeväxlaren har en återvinningsgrad på 85 %. Luftvärmaren drivs av el. Kök och badrum har frånluftsdon, sovrum och vardagsrum har tilluftsdon.

En kostnadskalkyl för systemet finns i bilaga 2. Ventilationsaggregat och spisfläktar kommer att bytas ut 2 gånger under kalkylperioden, efter 20 och 40 år. De nya investeringarna räknas fram som i fallet för F-systemet.

3.7.5. Jämförelse av de olika ventilationssystemen

När det gäller att välja ett ventilationssystem till ett hus så kan inte endast priset vara den avgörande faktorn, utan även de följande punkterna bör beaktas.

F-system kontra FTX-system

- F-systemet kräver mindre utrymme. Mindre schakt och fläktrum.
- F-systemet drar ca 1/3 av den el ett FTX-system drar. Elpriset är osäkert i framtiden.
- F-systemet kan ge upphov till drag i bostaden eftersom luften inte är förvärmad när den kommer in.
- Ett hus med ett F-system kan inte vara lika tätt som ett hus med FTX-system eftersom tilluften måste tas in någonstans. Huset får då ett större värmebehov.
- Det finns en risk för mer ljud från ett FTX-system än från ett F-system.

Lägenhetssystem kontra ett centralt system

- Lägenhetssystemet kräver inga fläktrum eller stora kanaler genom huset.
- Brandskyddet blir enklare och billigare med ett aggregat per brandcell.
- Flexibiliteten gällande driftstider och temperaturer blir större med lägenhetssystem.

- Vid tillsyn och driftavbrott av lägenhetssystem blir störningen begränsad.
- Risken för doftspridning minimeras med ett system i varje lägenhet.

Generellt så kostar ett F-system mindre i investering än ett FTX-system och ett centralt FTX-system mindre än ett lägenhetssystem.

3.8. Värmesystem

I de valda hustyperna har följande värmekällor och distributionssystem studerats:

Värmekällor

- Fjärrvärme
- Värmepump (Berg och älv)

Distributionssystem

- Radiatorsystem
- Luftvärme

Värmesystemet är dimensionerat efter två olika effekter. En värmeeffekt på 230 kW som har räknats fram med ett F-system i husen. Den andra värmeeffekten på 170 kW har räknats fram med ett FTX-system i husen. I alla värmeeffekter är effekten för varmvatten medräknad.

Kostnader för styr- och reglerutrustning är inte medräknade.

3.8.1. LCC-beräkning för värmesystem

Nedan visas vilka delar som ingår i LCC-beräkningen för värmen.

$$LCC_{\text{värme}} = \text{Inv.} + LCC_{\text{energi}} + LCC_{\text{und}}$$

$LCC_{\text{värme}}$ Den sammanlagda LCC-kostnaden för hela värmesystemet.

Inv. Kostnaden för den investering som görs i nutid.

LCC_{energi} Energikostnaden för hela kalkylperioden i nuvärde.

LCC_{und} Kostnader för utbyte av installationsdelar.

3.8.2. Fjärrvärmesystem

Kostnader för installationer på primära sidan av systemet är baserade på prisuppgifter från Staffan Bolminger på Norra Älvstranden AB. Staffan uppskattade priset på installationer på primärsidan till mellan 70 – 80 kr/m² exkl moms. Eftersom vi har låga värmeeffekter så har vi valt 70 kr/m² exkl moms. Investeringskostnaden för varje hus blir då 367 500 kr inkl moms. Drift och underhålls- kostnader på primära sidan står Göteborg Energi AB för. En kostnads- kalkyl finns i bilaga 3. Investeringskostnad på sekundärsidan är 180 000 kr. Pumpar, shuntgrupper och expansionssystem kommer att bytas ut två gånger

under kalkylperioden, efter 20 respektive 40 år. LCC för de två nyinvesteringarna är 78 000 kr.

3.8.3. Värmepump

Värmepumparna som dimensionerats för F-systemet är två sammansatta pumpar som levererar 70 kW styck, totalt 140 kW, vilket motsvarar ca 60 % av värme-effektbehovet. Till den lägre effekten har vi valt två stycken pumpar som levererar 55 kW styck, totalt 110 kW, vilket motsvarar ca 65 % av värmeeffektbehovet. För att klara av resterande värmebehov finns en elpanna på 44 kW till båda systemen. Värmefaktorn (COP) är 3.1 och den totala energiverkningsgraden är 90 %.

Kostnaden för värmepumpar, ackumulatortankar och elpanna är baserade på prisuppgifter från IVT Industrier AB. Resterande installationskostnader är beräknade med Sektionsdata. En kostnadskalkyl för systemet finns i bilaga 3. Den totala investeringen för systemet med 140 kW effekt är 729 000 kr och 704 000 för systemet med 110 kW effekt. Värmepumpar och elpanna kommer att bytas ut två gånger under kalkylperioden, efter 20 respektive 40 år. LCC för de två ny-investeringarna för 140 kW effekt är 230 000 kr och 212 000 kr för 110 kW effekt.

3.8.3.1. Bergvärme

I ett av fallen kommer värmepumparna att förses med värme från berget. Systemet för 140 kW kräver 14 borrhål som är 185 m djupa medan 110 kW systemet kräver 10 borrhål som är 185 m. Kostnaden för borrhål och kollektor är beräknad till 250 kr/m. Kostnaden för 14 borrhål blir 648 000 kr och för 10 borrhål, 463 000kr.

3.8.3.2. Älvvärme

I det andra fallet kommer värmen från den intilliggande älven. Systemet bygger på att kollektorn läggs på botten av älven med hjälp av tyngder. Systemet för 140 kW kräver 16 slingor som är 375 m styck. Det mindre systemet på 110 kW kräver 11 slingor som är 375 m styck. Kostnaden för nedläggning och kollektor beräknas till 70 kr/m. Kostnaden för 16 slingor blir 420 000 kr och för 11 slingor 289 000kr.

3.8.4. Radiatorsystem

Radiatorsystemet har dimensionerats för ett effektbehov på 50 kW. Det är ett medelvärde av effekterna för ett av våra hus med F-system, respektive FTX-system. Kostnaden för hela radiatorsystemen har beräknats med hjälp av Sektionsdata. En kostnadskalkyl finns i bilaga 4.

3.8.5. Luftvärme

I de fall som beräknats med vägg 03 har värmebehovet varit så lågt att luftvärme via FTX-systemen har studerats. I det centrala FTX-systemet sitter ett värmebatteri som värmer luften med hjälp av varmvatten från fjärrvärme, bergvärme

eller älvvärme. I det lilla FTX-systemet i varje lägenhet drivs värmaren av el. I de ventilationssystem vi valt att studera finns dessa värmare installerade.

3.9. Allmänna parametrar

I detta kapitel redovisas alla parametrar som används i programmen.

Klimatzon:	Göteborg Säve			
Rumshöjd [m]	2,7			
Husens orientering	-20°C från Norr			
	Söderfasad	Österfasad	Västerfasad	Norrfasad
Tyngd för vägg	Medel	Medel	Medel	Medel
U-värde fönster [W/m ² °C]	1.18	1.18	1.18	1.18
U-värden portar [W/m ² °C]	1	1	1	1
Glasandel [%]	90	90	90	90
Solfaktor [-]	0.41	0.41	0.41	0.41
Yttre avskuggning [-]	0	0	0	0
Inre gardiner [-]	0	0	0	0
Area på portar [m ²]	4	4	4	4
Takets U-värde [W/m ² °C]	0.125			
Tyngd på takkonstruktionen	Medel			
U-värde på yta mot mark [W/m ² °C]	0.0625			
Medeltemp i marken [°C]	8			
Luftläckage i byggnadens stomme uttryckt i [oms/tim]	0.1			
Luftläckagets variation med avseende på termisk drivkraft	0			
	Söderfasad	Österfasad	Västerfasad	Norrfasad
Andel fönster per vägg [%]	30.6	12.3	12.3	10.5

3.9.1. Intern värmegenerering

Nedan redovisas valda värden och tidsintervall för internvärmerna som matats in i BV².

Belysning	från kl 00:00 till kl 24:00	0,75 W/m ²
Personer	från kl 00:00 till kl 24:00	1.25 W/m ²
Maskiner	från kl 00:00 till kl 06:00	0.8 W/m ²
	från kl 06:00 till kl 09:00	2.5 W/m ²
	från kl 09:00 till kl 15:30	0.8 W/m ²
	från kl 15:30 till kl 23:00	5.2 W/m ²
	från kl 23:00 till kl 24:00	0.8 W/m ²

Varmvatten 30 kWh/ m²,år
 Totalt varmvatten (medel beräknat på de tre hustyperna)
 125.9 MWh/hus,år

3.9.2. U-värden för väggarna

	Söderfasad	Österfasad	Västerfasad	Norrfasad
U-värde vägg01[W/m ² °C]	0.219	0.219	0.219	0.219
U-värde vägg02[W/m ² °C]	0.159	0.159	0.159	0.159
U-värde vägg03[W/m ² °C]	0.127	0.127	0.127	0.127

3.9.3. Ekonomiska förutsättningar

Kalkylränta [%]	5
Kalkylperiod [år]	50
Årlig ändring av elpris [%]	+2
Årlig ändring av värmepriset [%]	+2
Elpris exkl. moms [kr/kWh]	0,72
Värmepris exkl. moms [kr/kWh]	0,50
Moms [%]	25

3.9.4. FTX-system

Lägst tillåtna temperatur [°C]	20		
Luftflöde [l/s,m ²]	0,35		
Specifik Fläkteffekt SFP [kW/(m ³ /s)]	2,5		
Verkningsgrad värmeåtervinning [%]	85		
Kylåtervinning finns ej			
Varvtalsstyrning för fläkt finns			
Inblåsningstemperatur då utetemperaturen är över	18 [°C]	är:18+1 [C°]	
Inblåsningstemperatur då utetemperaturen är under	18 [°C]	är:18 C°	

3.9.5. F-system

Luftflöde [l/s,m ²]	0,35
Specifik Fläkteffekt SFP [kW/(m ³ /s)]	0,9
Verkningsgrad värmeåtervinning [%]	0
Kyl Återvinning finns ej	
Varvtalsstyrning för fläkt finns	

3.9.6. Fjärrvärme

Dimensionerande värmeeffekt med F-system [kW]	230
Dimensionerande värmeeffekt med FTX-system [kW]	170

3.9.7. Värmepump

Dimensionerande värmeeffekt 1 [kW]	230
Dimensionerande värmeeffekt 2 [kW]	170
Värmepumpeffekt 1 [kW]	140
Värmepumpeffekt 2 [kW]	110

Elpanna spets effekt [kW]	44
---------------------------	----

3.9.8. Bergvärme

Borrhål 1 [m]	14x185
Borrhål 2 [m]	10x185

3.9.9. Älvvärme

Slinga 1 [m]	16x375
Slinga 2 [m]	11x375

3.10. Parametrar för varje hus

Nedan redovisas parametrar som varierar beroende på vilken hustyp som beräknas.

