



ENERGIANVÄNDNING OCH -FÖRSÖRJNING FÖR BYGGNADER UR ETT SYSTEMPERSPEKTIV

— ETT SAMVERKANSPROJEKT MELLAN
BYGG- OCH ENERGIBRANSCHEN

RAPPORT, MAJ 2006

2006-05-30

RAPPORT

2 (2)

Förord

Detta samverkansprojekt har skapats för att undersöka vilka möjligheter och risker som finns vid utformande av byggnader avseende resursanvändning i ett helhetsperspektiv. Sambanden mellan energiomvandling och energianvändning är komplexa och behöver belysas mer. Detta arbete kan ses som ett delsteg i den processen.

Fjärrvärme utgör cirka 80 % av värmeförsörjningen för flerbostadshus och kontor i Sverige, vilket också förklarar sammansättningen av projektgruppen. En utökad dialog med andra aktörer bedöms vara nödvändig för att vi ska kunna nå målet om en hållbar energianvändning i bebyggelsen. Studien omfattar nya flerbostadshus och kontorsbyggnader. Den metodik som använts i denna studie kan med fördel även användas för befintliga byggnader, andra byggnadstyper, andra tillförelsalternativ och andra effektiviseringsåtgärder.

Detta projekt är gemensamt finansierat av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) och Svensk Fjärrvärme i samarbete med E.ON, Fortum Värme, Göteborg Energi, JM, NCC Teknik, Skanska Sverige, Tekniska Verken i Linköping samt Veidekke Bostad.

I arbetet har följande arbetsgrupp deltagit: Bengt Bergqvist, NCC Teknik, Hans Pilebro, Skanska Sverige, Johan Tjernström, Fortum Värme, Johnny Kellner, Veidekke Bostad, Jonas Gräslund (projektledare), Skanska Sverige, Kjell-Åke Henriksson, JM, Lars-Ove Gustavsson, Tekniska Verken i Linköping, Maria Blechingberg, Göteborg Energi, Maria Lindroth, E.ON, samt Mikael Gustafsson, Svensk Fjärrvärme. Arbetsgruppen har aktivt samlat in underlag och statistik från fastigheter och anläggningar inom de egna organisationerna och genomfört energiberäkningar. Vidare har Agneta Persson, WSP Environmental, deltagit i arbetet som utredare, rapportförfattare och projektsekreterare. I arbetet har även Ann Björnsjö och Linn Dahlberg, båda från ÅF-Process AB, deltagit med beräkningar och vidare bearbetning av erhållet underlag.

Arbetsgruppen och författaren svarar själva för analys och slutsatser i denna rapport, de ståndpunkter som redovisas i rapporten motsvarar inte nödvändigtvis ståndpunkterna från arbetsgruppens representanter och författarens organisationer.

2006-05-30

RAPPORT

4 (4)