3.10.1. Skivhuset

	Söderfasad	Österfasad	Västerfasad	Norrfasad	Totalt
Väggarea [m ²](inkl.fönster)	1141	347	347	1141	2976
Fönsterarea [m ²]	350	140	140	120	750
Total väggarea [m ²](exkl. fönster)		2226			
Antal våningsplan [st]		9			
Area på våningsplan [m ²]		465			
Area på tak [m ²]		508			
Area på yta mot mark [m ²]		508			
Total bruttoarea [m ²]		4185			
Lägenheter [antal/hus]		1:or	14 st		
		2:or	14 st		
		3:or	18 st		
		Totalt:	46 st		
U _{m,krav} [W/m ² °C]		0,359			
U _m Vägg 01 [W/m ² °C]		0,370 (Inom 30% kravet)			
U _m Vägg 02 [W/m ² °C]		0,338			
U _m Vägg 03 [W/m ² °C]		0,320			

3.10.2. Punkthuset

	Söderfasad	Österfasad	Västerfasad	Norrfasad	Totalt
Väggarea [m ²](inkl.fönster)	738	738	738	738	2592
Fönsterarea [m ²]	226	91	91	78	486
Total väggarea [m ²](ej fönster)	2466				
Antal våningsplan [st]	13				
Area på våningsplan [m ²]	324				
Area på tak [m ²]	324				

Area på yta mot mark [m ²]	324
Total bruttoarea [m ²]	4212
Lägenheter [antal/hus]	2:or 13 st
	3:or 13 st
	4:or 13 st
	Totalt: 39 st
U _{m,krav} [W/m ² °C]	0,312
U _m Vägg 01 [W/m ² °C]	0,330 (Inom 30% kravet)
U _m Vägg 02 [W/m ² °C]	0,289
U _m Vägg 03 [W/m ² °C]	0,267

3.10.3. Radhuset

	Söderfasad	Österfasad	Västerfasad	Norrfasad	Totalt
Väggarea [m ²](inkl.fönster)	423	738	738	423	2322
Fönsterarea [m ²]	130	91	91	44	356
Total väggarea [m ²](ej fönster)		1966			
Antal våningsplan [st]		3			
Area på våningsplan [m ²]		1400			
Area på tak [m ²]		1400			
Area på yta mot mark [m ²]		1400			
Total bruttoarea [m ²]		4200			
Lägenheter [antal/hus]		1:or 14 st			
		2:or 14 st			
		3:or 18 st			
		Totalt: 46 st			
U _{m,krav} [W/m ² °C]		0,249			
U _m Vägg 01 [W/m ² °C]		0,220 (Inom 30% kravet)			
U _m Vägg 02 [W/m ² °C]		0,198			
U _m Vägg 03 [W/m ² °C]		0,185			

4. Resultat

4.1. Skivhuset

I detta kapitel kommer siffror och resultat från beräkningar på skivhuset att redovisas.

4.1.1. Energiberäkning

I BV² får skivhuset en värmeförbrukning enligt diagram 4:1. Dessa siffror är förbrukning av värme inklusive varmvatten. Diagrammet 4:1 visar att värmeförbrukningen reduceras vid byte från F-system till FTX-system. Diagrammet visar även att isolering har en liten påverkan på energiförbrukningen. För utförligare siffror se bilaga 6.

Värmeförbrukning Skivhuset

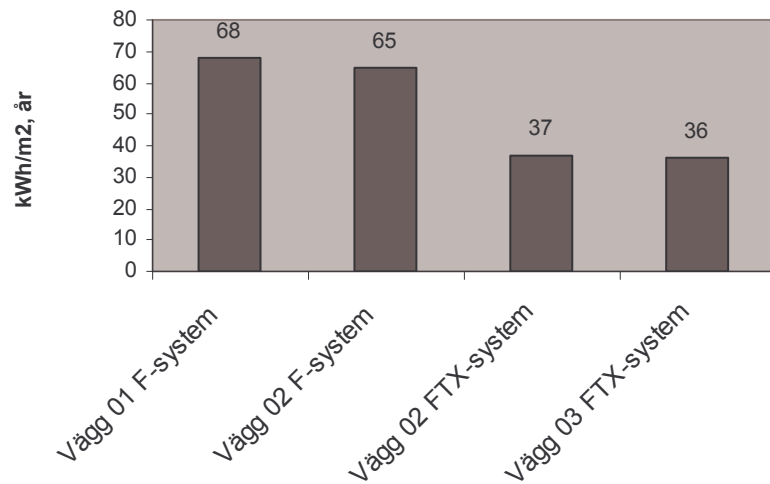


Diagram 4:1. Värmeförbrukning i kWh/m² och år för skivhuset. De tre olika väggarna kombinerat med frånluftsystem (F-system) respektive till och frånluftsystem med värmeåtervinning (FTX-system).

4.1.2. Väggekostnadsberäkning

Skivhusets tre väggar är uppbyggda på det sätt som beskrivs i avsnitt 3.3. Arealen på väggarna och mängd fönster står i avsnitt 3.10.1. Priset på väggen är summan av vägg- och fönsterpriser. En kostnadskalkyl finns i bilaga 1.



Diagram 4:2. Väggkostnader i kronor för de tre olika väggtyperna i skivhuset.

Diagram 4:2 visar kostnaden för de tre väggarna. Skillnaden mellan vägg 01 och vägg 03 är 387 000 kronor. För att vägg 03 ska vara lönsam måste den högre investeringskostnaden kompenseras av en energibesparing.

4.1.3. LCC-beräkning

I följande kapitel redovisas LCC-beräkningar för de olika ventilations- och värmesystemen.

4.1.3.1. F-system

I skivhuset är F-systemet uppbyggt på följande sätt. Luften leds i 6 stammar från köken och 6 stammar från badrummen. På vinden finns det 3 huvudstammar för ventilationen. Övriga förutsättningar finns i avsnitt 3.7.2. Investeringskostnaden för F-systemet är 572 000 kr. LCC för nyinvesteringen efter 20 år respektive 40 år är totalt 83 000 kr. Fläktarna drar totalt 11 540 kWh över året. Kostnaden för underhåll är uppskattad till 10 000 kr/år.

Investering	572 000 kr
LCC _{und}	266 000 kr
LCC _{drift}	267 000 kr
LCC _{vent F-system}	1 105 000 kr

4.1.3.2. FTX-system centralt

FTX-systemet i skivhuset är utformat på följande sätt. Frånluften leds i 6 stammar från köken och 6 stammar från badrummen. Tilluften leds i 6 stammar till sov- och vardagsrum. Övriga förutsättningar finns i avsnitt 3.7.3. Investeringskostnad för FTX-systemet är 995 000 kr varav 100 000 kr är ett antaget värde för styr och reglerutrustning, som inte finns med i kalkylen. LCC för nyinvesteringen efter 20 år respektive 40 år är totalt 146 000 kr. Fläktarna drar totalt 32 030 kWh över året. Kostnaden för underhåll är uppskattad till 15 000 kr/år.

Investering	995 000 kr
LCC _{und}	420 000 kr
LCC _{drift}	742 000 kr
LCC _{vent FTX-system centralt}	2 157 000 kr

4.1.3.3. FTX-system lägenhet

Systemet är utformat enligt avsnitt 3.7.4. Investeringskostnad för FTX-system i varje lägenhet är totalt 1 267 000 kr. LCC för nyinvesteringen efter 20 år respektive 40 år är totalt 277 000 kr. Fläktarna drar totalt 32 200 kWh över året. Kostnaden för underhåll är uppskattad till 15 000 kr/år.

Investering	1 267 000 kr
LCC _{und}	551 000 kr
LCC _{drift}	746 000 kr
LCC _{vent FTX-system lägenhet}	2 564 000 kr

4.1.3.4. Sammanlagd ventilationskostnad

I diagram 4:3 visas resultatet av LCC-beräkningar för investeringar samt drift i skivhuset. Eftersom vi inte räknat med återvinningen i FTX-systemen i detta skede så går det inte att dra några slutsatser av vilket system som är lämpligast. Dock kan slutsatsen dras att ett centralt FTX-system är mer lönsamt än att installera än ett per lägenhet.

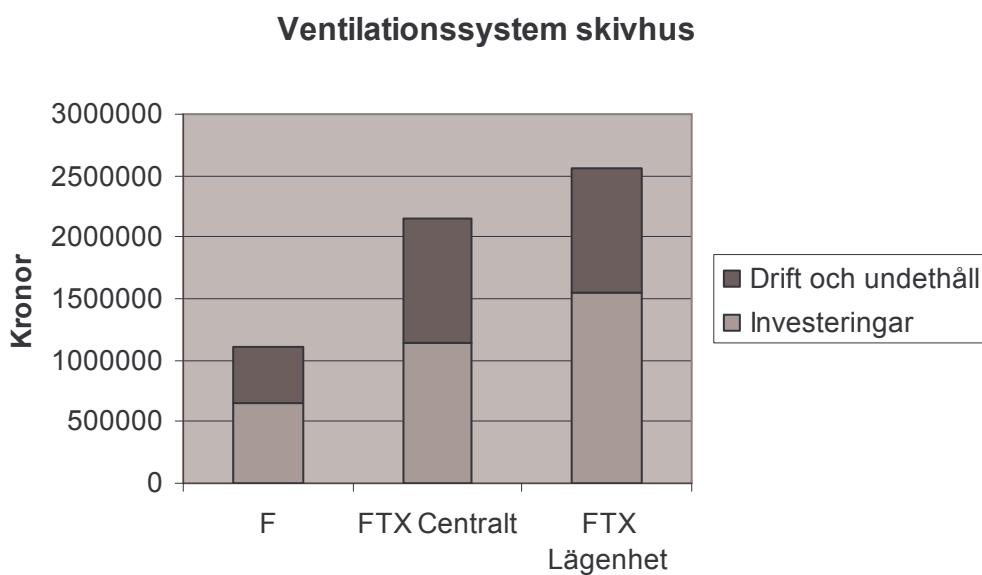


Diagram 4:3. Drift- och underhållskostnad samt investeringskostnader för de olika ventilationsinstallationerna i skivhuset för hela byggnadens livslängd.

4.1.3.5. Värmesystem

Värmesystemet i skivhuset är dimensionerat som i avsnitt 3.8. LCC_{värme} är beräknad med formel i avsnitt 3.8.1. Vägg 01 och 02 har beräknats med ett F-system och vägg 02 och 03 har beräknats med ett FTX-system för att få fram

energiförbrukningen. Dessa kombinationer har använts för att få fram kostnaderna för LCC_{värme}. Vi har även räknat fram LCC_{värme} för ett FTX-system i varje lägenhet med luftvärme istället för ett radiatorsystem. Det har även gjorts med ett centralt FTX-system, men ett sådant system blir mycket svårt att styra. Radiator-systemet i skivhuset kostar 1 472 000 kr (Bilaga 4).

LCC-värme Skivhuset

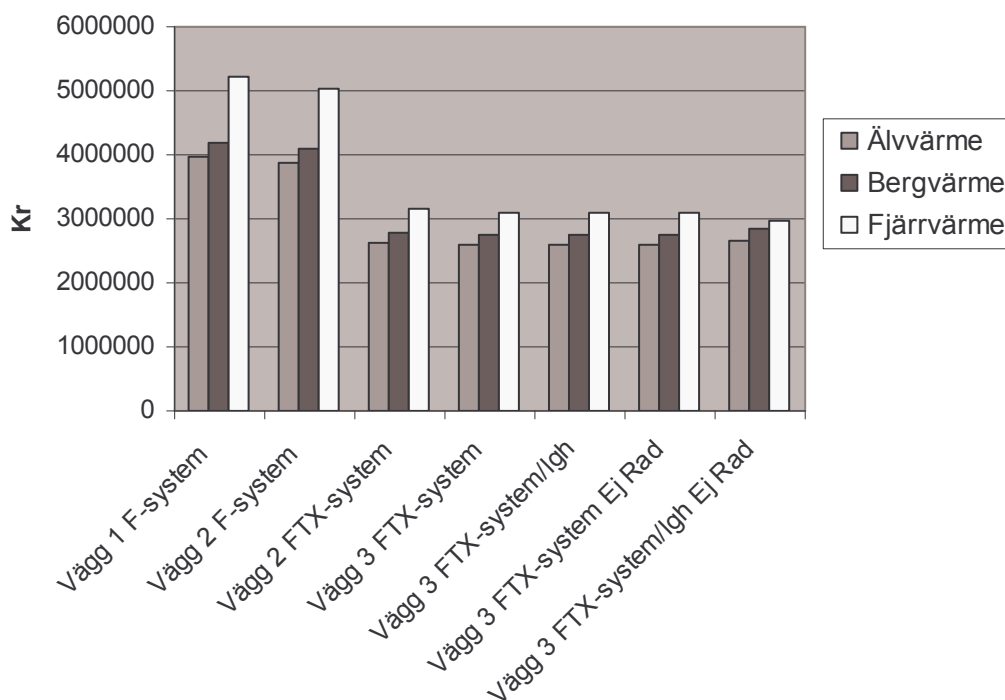


Diagram 4:4. LCC för älv-, berg- och fjärrvärme med olika kombinationer av vägg, ventilationssystem och värmedistributionssystem i skivhuset.

I diagram 4:4 redovisas kostnader för LCC_{värme} med de olika vägg- och ventilationsalternativen. Den lägsta LCC för värme fås med vägg 03 kombinerat med ett FTX-system och den högsta med vägg 01 och F-system. Slutsatsen är att älvsvärme är det mest ekonomiska alternativet för värme. Det skiljer som mest 1 263 000 kr mellan älvsvärme och fjärrvärme och som minst 311 000 kr när kalkylräntan är 5 % och den årliga prisökningen för el och fjärrvärme är 2 %.

4.1.3.6. Sammanlagt resultat för ventilation och värme

För att få en total LCC så läggs kostnaderna från de olika systemen ihop.

$$LCC_{\text{total}} = LCC_{\text{vägg}} + LCC_{\text{vent}} + LCC_{\text{värme}}$$

De totala kostnaderna för älvsvärme med de olika väggarna och ventilationen är redovisade i diagram 4:5 och tabell 4:1. Eftersom älvsvärme är det mest lönsamma alternativet när det gäller värme så har fjärrvärme och bergvärme uteslutits.

Tabell 4:1. Total LCC för olika kombinationer av vägg och ventilationssystem i skivhuset, med älvvärme som värmekälla.

HUSTYP/VÄGG/VENT/ÄLVVÄRME	Total LCC (Kr)
Skivhuset vägg 1 F-system	10 602 000
Skivhuset vägg 2 F-system	10 642 000
Skivhuset vägg 2 FTX-system	10 448 000
Skivhuset vägg 3 FTX-system/hus	10 656 000
Skivhuset vägg 3 FTX-system/lgh	11 059 000
Skivhuset vägg 3 FTX-system/hus ej radiator	9 184 000
Skivhuset vägg 3 FTX-system/lgh ej radiator	9 666 000

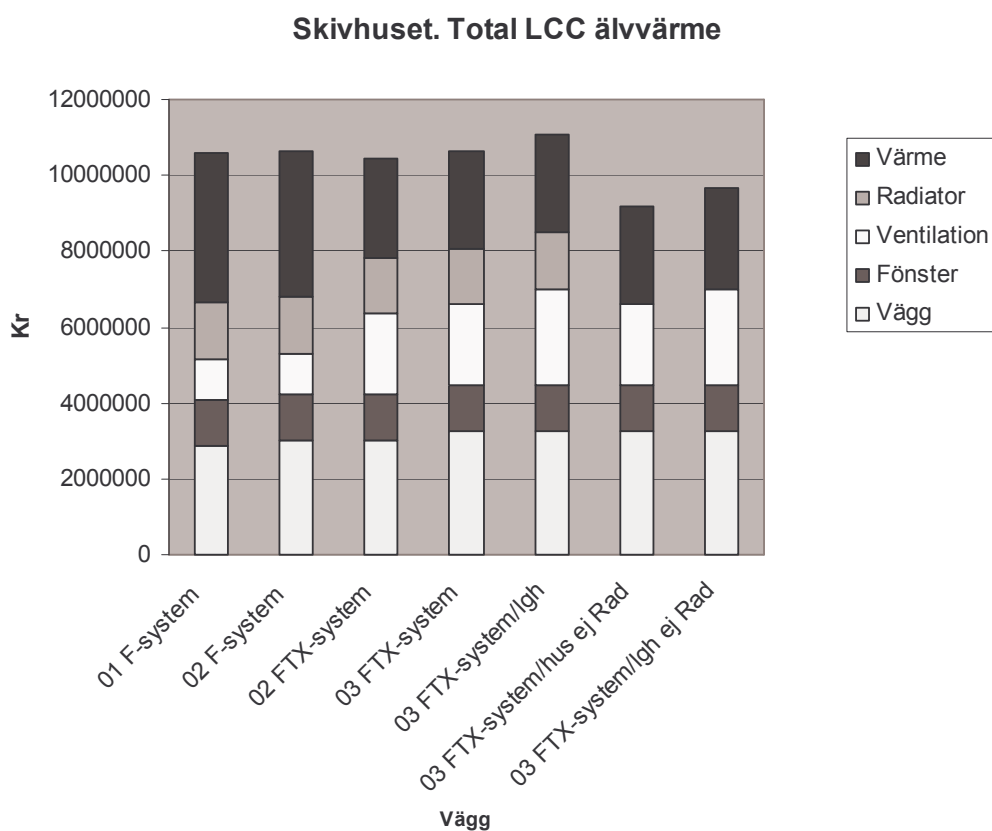


Diagram 4:5. Total LCC för de olika kombinationerna av vägg och ventilationssystem i skivhuset, med älvvärme som värmekälla. Med specificerade kostnader.

Diagram 4:5 visar att vägg 03 med FTX-system centralt och utan radiatorsystem har den lägsta LCC. Eftersom inga klimatsimuleringar gjorts så är detta ett mycket osäkert alternativ ur komfort-synpunkt. Detta gäller i viss grad även vägg 03 med FTX-system i lägenhet och luftvärme. Det mest lönsamma traditionella systemet med radiatorer är vägg 02 med FTX-system centralt, vilket är säkert och beprövat ur komfortsynpunkt.

4.2. Punkthuset

I detta kapitel kommer siffror och resultat från beräkningar av punkthuset att redovisas.

4.2.1. Energiberäkning

Diagram 4:6 visar värmeförbrukning per kvadratmeter och år beräknade i BV^2 . Samma tendens går att se när det gäller punkthuset som med skivhuset, att det skiljer mellan förbrukning med ett F- och ett FTX-system. Noterbart är även här att varmvatten är medräknat i dessa siffror med 30 kWh/m^2 , år. Punkthuset kommer lägst när det gäller värmeförbrukning av de tre hustyperna. Om varmvattnet räknas bort så får den bäst isolerade väggen en årlig förbrukning på endast $5,3 \text{ kWh/m}^2$, år. Denna låga förbrukning är ett bra steg mot ett ”nollhus”. För utförligare siffror se bilaga 6.

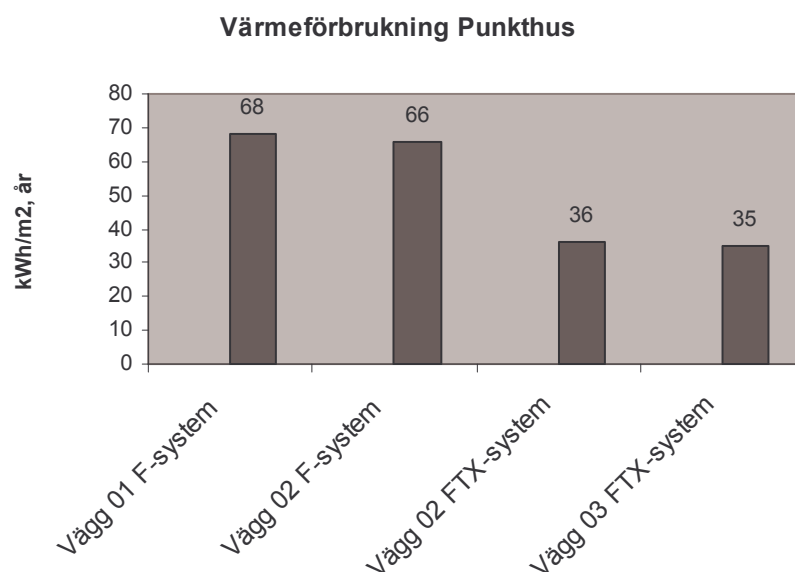


Diagram 4:6. Värmeförbrukning i kWh/m^2 och år för punkthuset. De tre olika väggarna kombinerat med frånlufts-system (F-system) respektive till- och frånlufts-system med värmeåtervinning (FTX-system).

4.2.2. Väggekostnadsberäkning

Punkthusets tre väggar är uppbyggda på det sätt som beskrivs i avsnitt 3.10.2. Arean på väggarna och mängd fönster finns i avsnitt 3.3. Priserna nedan är summan av vägg- och fönsterpriser. En kostnadskalkyl finns i bilaga 1. I priset är de delar som inte varierar mellan de olika väggtyperna utelämnade.

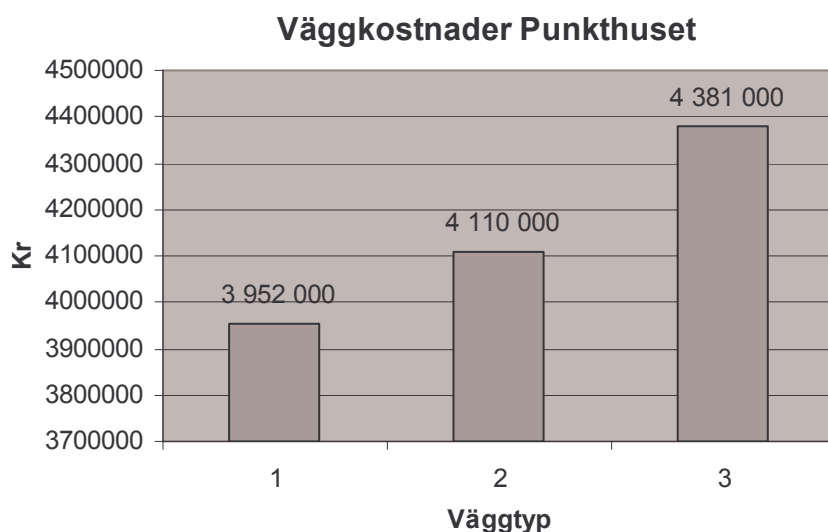


Diagram 4:7. Väggkostnader i kronor för de tre olika väggtyperna i punkthuset inklusive fönster.

Diagram 4:7 visar kostnaden för de tre väggarna. Skillnaden mellan vägg 01 och vägg 03 är 429 000 kronor. För att vägg 03 ska vara lönsam måste merkostnaden på väggen sparas in genom energibesparing.

4.2.3. LCC-beräkning

I följande kapitel redovisas LCC-beräkningar för de olika ventilations- och värmesystemen.

4.2.3.1. F-system

I punkthuset är F-systemet uppbyggt på följande sätt. Luften leds i 3 stammar från köken och 3 stammar från badrummen. Övriga förutsättningar finns i avsnitt 3.7.2. Investeringskostnaden för F-systemet, som är framräknad i Sektionsdata är 530 000 kr. LCC för nyinvesteringen efter 20 år respektive 40 år är totalt 73 000 kr. Fläktarna drar totalt 12 000 kWh över året. Kostnaden för underhåll är uppskattad till 10 000 kr/år.

Investering	530 000 kr
LCC _{und}	256 000 kr
LCC _{drift}	269 000 kr
LCC _{vent F-system}	1 055 000 kr

4.2.3.2. FTX-system centralt

FTX-systemet i punkthuset är utformat på följande sätt. Frånluften leds i 3 stammar från köken och 3 stammar från badrummen. Tilluften leds i 3 stammar till sov- och vardagsrum. Övriga förutsättningar finns i avsnitt 3.7.3. Investeringskostnad för FTX-systemet är 967 000 kr varav 100 000 kr är ett antaget värde för styr och reglerutrustning som inte finns med i kalkylen. LCC för ny-investeringen efter 20 år respektive 40 år är totalt 136 000 kr. Fläktarna drar totalt 32 000 kWh över året. Kostnaden för underhåll är uppskattad till 15 000 kr/år.

Investering	967 000 kr
LCC _{und}	410 000 kr
LCC _{drift}	748 000kr
LCC _{vent} FTX-system centralt	2 125 000 kr

4.2.3.3. FTX-system lägenhet

Systemet är utformat enligt avsnitt 3.7.4. Investeringskostnad för FTX-system i varje lägenhet är totalt 1 176 000 kr. LCC för nyinvesteringen efter 20 år respektive 40 år är totalt 235 000 kr. Fläktarna drar totalt 32 000 kWh över året. Kostnaden för underhåll är uppskattad till 15 000 kr/år.

Investering	1 176 000 kr
LCC _{und}	509 000 kr
LCC _{drift}	746 000 kr
LCC _{vent} FTX-system lägenhet	2 431 000 kr

4.2.3.4. Sammanlagd ventilationskostnad

I diagram 4:8 visas resultatet av LCC-beräkningar för investeringar samt drift- och underhållskostnader i punkthuset. Eftersom vi inte räknat med återvinningen i FTX-systemen i detta skede så går det inte att dra några slutsatser av vilket system som är lämpligast. Dock kan slutsatsen dras att ett centralt FTX-system är mer lönsamt än att installera än ett per lägenhet.