Innehåll

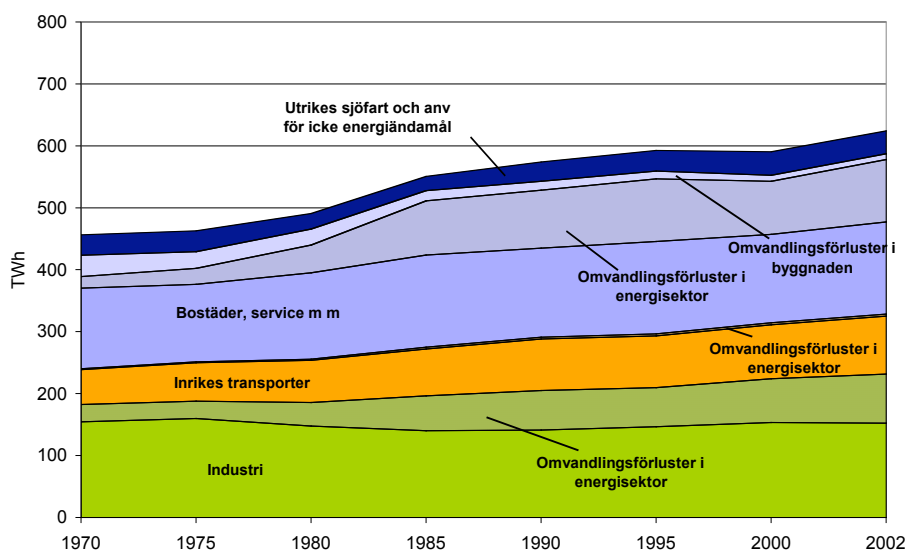
1	SAMMANFATTNING	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Reflektioner över studiens resultat	8
1.3	Slutsatser	9
1.4	Metodik	12
1.5	Studiens energitillförselalternativ	12
1.6	Åtgärdscombinationer för flerbostadshus och energitillförsel	13
1.7	Åtgärdscombinationer för kontorsbyggnad och energitillförsel	21
2	INLEDNING OCH BAKGRUND	28
3	SYFTE	29
4	RESURS- OCH KOSTNADSEFFEKTIVA KOMBINATIONER AV ENERGIANVÄNDNING OCH –TILLFÖRSEL	30
4.1	Resursanvändning uttryckt i primärenergianvändning och CO ₂ - utsläpp	30
4.2	Investering och livscykelkostnad för åtgärder	31
4.3	Energitillförsel	32
4.4	Fallet flerbostadshus	34
4.5	Jämförelse med andra energieffektiva bostäder	74
4.6	Fallet kontorsbyggnad	78
4.7	Jämförelse med en känd energieffektiv kontorsbyggnad	120
5	PARAMETERSTUDIER OCH KÄNSLIGHETSANALYS	124
5.1	Val av annan allokeringsprincip för kraftvärme	124
5.2	Andel förnybar energi	125
5.3	Värdering av spillvärme	129
5.4	LCC-kalkyl och kalkylränta	129
5.5	Kostnader för FTX-system i flerbostadshus	130
5.6	Brukstid för vitvaror	133
6	SLUTSATSER	134
6.1	Åtgärdscombinationer för flerbostadshus och energitillförsel	134
6.2	Åtgärdscombinationer för kontorsbyggnad och energitillförsel	141
6.3	Kostnadseffektiva åtgärder som minskar miljöpåverkan	146
6.4	Kostnadseffektiva åtgärder som ökar miljöpåverkan	148
7	FÖRUTSÄTTNINGAR OCH AVGRÄNSNINGAR	150
7.1	Ekonomiska förutsättningar	150
7.2	Klimatförhållanden	150
7.3	Typbyggnader som används för beräkningar	150
7.4	Förhållandet mellan verklig och beräknad energianvändning	151
7.5	Infrastruktur	153
7.6	Åtgärder	155

2006-05-30	RAPPORT	6 (6)
8	REFERENSER	156
9	DEFINITIONER	157
	BILAGA 1 KOSTNADER FÖR ÅTGÄRDER I BYGGNAD OCH ENERGITILLFÖRSELSYSTEM	158
	BILAGA 2 PRIMÄRENERGIFAKTORER OCH KOLDIOXIDUTSLÄPP	160
	BILAGA 3 SAMMANSTÄLLNING AV ANVÄNDA FORMLER	164

1 Sammanfattning

1.1 Bakgrund

Minskad energianvändning och minskade utsläpp av växthusgaser är ett övergripande samhällsmål som berör alla. Energianvändningen i bebyggelsen står för cirka 40 procent av landets totala energianvändning, bebyggelsens andel av energianvändningen är densamma inom övriga EU. När det gäller koldioxidutsläpp är bebyggelsens andel i Sverige cirka 25 procent av de totala utsläppen. Trots att det i Sverige från såväl bygg- och energibranschen som från myndigheter och andra aktörer har bedrivits ett aktivt arbete med effektivare energianvändning har bebyggelsens energianvändning inte minskat under de senaste 30 åren om man inkluderar de omvandlingsförluster som byggsektorns energianvändning ger upphov till. Denna statistik tar dock ej hänsyn till förändringar i fjärrvärmens energimix, till exempel ökningen av andelen bibränsle och den därmed betydande minskningen av växthusgaser.



Figur 1: Energianvändningen i Sverige för åren 1970 till och med 2002. Energianvändningen är fördelad på sektorer med omvandlingsförluster för respektive sektor. Källa: "Allt eller inget – Systemgränser för byggnaders uppvärmning", Statens energimyndighet, 2005.

Bygg- och energibranschen har nu tagit ett gemensamt initiativ till ett projekt för att identifiera de mest kostnads- och resurseffektiva lösningarna för att minska bebyggelsens miljöpåverkan, och för att energitillförseln ska ske på ett så miljövänligt sätt som möjligt. I projektet har behov av energiresurser och miljöpåverkan beräknats i form av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp för ett flerbostadshus och en kontorsbyggnad med verklig bakgrund. Kostnadseffektiviteten har värderats med hänsyn till livscykelkostnader ur byggnadens brukares perspektiv. Denna rapport redovisar resultatet av projektet.