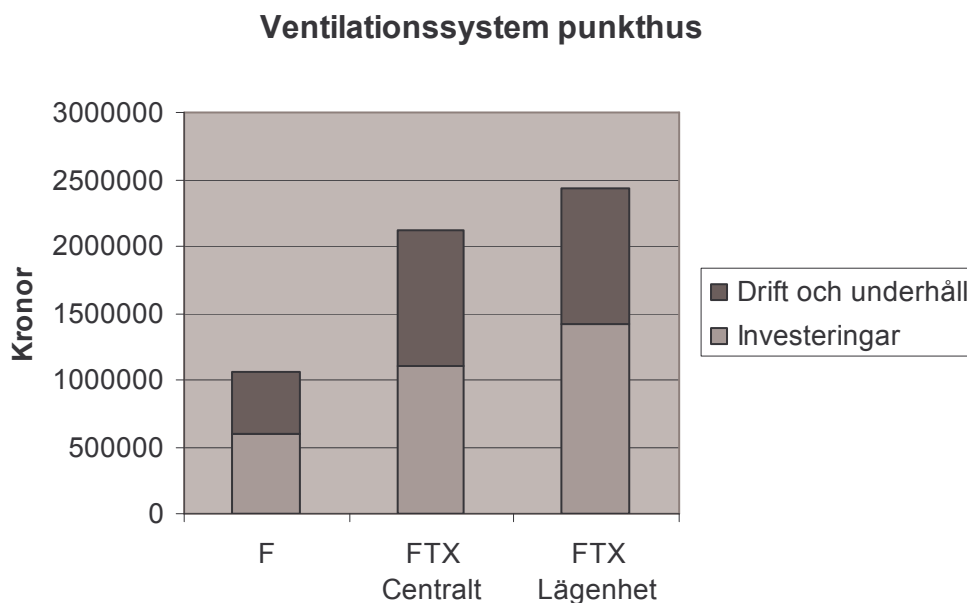


Diagram 4:8. Drift- och underhållskostnad samt investeringskostnader för de olika ventilationsinstallationerna i punkthuset för hela byggnadens livslängd.

4.2.3.5. Värmesystem

Värmesystemet i punkthuset är dimensionerat som i avsnitt 3.8. LCC_{värme} är beräknad med formel i avsnitt 3.8.1. Vagg 01 och 02 har beräknats med ett F-

system och vägg 02 och 03 har beräknats med ett FTX-system för att få fram energiförbrukning. Dessa kombinationer har använts för att få fram kostnaderna för LCC_{värme}. Vi har även räknat fram LCC_{värme} för ett FTX-system i varje lägenhet med luftvärme istället för ett radiatorsystem. Radiatorsystemet i punkthuset kostar 1 440 000 kr (Bilaga 4).

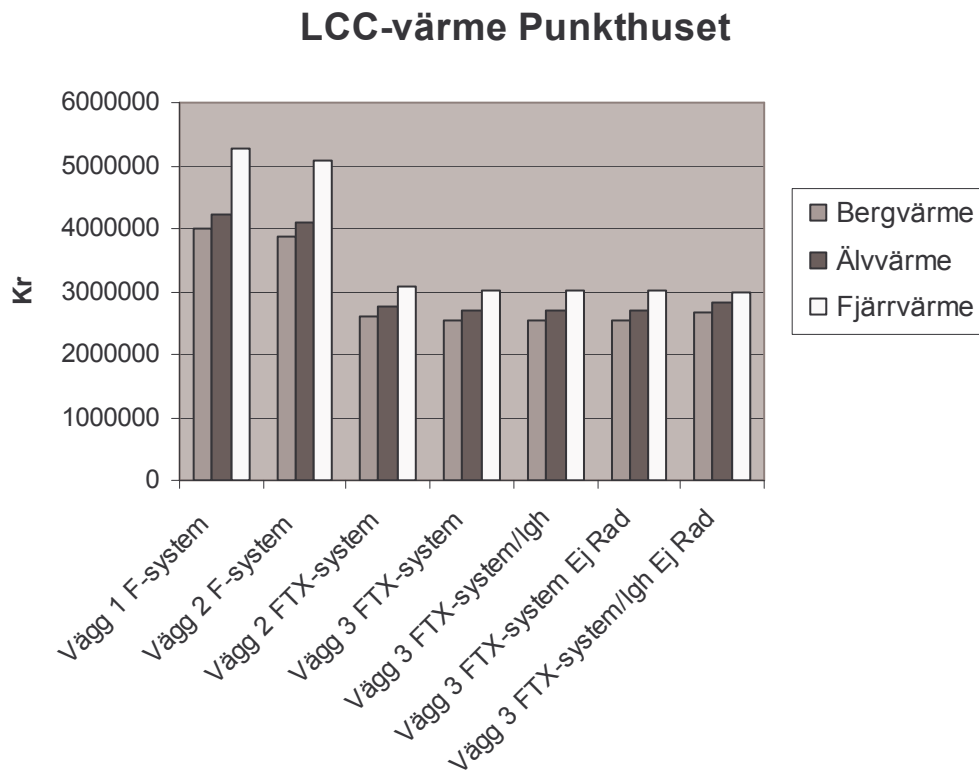


Diagram 4:9. LCC för älv-, berg- och fjärrvärme med olika kombinationerna av vägg, ventilationssystem och värmedistributionsystem i punkthuset.

I diagram 4:9 redovisas kostnader för LCC_{värme} med de olika vägg- och ventilationsalternativen. Resultatet blir det samma som för LCC_{värme} i skivhuset (avsnitt 4.1.3.5).

4.2.3.6. Sammanlagt resultat för ventilation och värme

För att få en total LCC-kostnad så läggs kostnaderna från de olika systemen ihop.

$$LCC_{\text{total}} = LCC_{\text{vägg}} + LCC_{\text{vent}} + LCC_{\text{värme}}$$

De totala kostnaderna för älvvärme med de olika alternativen med väggar och ventilation är redovisade i diagram 4:10 och tabell 4:2. Eftersom älvvärme är det mest lönsamma alternativet när det gäller värme så har fjärrvärme och bergvärme uteslutits.

Tabell 4:2. Total LCC för olika kombinationer av vägg och ventilationsystem i punkthuset, med älvvärme som värmekälla.

HUSTYP/VÄGG/VENT/ÄLVVÄRME	Total LCC (Kr)
Punkthuset vägg 1 F-system	10 442 000
Punkthuset vägg 2 F-system	10 480 000
Punkthuset vägg 2 FTX-system	10 264 000
Punkthuset vägg 3 FTX-system/hus	10 481 000
Punkthuset vägg 3 FTX-system/lgh	10 787 000
Punkthuset vägg 3 FTX-system/hus ej radiator	9 042 000
Punkthuset vägg 3 FTX-system/lgh ej radiator	9 472 000

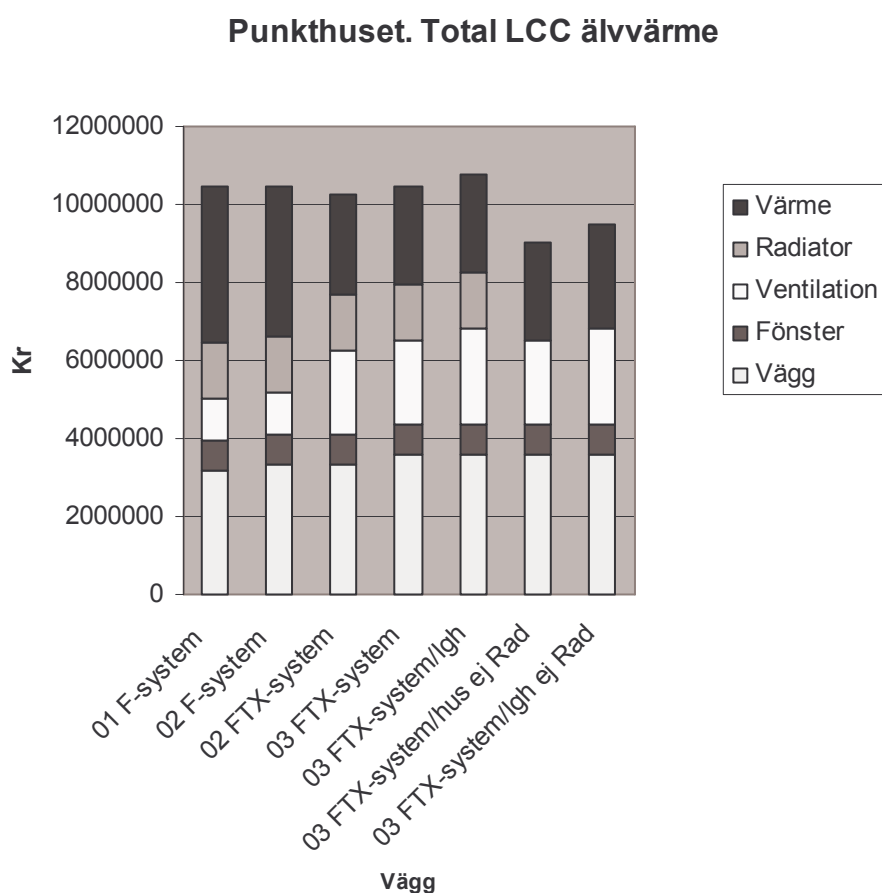


Diagram 4:10. Total LCC för olika kombinationerna av vägg och ventilationssystem i punkthuset, med älvvärme som värmekälla. Med specificerade kostnader.

Resultatet i diagram 4:10 visar att slutsatsen blir samma i punkthuset som i skivhuset (avsnitt 4.1.3.6).

4.3. Beräkningar Radhuset

I detta kapitel kommer siffror och resultat från beräkningar av radhuset att redovisas.

4.3.1. Energiberäkning

Från BV² fås siffrorna i diagram 4:11 som är en sammanställning av förbrukningen av värme i radhuset. Dessa siffror visar en marginell skillnad i jämförelse med skivhuset och punkthuset. För utförligare siffror se bilaga 6.

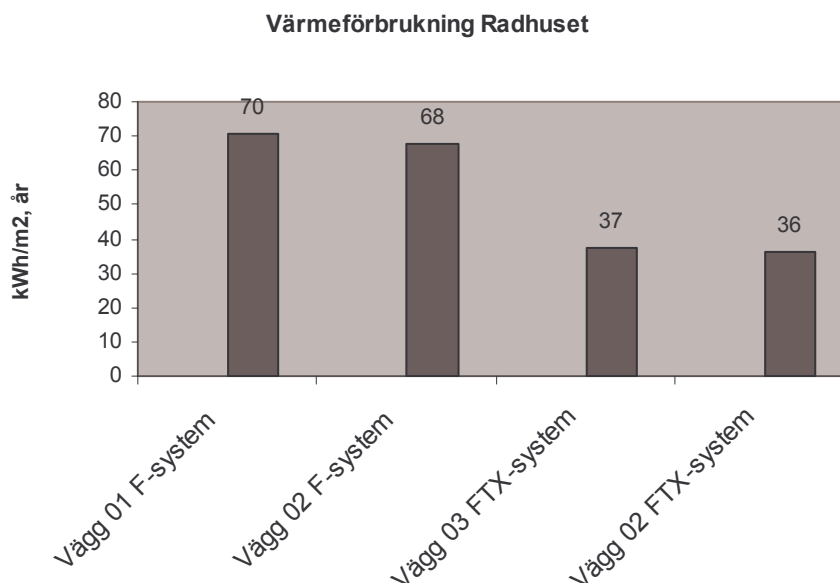


Diagram 4:11. Värmeförbrukning i kWh/m² och år för radhuset. De tre olika väggarna kombinerat med frånluftssystem (F-system) respektive till och frånluftssystem med värmeåtervinning (FTX-system).

4.3.2. Väggekostnadsberäkning

Radhusets tre väggar är uppbyggda på det sätt som beskrivs i avsnitt 3.3. Arean på väggarna och mängd fönster visas i avsnitt 3.10.3. Priserna nedan är summan av vägg- och fönsterpriser. En kostnadskalkyl finns i bilaga 1. I priset är de delar som inte varierar mellan de olika väggtyperna utelämnade.

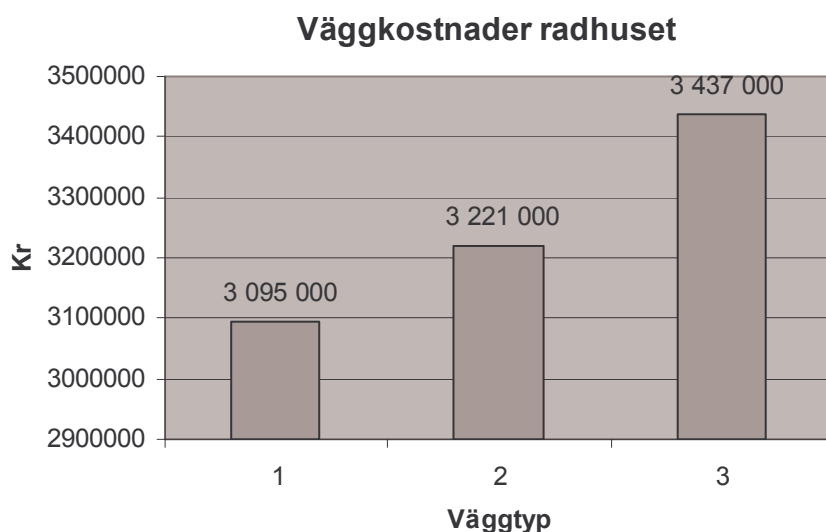


Diagram 4:12. Väggkostnader i kronor för de tre olika väggtyperna i radhuset inklusive fönster.

Diagram 4:12 visar kostnaden för de tre väggarna. Skillnaden mellan vägg 01 och vägg 03 är 342 000 kronor. För att vägg 03 ska vara lönsam måste merkostnaden på väggen sparas in genom energibesparing.

4.3.3. LCC-beräkning

I följande kapitel redovisas LCC-beräkningar för de olika ventilation- och värmesystemen.

4.3.3.1. F-system

I radhuset är F-systemet uppbyggt på följande sätt. Luften leds i 18 stammar från köken och 18 stammar från badrummen. Övriga förutsättningar finns i avsnitt 3.7.2. Investeringskostnaden för F-systemet är 581 000 kr. LCC för nyinvesteringen efter 20 år respektive 40 år är totalt 83 000 kr. Fläktarna drar totalt 11 580 kWh över året. Kostnaden för underhåll är uppskattad till 10 000 kr/år.

Investering	581 000 kr
LCC _{und}	266 000 kr
LCC _{drift}	268 000 kr
LCC _{vent F-system}	1 115 000 kr

4.3.3.2. FTX-system centralt

FTX-systemet i radhuset är utformat på följande sätt. Frånluften leds i 18 stammar från köken och 18 stammar från badrummen. Tilluften leds i 18 stammar till sov- och vardagsrum. Övriga förutsättningar finns i avsnitt 3.7.3. Investeringskostnad för FTX-systemet är 1 063 000 kr varav 100 000 kr är ett antaget värde för styr och reglerutrustning som inte finns med i kalkylen. LCC för nyinvesteringen efter 20 år respektive 40 år är totalt 146 000 kr. Fläktarna drar totalt 32 190 kWh över året. Kostnaden för underhåll är uppskattad till 15 000 kr/år.

Investering	1 063 000 kr
LCC _{und}	420 000 kr
LCC _{drift}	745 000 kr
LCC _{vent} FTX-system centralt	2 228 000 kr

4.3.3.3. FTX-system lägenhet

Systemet är utformat enligt avsnitt 3.7.4. Investeringskostnad för FTX-system i varje lägenhet är totalt 1 267 000 kr. LCC för nyinvesteringen efter 20 år respektive 40 år är totalt 277 000 kr. Fläktarna drar totalt 32 000 kWh över året. Kostnaden för underhåll är uppskattad till 15 000 kr/år.

Investering	1 267 000kr
LCC _{und}	551 000 kr
LCC _{drift}	746 000 kr
LCC _{vent} FTX-system lägenhet	2 564 000 kr

4.3.3.4. Sammanlagd ventilationskostnad

I diagram 4:13 visas resultatet av LCC-beräkningar för investeringar samt drift- och underhållskostnader i radhuset. Eftersom vi inte räknat med återvinningen i FTX-systemen i detta skede så går det inte att dra några slutsatser av vilket system som är lämpligast. Dock kan slutsatsen dras att ett centralt FTX-system är mer lönsamt än att installera ett per lägenhet.

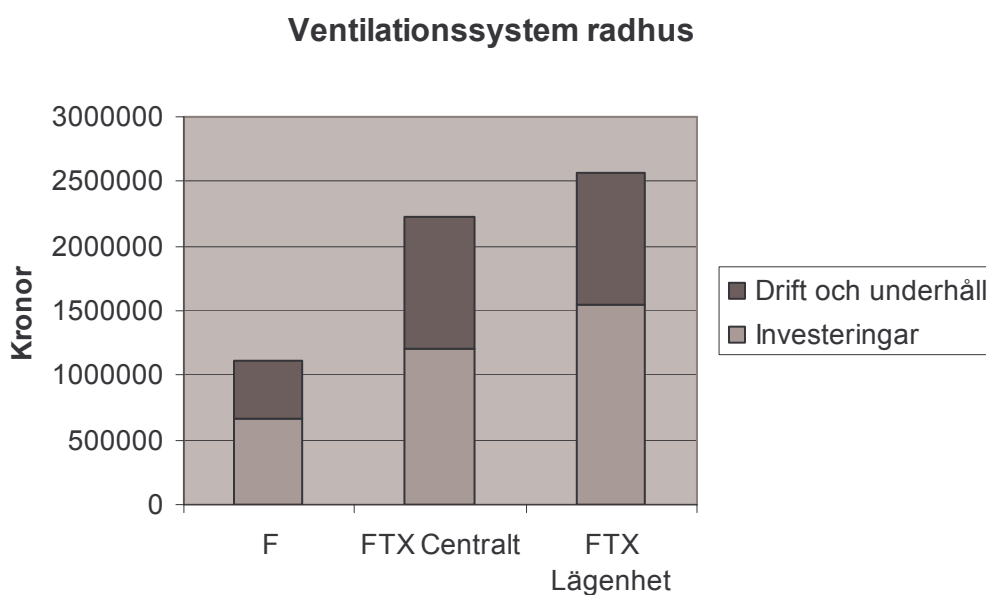


Diagram 4:13. Drift- och underhållskostnad samt investeringskostnader för de olika ventilationsinstallationerna i radhuset för hela byggnadens livslängd.

4.3.3.5. Värmesystem

Värmesystemet i radhuset är dimensionerat som i avsnitt 3.6. LCC_{värme} är beräknad med formel i avsnitt 3.6.1. Vägg 01 och 02 har beräknats med ett F-

system och vägg 02 och 03 har beräknats med ett FTX-system för att få fram energiförbrukning. Dessa kombinationer har använts för att få fram kostnaderna för LCC_{värme}. Vi har även räknat fram LCC_{värme} för ett FTX-system i varje lägenhet med luftvärme istället för ett radiatorsystem. Radiatorsystemet i radhuset kostar 1 568 000 kr (Bilaga 4).

LCC-värme Radhuset

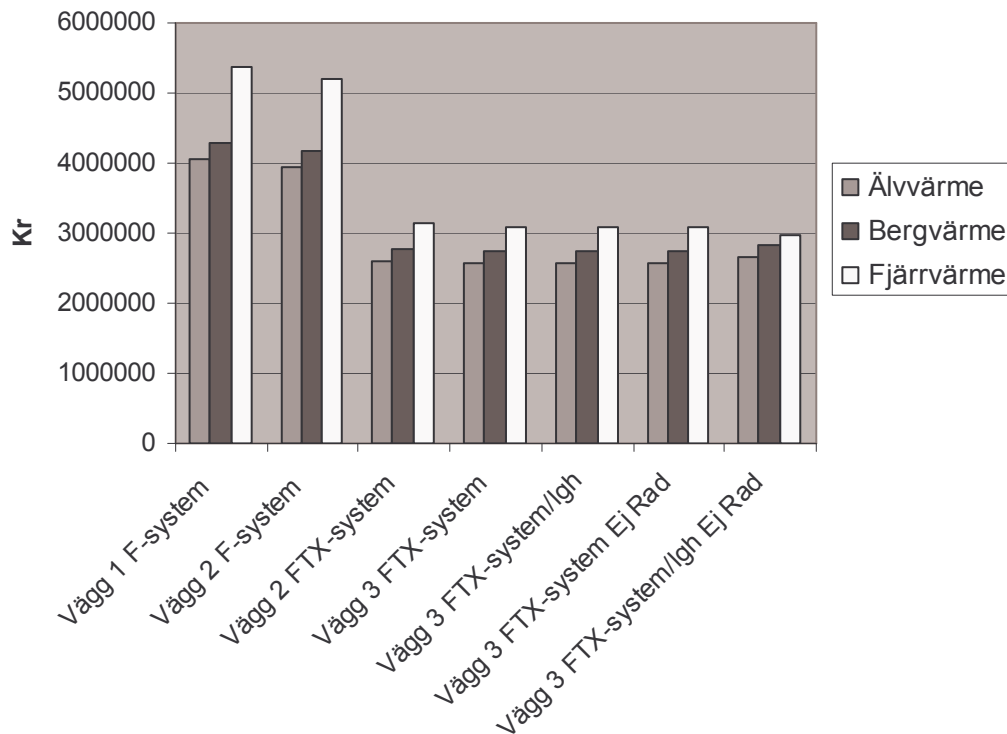


Diagram 4:14. LCC för älv-, berg- och fjärrvärme med olika kombinationerna av vägg, ventilationssystem och värmedistributionsystem i radhuset.

I diagram 4:14 redovisas kostnader för LCC_{värme} med olika vägg- och ventilationsalternativen. Resultatet blir det samma som för LCC_{värme} i skivhuset (avsnitt 4.1.3.5).

4.3.3.6. Sammanlagt resultat för ventilation och värme

För att få en total LCC så läggs kostnaderna från de olika systemen ihop.

$$LCC_{\text{total}} = LCC_{\text{vägg}} + LCC_{\text{vent}} + LCC_{\text{värme}}$$

De totala kostnaderna för älvvärme med de olika alternativen med väggar och ventilation är redovisade i diagram 4:15 och tabell 4:3. Eftersom älvvärme är det mest lönsamma alternativet när det gäller värme så har fjärrvärme och bergvärme uteslutits.

Tabell 4:3. Total LCC för olika kombinationer av vägg- och ventilationssystem i radhuset, med älvvärme som värmekälla.