1.2 Reflektioner över studiens resultat

De slutsatser som presenteras här bygger på två verkliga byggnader och sex olika energitillförsellfall, samt ett antal specifika antagna faktorer rörande resursanvändning, klimatpåverkan och kostnader. Vid val av andra byggnader, tillförsellfall, kostnader eller resursanvändningsfaktorer kan slutsatserna bli annorlunda. För att kunna dra generella slutsatser behöver studier av ytterligare underlag avseende alternativkostnader och miljöpåverkansfaktorer göras samt beräkningar för fler byggnader ske. Dessutom bör även tillförsellalternativen för värme betraktas ur ett förändringsperspektiv vid effektiviseringsåtgärder i byggnaderna, det vill säga vilka bränsleslag det är som minskar i samband med genomförande av åtgärderna bör studeras. Denna studie ska ses som ett första steg i att se och förstå de komplexa sambanden mellan resursanvändning, miljöpåverkan, teknik och ekonomi. De resurs- och miljömässiga fördelarna med flera av de här beskrivna fjärrvärmealternativen kan dock ibland äventyras av en ibland inte tillräckligt kundtillvänd prissättning på fjärrvärme.

Några resultat från detta arbete som bör ges stor uppmärksamhet både politiskt och tekniskt är till exempel

- Miljöpåverkan och resursanvändning kan variera med mer än en faktor två i samma byggnad med olika åtgärder genomförda.
- Traditionella frånluftssystem (F-system) utan värmeåtervinning visar sig vara nästan lika resurseffektiva som FTX-system i kombinationer med kraftvärme.
- Värmepumpslösningar med årsvärmefaktorer kring 2,5 (frånluftsvärmepumpar, bergvärmepumpar) har större primärenergianvändning än de flesta kombinationerna av F- och FTX-lösningar och olika fjärrvärme-lösningar. För att bidra till minskade koldioxidutsläpp krävs bättre årsvärmefaktorer än 2,5.
- Välkända exempel på energieffektiva byggnader som Lindås Park ("hus utan värmesystem"), kvarteret Jöns Ols och Astronomihuset visar sig vara relativt normala avseende resursanvändning (både avseende primärenergianvändning och CO₂-utsläpp).

Dessa resultat kan jämföras med vad Boverket föreslår i energikapitlet i nya BBR06. Där premieras värmepumpar och kylmaskiner medan fjärrvärme och fjärrkyla behandlas mindre fördelaktigt. Det är också förvånande att man i regeringens energiproposition prioriterar teknik som ökar elanvändningen, och därmed primärenergianvändningen och koldioxidutsläppen eftersom tillkommande elanvändning till stor del tas från fossileldade kondensanläggningar på kontinenten. Sverige bidrar därmed till ökade utsläpp av växthusgaser i Europa! Vem ska ta ansvar för att minska resursanvändningen och koldioxidgenereringen inom bebyggelsen?

Antingen krävs ekonomiska incitament för att byggherrarna skall välja mer resurseffektiva och mindre klimatpåverkande lösningar än vad fallet blir om man

endast följer byggreglerna, eftersom dessa främjar elkrävande och värmeenergieffektiva lösningar. Eller så krävs dispensregler som möjliggör till exempel frånluftssystemlösningar samt fjärrkylalösningar då energiomvandlingen i infrastrukturen är energieffektiv, till exempel vid tillförselsystem som bygger på kraftvärme samt spillkyla/frikyla.

1.3 Slutsatser

1.3.1 Kostnadseffektiva åtgärder som minskar miljöpåverkan

För att nå de nationella miljömålen krävs bland annat att primärenergianvändningen och koldioxidutsläppen i bebyggelsen minskar. För att åstadkomma detta erfordras en mångfald insatser. Slutsatserna från denna studie inkluderar en rad kostnadseffektiva åtgärder i såväl energitillförselsystemet som i byggnaderna. De åtgärder som presenteras i detta avsnitt leder till både minskad miljöpåverkan och minskad kostnad i form av livscykelkostnad, alternativt har en god potential att ge minskad livscykelkostnad vid en fortsatt teknisk och/eller ekonomisk utveckling av åtgärderna. Åtgärderna presenteras rangordnat efter beräknad kostnadseffektivitet. Det måste dock poängteras att slutsatserna kan bli annorlunda med andra ingångsvärden än de som har använts för byggnaderna som analyseras i denna studie. Det ska också betonas att analysen bygger på endast två verkliga byggnader, ett flerbostadshus och en kontorsbyggnad.

1. Minska elbehovet

Av de analyserade åtgärderna i denna studie är det åtgärder som minskar elanvändningen i bostäder, som till exempel att undvika elvärme och komfortelvärm, att installera energieffektiva vitvaror eller lågenergilampor, som leder till störst minskning av miljöpåverkan och som samtidigt är kostnadseffektiva. Åtgärder som minskar elbehovet kan leda till en viss ökning av värmebehovet. Undersökningar visar dock att den värmemängd från elapparater som kan tas till vara i bostäder är liten. Den största delen av apparaternas värmetillskott leder till övertemperaturer som ventileras eller vädras bort, alternativt uppkommer på ställen där värmen inte kan nyttiggöras. Vidare gör el större nytta i andra energianvändningsområden än uppvärmning. Trots att värmebehovet kan öka vid minskad elanvändning i bostäder bedöms dessa åtgärder bidra starkt till minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp och samtidigt vara mycket kostnadseffektiva.