HUSTYP/VÄGG/VENT/ÄLVVÄRME	Total LCC (Kr)
Radhuset vägg 1 F-system	9 829 000
Radhuset vägg 2 F-system	9 856 000
Radhuset vägg 2 FTX-system	9 622 000
Radhuset vägg 3 FTX-system/hus	9 814 000
Radhuset vägg 3 FTX-system/lgh	10 149 000
Radhuset vägg 3 FTX-system/hus	8 247 000
Radhuset vägg 3 FTX-system/lgh	8 661 000

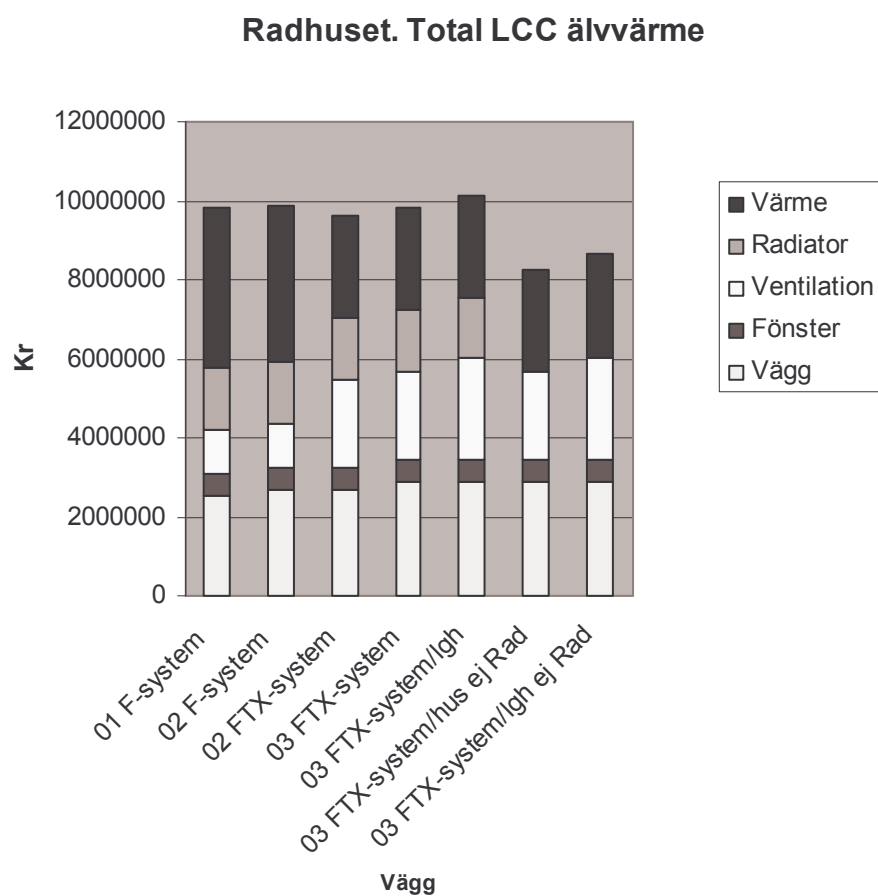


Diagram 4:15. Total LCC för olika kombinationerna av vägg och ventilationssystem i radhuset, med älvvärme som värmekälla. Med specificerade kostnader.

Resultatet i diagram 4:15 visar på en liknande slutsats för radhuset som i skivhuset och punkthuset, avsnitt 4.1.3.6 och 4.2.3.6.

4.4. Jämförelse av total LCC

I detta avsnitt jämförs resultatet för alla tre typhusen, totala LCC samt isolering kontra ventilationseffektivitet.

I diagram 4:16 och tabell 4:4 visas de bästa alternativen med och utan radiator-system enligt LCC, i varje hus. Dessa siffror antyder vilken hustyp som är mest lönsam ur ett LCC-perspektiv på 50 år. Diagrammet visar endast de delar som rör värmeenergiåtgången. Se bilaga 5 för alla väggar och hus.

Tabell 4:4. Total LCC för valda kombinationer av väggar och installationer

HUSTYP/VÄGG/VENT/ÄLVVÄRME	Total LCC (Kr)
S-huset v 02 FTX/hus	10 448 000
S-huset v 03 FTX/hus ej rad	9 184 000
P-huset v 02 FTX/hus	10 264 000
P-huset v 03 FTX/hus ej rad	9 042 000
R-huset v 02 FTX/hus	9 622 000
R-huset v 03 FTX/hus ej rad	8 247 000

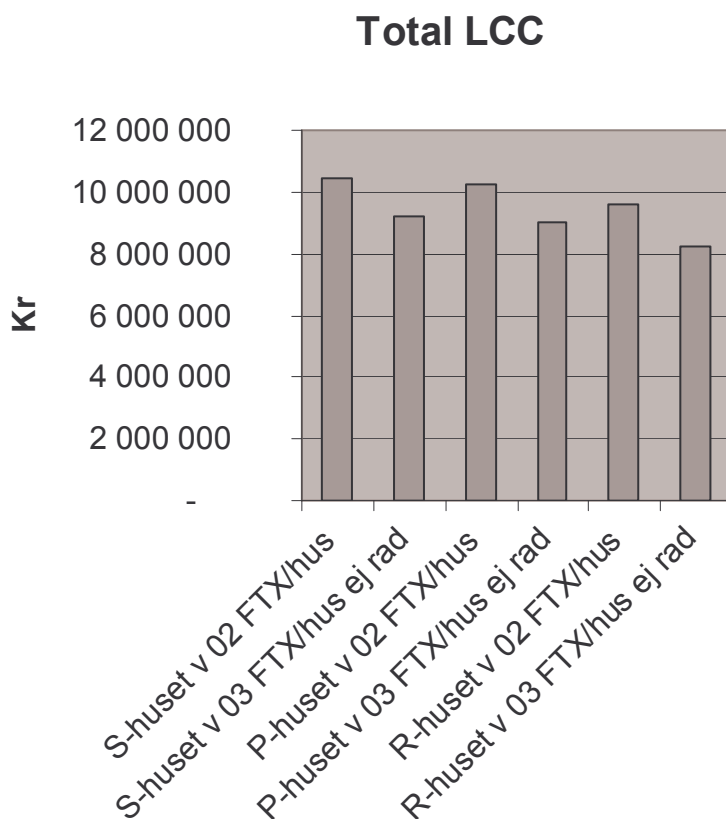


Diagram 4:16. Total LCC för valda kombinationer av väggar och installationer.

Av resultaten går det utläsa att radhuset blir billigast, detta tack vare lägre kostnader för fönster och väggar än i de andra två hustyperna. Radhuset har dock

större kostnader när det gäller värmen, ventilationen och radiatorsystemet, vilket medför att huset är mer känsligt för ökningar av värme- och elpriset. En slutsats som kan dras av resultatet är att oberoende av hustyp så blir samma kombination av vägg och ventilation bäst ur ett LCC-perspektiv. Alternativen som har den lägsta LCC är utan radiatorsystem vägg 03 med FTX-system och med radiatorsystem vägg 02 med FTX-system.

Diagram 4:17 visar att ökad isolering har en marginell påverkan på värmeenergi-åtgången för uppvärmning, medan ett ventilationssystem med värmeåtervinning har en mycket stor påverkan. I diagrammet 4:5 visas skivhuset utan varmvatten, tendensen är dock lika tydlig oavsett vilket hus som studeras.

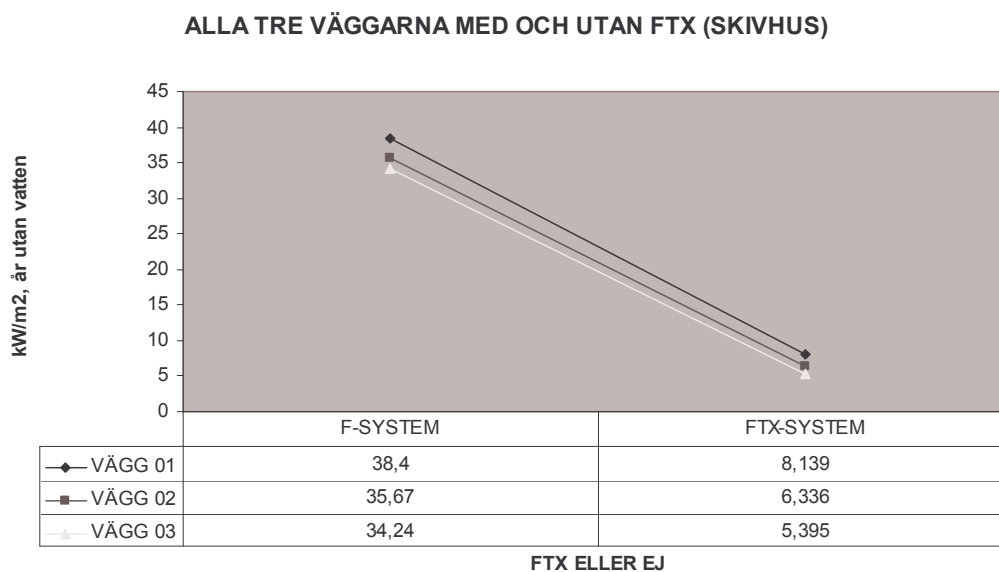


Diagram 4:17. En jämförelse av hur mycket energi skivhuset förbrukar med de tre olika väggtyperna: 01, 02, 03, i kombination med F-system respektive FTX-syetem.

5. Avslutning

5.1. Slutdiskussion

Den mest kostnadseffektiva kombinationen ur LCC-synpunkt är ett centralt system med FTX utan radiatorer. Att ta bort ett radiatorsystem ur ett hus utan att göra klimatsimuleringar är inte lämpligt eftersom det är svårt att förutse kallras vid fönster, drag och dylikt som påverkar komforten i husen. Enligt en rapport från Karlstad Universitet (Beiron, J 2004) så krävs ett fönster som har ett U-värde på max $1,0 \text{ W/m}^2\text{C}^\circ$ för att undvika kallras. Fönstren i denna rapport har ett U-värde på $1,18 \text{ W/m}^2\text{C}^\circ$ vilket är lite för högt. En lösning skulle kunna vara att utrusta varje lägenhet med en el-radiator för att använda vid köldknäppar som luftvär-maren inte klarar av, men problemen med kallras kvarstår dock. Eftersom det inte genomförts några inneklimatsimuleringar så sätts de resultaten inom parentes. Vi förespråkar istället ett lägenhetsbaserat FTX-system och små el-radiatorer som säkerhet vid köldknäppar eller vid komfortproblem.

En ökad isoleringsmängd i väggarna har en minimal påverkan på energiåtgången om den jämförs med ett effektivt ventilationssystem. Detta innebär inte att isoleringen helt kan ignoreras, utan är fortfarande en viktig del i energisnålt byggande. Faktum kvarstår att en effektiv värmeväxlare i ett FTX-system ger en mycket mindre värmeenergiförbrukning än en ökad isoleringsmängd.

Värmeenergiförbrukningen i husen med F-system är cirka $68\text{-}70 \text{ kwh/m}^2/\text{år}$ och husen med FTX-system förbrukar endast cirka $35\text{-}37 \text{ kwh/m}^2/\text{år}$. Detta är långt under ByggaBoDialogens krav på $85 \text{ kwh/m}^2/\text{år}$.

Vid jämförelse av de tre olika hustyperna ser vi att det energisnålaste huset blir punkthuset då det har den största volymen i förhållande till fasad, alltså det minsta YV-värdet. Sedan kommer radhuset i energiförbrukning trots att det har ett högre YV-värde än skivhuset. Att radhuset är energisnålare än skivhuset beror troligen på att husets platta och tak, med sina låga u-värden, är en större andel av klimatskalet än vad de är på skivhuset.

När det gäller värmesystem så skiljer sig LCC ganska mycket mellan fjärrvärme och de två alternativen med värmepump med ett F-system installerat i husen. Mest lönsam är enligt beräkningarna älvvärmepump, följt av berg-värmepump och minst lönsam är fjärrvärme. Problemet med älvvärme kan bli höga drift- och underhållskostnader som inte finns med i beräkningarna. Vi ser även en större utvecklingspotential hos värmepumparna jämfört med fjärr-värmen, så vid utbyte av pumpen om 20 år kan effektiviteten bli högre.

Tack vare värmeåtervinningen i FTX-systemen så har den dimensionerande värmeeffekten sjunkit så att vi kunnat gå ner en storlek i värmepump. Borrhål och slingan i älven blir då också betydligt billigare. Eftersom det är osäkert hur

energipriserna kommer att förändras i framtiden så är ett värmesystem med en värmepump säkrare än ett fjärrvärmesystem.

I rapporten förutsätts en ökning av fjärrvärme- och elpriset med 2 % per år. Om prisökningen blir större kommer det att få stort genomslag på LCC under 50 år. Om både fjärrvärme och el skulle öka procentuellt lika mycket i pris så kommer värmepumparna att bli mer och mer lönsamma eftersom dessa endast har en tredjedel köpt energi. För valet av kalkylränta gäller samma sak då även den har stor genomslagskraft på LCC. Vid en ökad kalkylränta blir fjärrvärme mer lönsamt eftersom investeringarna är mindre gentemot värmepumpar.

I denna rapport har vi visat vikten av ett bra ventilationssystem med återvinning i flerbostadshus med välisolerade och täta väggar. Traditionen med F-system bör brytas och mer kraft bör läggas på utveckling av ventilationssystem med återvinning.

Något som borde studeras i framtiden kan vara hur långsiktigt tänkande kan införas i byggbranschen. Det är också viktigt att få branschen att bygga energisnålt i alla nya byggnader och inte bara i vissa nischade områden.

6. Referenser

6.1. Litteratur

- Beiron, J(2004), "Nollenergiskola med självdragsventilation-potential och rimlighet". Karlstad Universitet, Energi och Miljöteknik.
- Bengtsson, U (2004), *Öppnar för rekordtäta hus*. Byggindustrin Nr 38, 2004.
- Boverket (2003), *ByggaBoDialogen*. Karlskrona
- Boverket (1995), *Boverkets Byggregler Föreskrifter och allmänna råd 94:3*. Byggförlaget, Trelleborg.
- Danielsson, S (1999), *Ventilation*. Tierp.
- Egnahemsbolaget (2003), *Hus utan värmesystem*. Göteborgstryckeriet.
- Elitfönster (1992), *Elitfönster produktkatalog*. Telub inforum AB, Växjö.
- Institutionen för Byggteknik Chalmers tekniska högskola (2001), *Installationsteknik*. Göteborg
- Lindahl, M, Utbult, M, Wärmsjö, P, (2003), *Energioptimering av flerbostadshus*. Institutionen för byggteknik Chalmers tekniska högskola. Göteborg
- Miljöteknikdeligationen (1999), *Miljöteknik inom byggsektorn*. Stockholm.
- Nilsson, A (2004), *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*. Licentiatavhandling från LTH.
- Pettersson, B-Å (2001), *TILLÄMPAD BYGGNADSFYSIK*. Studentlitteratur, Lund.
- Schmitz-Günter, T (2000), *Ekologiskt byggande och boende*. Könemann Verlagsgesellschaft mbH, Lubljana.
- Skärvad, P-H och J Olsson (2003), *FöretagsEkonomi 100*. Upplaga 10:1, Liber, Malmö.
- Stadsbyggnadskontoret i Göteborg (2004), *Program Västra Eriksberg*.

6.2. Elektroniska källor

Elitfönster

http://www.elitfonster.se/kons_ordlista.html (01 maj 2005)

Energimyndigheten

<http://www.stem.se> (3 maj 2005)

Graninge

http://www.graninge.se/templates/Page_____4428.asp (11 maj 2005)

Kristinehamnsenergi

<http://www.kristinehamnsenergi.se/Fjarrvarme/priser.htm> (11 maj 2005)

Paroc

<http://www.paroc.se/channels/se/building+insulation/solutions/external+walls/default.asp> (12 april 2005)

Skogsvardsstyrelsen

<http://www.skogsvardsstyrelsen.se/fakta/stat/12bransle/12diagram.htm> (11 maj 2005)

Sundolitt

<http://www.sundolitt.se/default.asp?menu=145&id> (12 april 2005)

Svensk Fjärrvärme

<http://www.svenskfjarrvarme.se/index.php3?use=publisher&id=1171&lang=1> (12 april 2005)

6.3. Muntliga källor

Aronsson, S, Ph.D, CIT Energy Management AB, Göteborg. Möte 25 april på CIT's kontor.

Holmström, L-O, Platschef, JK-bygg, Göteborg. Möte 4 april samt 21 april vid Höghuset i Eriksberg.

Bilaga 1 Kostnads kalkyl Vagg

Bilaga 2 Kostnads kalkyl Ventilation

Skivhus

Punkthus

Radhus

Objekt	Ort				Räknat	Kollat	Datum	Sida
Punkthuset	Göteborg				PN		2005-04-27	1 (5)
Kapitel 1 LÄGENHETER MM	Mängd	Enhet	Material		Arbete		Underentreprenader	
			Enh.-pris	Summa SEK	Tim/Enh.	Timmar	Enh.-pris	Summa SEK

[illegible]

Objekt		Ort		Räknat	Kollat	Datum	Sida			
Radhuset		Göteborg		PN		2005-04-27	2 (3)			
Kapitel 9 KANALER		Mängd	Enhet	Material		Arbete		Underentreprenader		Anm. (P-kod)
					Enh.-pris	Summa SEK	Tim/Enh.	Timmar	Enh.-pris	

Trpt											
1	18.001	Kanaler+Fläktar(F-luft)	1,0	st							
2	V2000115	200 spirokanal	112,0	m			65,00	0,20	22,40		-
3	V2000114	160 spirokanal	336,0	m			46,00	0,20	67,20		-
4	V2000113	125 spirokanal	436,0	m			37,00	0,18	78,48		-
5	15.006	Takfläkt 700 l/s	2,0	st			11 093,00	2,30	4,60		-
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
Trpt											
									172,68		-
									61 054		

Bilaga 3 Kostnads kalkyl Värmesystem

Skivhus

Punkthus

Radhus

Bilaga 4 Kostnads kalkyl Radiatorsystem

Skivhus

Punkthus

Radhus

Bilaga 5 LCC sammanställning

Skivhus

Punkthus

Radhus

HUSTYP/VÄGG/VENT/ÄLVVÄRME	LCC-KOSTNAD (Fjärrvärme)	LCC-KOSTNAD (Bergvärme)	LCC-KOSTNAD (Älvsvärme)
Skivhuset vägg 1 F-system	11 865 377	10 829 822	10 602 322
Skivhuset vägg 2 F-system	11 824 516	10 869 702	10 642 202
Skivhuset vägg 2 FTX-system	10 994 599	10 621 963	10 448 243
Skivhuset vägg 3 FTX-system/hus	11 173 527	10 830 150	10 656 400
Skivhuset vägg 3 FTX-system/lgh	11 575 840	11 232 463	11 058 713
Skivhuset vägg 3 FTX-system/hus	9 701 598	9 358 221	9 184 471
Skivhuset vägg 3 FTX-system/lgh	9 977 809	9 840 100	9 666 350
Punkthuset vägg 1 F-system	11 727 193	10 669 565	10 442 065
Punkthuset vägg 2 F-system	11 671 139	10 707 182	10 479 682
Punkthuset vägg 2 FTX-system	10 764 083	10 437 384	10 263 634
Punkthuset vägg 3 FTX-system/hus	10 962 978	10 655 245	10 481 495
Punkthuset vägg 3 FTX-system/lgh	11 268 886	10 961 153	10 787 403
Punkthuset vägg 3 FTX-system/hus	9 523 419	9 215 686	9 041 936
Punkthuset vägg 3 FTX-system/lgh	9 783 631	9 645 922	9 472 172
Radhuset vägg 1 F-system	11 157 609	10 056 318	9 828 818
Radhuset vägg 2 F-system	11 108 149	10 083 610	9 856 110
Radhuset vägg 2 FTX-system	10 158 174	9 795 553	9 621 803
Radhuset vägg 3 FTX-system/hus	10 308 510	9 988 147	9 814 397
Radhuset vägg 3 FTX-system/lgh	10 643 596	10 323 233	10 149 483
Radhuset vägg 3 FTX-system/hus	8 740 736	8 420 373	8 246 623
Radhuset vägg 3 FTX-system/lgh	8 972 225	8 834 516	8 660 766

Bilaga 6 Effekter och energier

Effekter och Energier

SKIVHUS01ki80+145+45.bv2					SKIVHUS01ki80+145+45FTX.bv2				
Effekter [kW]		Dag			Natt			Dim	
Energier [MWh]	Radiator	83,98	88,48	88,48	Energier [MWh]	Radiator	28,18	32,34	32,34
	värmebatt	0	0	0		värmebatt	5,344	5,393	5,393
	Tappvarmv.	145,6	145,6	145,6		Tappvarmv.	145,6	145,6	145,6
	Totalt	229,6	234,1	234,1		Totalt	179,2	183,4	183,4
Energier [MWh]	Radiator	54,65	106	160,7	Energier [MWh]	Radiator	8,669	25,39	34,06
	värmebatt	0	0	0		värmebatt	2,253	3,789	6,043
	Tappvarmv	52,31	73,23	125,5		Tappvarmv	52,31	73,23	125,5
	Totalt	106,9	179,3	286,2		Totalt	63,24	102,4	165,6
Effekter [W/m²]		Dag			Natt			Dim	
Energier [kWh/m²]	Radiator	20,06	21,14	21,14	Energier [kWh/m²]	Radiator	6,733	7,728	7,728
	värmebatt	0	0	0		värmebatt	1,277	1,288	1,288
	Tappvarmv.	34,81	34,81	34,81		Tappvarmv.	34,81	34,81	34,81
	Totalt	54,87	55,95	55,95		Totalt	42,82	43,82	43,82
Energier [kWh/m²]	Radiator	13,05	25,34	38,4	Energier [kWh/m²]	Radiator	2,071	6,068	8,139
	värmebatt	0	0	0		värmebatt	0,5384	0,9055	1,444
	Tappvarmv	12,5	17,49	30		Tappvarmv	12,5	17,49	30
	Totalt	25,56	42,84	68,4		Totalt	15,11	24,47	39,58

Effekter och Energier

SKIVHUS02ki120+170+45.bv2				SKIVHUS02ki120+170+45.bv2						
Effekter [kW]	Effekter [kW]				Energier [MWh]	Energier [MWh]				
	Dag	Natt	Dim			Dag	Natt	Dim		
	Radiator	83,98	88,48	88,48			Radiator	28,18	32,34	32,34
	värmebatt	0	0	0			värmebatt	5,344	5,393	5,393
	Tappvarmv.	145,6	145,6	145,6			Tappvarmv.	145,6	145,6	145,6
Totalt	229,6	234,1	234,1		Totalt	179,2	183,4	183,4		
Energier [MWh]	Energier [MWh]				Energier [MWh]	Energier [MWh]				
	Dag	Natt	Dim			Dag	Natt	Dim		
	Radiator	54,65	106	160,7			Radiator	8,669	25,39	34,06
	värmebatt	0	0	0			värmebatt	2,253	3,789	6,043
	Tappvarmv	52,31	73,23	125,5			Tappvarmv	52,31	73,23	125,5
Totalt	106,9	179,3	286,2		Totalt	63,24	102,4	165,6		
Effekter [W/m²]	Effekter [W/m²]				Effekter [W/m²]	Effekter [W/m²]				
	Dag	Natt	Dim			Dag	Natt	Dim		
	Radiator	20,06	21,14	21,14			Radiator	6,733	7,728	7,728
	värmebatt	0	0	0			värmebatt	1,277	1,288	1,288
	Tappvarmv.	34,81	34,81	34,81			Tappvarmv.	34,81	34,81	34,81
Totalt	54,87	55,95	55,95		Totalt	42,82	43,82	43,82		
Energier [kWh/m²]	Energier [kWh/m²]				Energier [kWh/m²]	Energier [kWh/m²]				
	Dag	Natt	Dim			Dag	Natt	Dim		
	Radiator	13,05	25,34	38,4			Radiator	2,071	6,068	8,139
	värmebatt	0	0	0			värmebatt	0,5384	0,9055	1,444
	Tappvarmv	12,5	17,49	30			Tappvarmv	12,5	17,49	30
Totalt	25,56	42,84	68,4		Totalt	15,11	24,47	39,58		

Effekter och Energier

SKIVHUS03ki200+195+45.bv2				SKIVHUS03ki200+195+45FTX.bv2				
Effekter [kW]	Effekter [kW]			Energier [MWh]	Energier [MWh]			
	Dag	Natt	Dim		Dag	Natt	Dim	
	Radiator	78,19	82,68		82,68	Radiator	22,38	26,55
	värmebatt	0	0		0	värmebatt	5,344	5,393
	Tappvarmv.	145,6	145,6		145,6	Tappvarmv.	145,6	145,6
Energier [MWh]	Totalt	223,8	228,3	228,3	Totalt	173,4	177,6	
	Radiator	47,84	95,48	143,3	Radiator	4,861	17,71	
	värmebatt	0	0	0	värmebatt	2,052	3,563	
	Tappvarmv	52,31	73,23	125,5	Tappvarmv	52,31	73,23	
	Totalt	100,1	168,7	268,8	Totalt	59,23	94,51	
Effekter [W/m²]	Effekter [W/m²]			Energier [kWh/m²]	Energier [kWh/m²]			
	Dag	Natt	Dim		Dag	Natt	Dim	
	Radiator	18,68	19,75		19,75	Radiator	5,348	6,344
	värmebatt	0	0		0	värmebatt	1,277	1,288
	Tappvarmv.	34,81	34,81		34,81	Tappvarmv.	34,81	34,81
Energier [kWh/m²]	Totalt	53,49	54,56	54,56	Totalt	41,43	42,44	
	Radiator	11,43	22,81	34,24	Radiator	1,161	4,233	
	värmebatt	0	0	0	värmebatt	0,4903	0,8515	
	Tappvarmv	12,5	17,49	30	Tappvarmv	12,5	17,49	
	Totalt	23,93	40,31	64,24	Totalt	14,15	22,58	

Effekter och Energier

PUNKT01ki80+145+45.bv2				PUNKT01ki80+145+45FTX.bv2				
Effekter [kW]	Effekter [kW]			Energier [MWh]	Effekter [kW]			
	Dag	Natt	Dim		Dag	Natt	Dim	
	Radiator	82,05k	84,93k		84,93k	Radiator	25,81k	28,27k
	värmebatt	0	0		0	värmebatt	5,389k	5,453k
	Tappvarmv.	146,6k	146,6k		146,6k	Tappvarmv.	146,6k	146,6k
Energier [MWh]	Totalt	228,6k	231,5k	231,5k	Totalt	177,8k	180,3k	
	Dag	Natt	Dim	Dag	Natt	Dim		
	Radiator	58,57M	104,4M	163M	Radiator	8,761M	21,29M	
	värmebatt	0	0	0	värmebatt	2,412M	3,891M	
	Tappvarmv	52,65M	73,7M	126,3M	Tappvarmv	52,65M	73,7M	
Totalt	111,2M	178,1M	289,4M	Totalt	63,82M	98,89M	162,7M	
PUNKT01ki80+145+45.bv2				PUNKT01ki80+145+45FTX.bv2				
Effekter [W/m²]	Effekter [W/m²]			Energier [kWh/m²]	Effekter [W/m²]			
	Dag	Natt	Dim		Dag	Natt	Dim	
	Radiator	19,48	20,16		20,16	Radiator	6,128	6,712
	värmebatt	0	0		0	värmebatt	1,279	1,294
	Tappvarmv.	34,81	34,81		34,81	Tappvarmv.	34,81	34,81
Energier [kWh/m²]	Totalt	54,29	54,97	54,97	Totalt	42,21	42,81	
	Dag	Natt	Dim	Dag	Natt	Dim		
	Radiator	13,9k	24,8k	38,71k	Radiator	2,08k	5,056k	
	värmebatt	0	0	0	värmebatt	572,7	924	
	Tappvarmv	12,5k	17,49k	30k	Tappvarmv	12,5k	17,49k	
Totalt	26,4k	42,3k	68,71	Totalt	15,15k	23,47k	38,63	

Effekter och Energier

Effekter [kW]		PUNKT02ki120+170+45.bv2			PUNKT02ki120+170+45FTX.bv2			
Energier [MWh]	Effekter [kW]	Dag	Natt	Dim	Radiator	Dag	Natt	Dim
		77,64k	80,52k	80,52k	värmebatt	21,4k	23,86k	23,86k
		0	0	0	värmebatt	5,389k	5,453k	5,453k
		146,6k	146,6k	146,6k	Tappvarmv.	146,6k	146,6k	146,6k
		224,2k	227,1k	227,1k	Totalt	173,4k	175,9k	175,9k
Energier [MWh]	Energier [MWh]	Dag	Natt	Dim	Radiator	Dag	Natt	Dim
		53,31M	96,46M	149,7M	Radiator	5,608M	15,29M	20,9M
		0	0	0	värmebatt	2,269M	3,747M	6,017M
		52,65M	73,7M	126,3M	Tappvarmv	52,65M	73,7M	126,3M
		105,9M	170,1M	276,1M	Totalt	60,53M	92,74M	153,2M
Effekter [W/m²]		PUNKT02ki120+170+45.bv2			PUNKT02ki120+170+45FTX.bv2			
Energier [kWh/m²]	Effekter [W/m²]	Dag	Natt	Dim	Radiator	Dag	Natt	Dim
		18,43	19,11	19,11	Radiator	5,081	5,665	5,665
		0	0	0	värmebatt	1,279	1,294	1,294
		34,81	34,81	34,81	Tappvarmv.	34,81	34,81	34,81
		53,24	53,92	53,92	Totalt	41,17	41,76	41,76
Energier [kWh/m²]	Energier [kWh/m²]	Dag	Natt	Dim	Radiator	Dag	Natt	Dim
		12,65k	22,9k	35,56k	Radiator	1,331k	3,631k	4,962k
		0	0	0	värmebatt	538,9	889,6	1,428k
		12,5k	17,49k	30k	Tappvarmv	12,5k	17,49k	30k
		25,15k	40,4k	65,56	Totalt	14,37k	22,02k	36,39

Effekter och Energier

PUNKT03ki200+195+45.bv2				PUNKT03ki200+195+45FTX.bv2				
Effekter [kW]	Dag	Natt	Dim	Effekter [kW]	Dag	Natt	Dim	
Energier [MWh]	Radiator	75,29k	78,17k	78,17k	Radiator	19,05k	21,5k	21,5k
	värmebatt	0	0	0	värmebatt	5,389k	5,453k	5,453k
	Tappvarmv.	146,6k	146,6k	146,6k	Tappvarmv.	146,6k	146,6k	146,6k
	Totalt	221,9k	224,7k	224,7k	Totalt	171k	173,5k	173,5k
Energier [MWh]	Dag	Natt	Dim	Energier [MWh]	Dag	Natt	Dim	
	Radiator	50,54M	92,14M	142,6M	Radiator	4,148M	12,41M	16,55M
	värmebatt	0	0	0	värmebatt	2,173M	3,63M	5,804M
	Tappvarmv	52,65M	73,7M	126,3M	Tappvarmv	52,65M	73,7M	126,3M
Totalt	103,2M	165,8M	269M	Totalt	58,97M	89,74M	148,7M	
Effekter [W/m²]	Dag	Natt	Dim	Effekter [W/m²]	Dag	Natt	Dim	
Energier [kWh/m²]	Radiator	17,87	18,56	18,56	Radiator	4,522	5,106	5,106
	värmebatt	0	0	0	värmebatt	1,279	1,294	1,294
	Tappvarmv.	34,81	34,81	34,81	Tappvarmv.	34,81	34,81	34,81
	Totalt	52,68	53,37	53,37	Totalt	40,61	41,21	41,21
Energier [kWh/m²]	Dag	Natt	Dim	Energier [kWh/m²]	Dag	Natt	Dim	
	Radiator	12k	21,87k	33,87k	Radiator	984,8	2,946k	3,931k
	värmebatt	0	0	0	värmebatt	516	861,9	1,378k
	Tappvarmv	12,5k	17,49k	30k	Tappvarmv	12,5k	17,49k	30k
Totalt	24,5k	39,37k	63,87	Totalt	14k	21,3k	35,3	

Effekter och Energier

Radhus01ki80+145+45.bv2				Radhus01ki80+145+45FTX.bv2			
Effekter [kW]	Dag			Natt			Dim
	Radiator	81,15k	82,94k	25,04k	26,28k	26,28k	
	värmebatt	0	0	5,378k	5,46k	5,46k	
	Tappvarmv.	146,2k	146,2k	146,2k	146,2k	146,2k	
	Totalt	227,3k	229,1k	176,6k	177,9k	177,9k	
Energier [MWh]	Dag			Natt			Dim
	Radiator	64,19M	105,4M	10,89M	21,2M	32,09M	
	värmebatt	0	0	2,503M	3,966M	6,47M	
	Tappvarmv	52,5M	73,49M	52,5M	73,49M	126M	
	Totalt	116,7M	178,9M	65,89M	98,66M	164,5M	
Effekter [W/m²]	Dag			Natt			Dim
	Radiator	19,32	19,74	5,963	6,258	6,258	
	värmebatt	0	0	1,28	1,3	1,3	
	Tappvarmv.	34,81	34,81	34,81	34,81	34,81	
	Totalt	54,13	54,55	42,05	42,36	42,36	
Energier [kWh/m²]	Dag			Natt			Dim
	Radiator	15,28k	25,11k	2,593k	5,049k	7,642k	
	värmebatt	0	0	596	944,4	1,54k	
	Tappvarmv	12,5k	17,49k	12,5k	17,49k	30k	
	Totalt	27,78k	42,61k	15,69k	23,49k	39,18	

Effekter och Energier

Radhus02ki120+170+45.bv2				Radhus02ki120+170+45FTX.bv2					
Effekter [kW]	Dag			Natt			Dim		
	Radiator	77,64k	79,43k	79,43k	79,43k	79,43k	22,77k	22,77k	22,77k
	värmebatt	0	0	0	0	0	5,46k	5,46k	5,46k
	Tappvarmv.	146,2k	146,2k	146,2k	146,2k	146,2k	146,2k	146,2k	146,2k
	Totalt	223,8k	225,6k	225,6k	225,6k	225,6k	174,4k	174,4k	174,4k
Energier [MWh]				Energier [MWh]					
	Dag			Natt			Dim		
	Radiator	59,72M	99,01M	158,7M	158,7M	158,7M	16,19M	24,11M	24,11M
	värmebatt	0	0	0	0	0	3,879M	6,304M	6,304M
	Tappvarmv	52,5M	73,49M	126M	126M	126M	73,49M	126M	126M
	Totalt	112,2M	172,5M	284,7M	284,7M	284,7M	93,56M	156,4M	156,4M
Effekter [W/m²]				Effekter [W/m²]					
	Dag			Natt			Dim		
	Radiator	18,48	18,91	18,91	18,91	18,91	5,423	5,423	5,423
	värmebatt	0	0	0	0	0	1,3	1,3	1,3
	Tappvarmv.	34,81	34,81	34,81	34,81	34,81	34,81	34,81	34,81
	Totalt	53,29	53,72	53,72	53,72	53,72	41,53	41,53	41,53
Energier [kWh/m²]				Energier [kWh/m²]					
	Dag			Natt			Dim		
	Radiator	14,22k	23,57k	37,79k	37,79k	37,79k	3,855k	5,741k	5,741k
	värmebatt	0	0	0	0	0	923,7	1,501k	1,501k
	Tappvarmv	12,5k	17,49k	30k	30k	30k	17,49k	30k	30k
	Totalt	26,72k	41,07k	67,79	67,79	67,79	22,27k	37,24	37,24

Effekter och Energier

Radhus03ki200+195+45.bv2				Radhus03ki200+195+45FTX.bv2			
Effekter [kW]	Dag			Natt			Dim
	Radiator	75,77k	77,55k	Radiator	19,66k	20,9k	
	värmebatt	0	0	värmebatt	5,378k	5,46k	
	Tappvarmv.	146,2k	146,2k	Tappvarmv.	146,2k	146,2k	
	Totalt	221,9k	223,7k	Totalt	171,2k	172,5k	
Energier [MWh]	Dag			Natt			Dim
	Radiator	57,39M	95,39M	Radiator	6,452M	13,67M	
	värmebatt	0	0	värmebatt	2,366M	3,815M	
	Tappvarmv	52,5M	73,49M	Tappvarmv	52,5M	73,49M	
	Totalt	109,8M	168,8M	Totalt	61,32M	90,99M	
Effekter [W/m²]	Dag			Natt			Dim
	Radiator	18,04	18,46	Radiator	4,681	4,977	
	värmebatt	0	0	värmebatt	1,28	1,3	
	Tappvarmv.	34,81	34,81	Tappvarmv.	34,81	34,81	
	Totalt	52,85	53,27	Totalt	40,77	41,08	
Energier [kWh/m²]	Dag			Natt			Dim
	Radiator	13,66k	22,71k	Radiator	1,536k	3,257k	
	värmebatt	0	0	värmebatt	563,4	908,5	
	Tappvarmv	12,5k	17,49k	Tappvarmv	12,5k	17,49k	
	Totalt	26,16k	40,21k	Totalt	14,6k	21,66k	