I fallet med kontorsbyggnader är eleffektiviserande åtgärder ofta dubbelt effektiva genom att tillskottsvärme från apparater och belysning vanligen kräver extra ventilation och dessutom bedömer brukarna även på våra breddgrader allt oftare att klimatkyla erfordras för att få en önskad inomhustemperatur och för att inomhusklimatet ska upplevas som bra. Samtliga elbesparande åtgärder som analyserats i denna studie bedöms både vara kostnadseffektiva och leda till minskad miljöpåverkan i form av minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp.

Att minska behov av klimatkyla leder till minskad miljöpåverkan. I de fall klimatkyla erfordras är frikyla/fjärrkyla att föredra. Egen eldriven kylmaskin är ett sämre alternativ med avseende på primärenergianvändning och koldioxidutsläpp.

2. Gå över till kraftvärmeproducerad fjärrvärme

Som andra åtgärd rekommenderas övergång till uppvärmning med fjärrvärme baserad på kraftvärme, där biobränslebaserad kraftvärme är mer kostnadseffektiv än naturgasbaserad kraftvärme. Dock bör två påpekande göras här. För det första är de uppgifter om kostnader för fjärrvärme producerad med kraftvärme som använts i denna studie inte med nödvändighet det fjärrvärmepreis som den enskilda fastighetsägaren eller -brukaren får ta del av. Brukarens möjliga förhandlingsutrymme gentemot energileverantören kan dock öka. För det andra har den enskilda brukaren av en fastighet inte rådighet över den lokala fjärrvärmeleverantörens val rörande produktionen.

3. Minska energibehovet för uppvärmning

Som tredje åtgärd rekommenderas åtgärder som minskar energianvändningen för uppvärmning. Åtgärder som minskar energianvändningen till en liten merkostnad, som till exempel mer energieffektiva fönster i flerbostadshus, är mycket kostnadseffektiva.

4. Minskat uppvärmningsbehov med liten insats av el

Som fjärde punkt rekommenderas åtgärder som kraftigt minskar energianvändningen för uppvärmning till en liten insats av el. Som exempel på denna typ av åtgärd kan installation av FTX-ventilation nämnas. Denna åtgärd bidrar till mycket större minskning av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp än de åtgärder som beskrivs under punkt 3 "Minska energibehovet för uppvärmning", och ska prioriteras mycket högre vid en endast något lägre investeringskostnad än den som använts för huvuddelen av analysen i denna studie.

En rad olika varianter och kostnadslägen finns för FTX-ventilation. En känslighetsanalys utförd i kapitel 5.5 som bygger på verkliga kostnader visar på fall med lägre investeringskostnad än den kostnad som huvuddelen av denna studie bygger på. Med denna alternativa investeringskostnad blir FTX-installation en mycket kostnadseffektiv åtgärd. I studiens tillförelsalternativ 1, fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, blir LCC-kalkylen i denna studie kostnadsneutral redan vid en minskning i FTX-ventilationens merkostnad (i förhållande till F-ventilation) med 16 %.

Hur mycket värme måste sparas för varje kilowattimme el?

Hur många kWh värme som måste sparas för varje uppförd kWh el beror på vilket energitillförelsalternativ som används. Med de primärenergifaktorer och koldioxidfaktorer som används i denna studie (se Bilaga 2 Primärenergifaktorer och koldioxidutsläpp) och prognosen för fjärrvärmemix år 2010 måste 3 kWh värme sparas för varje kWh el som används om primärenergianvändningen ska

minska, och 5,6 kWh värme sparas för varje kWh el som används om koldioxidutsläppen ska minska. Om i stället enbart fjärrvärme producerad med naturgasbaserad kraftvärme används blir resultatet att cirka 15 kWh värme måste sparas för varje kWh el som används om primärenergianvändningen ska minska respektive 50 kWh värme sparas för varje kWh el som används om koldioxidutsläppet ska minska¹. Med det tillförsellfall som leder till de flesta kostnadseffektiva beräkningsfallen i studien, fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme, måste knappt 5 kWh värme sparas för varje kWh el som används om primärenergianvändningen ska minska respektive 45 kWh värme sparas för varje kWh el som används om koldioxidutsläppet ska minska¹.

För en applikation i verkligheten i det relativt korta perspektivet är det rimligt att anta att det kan vara miljömässigt riktigt att satsa på åtgärder som minskar uppvärmningsbehovet med en eluppoffring i enlighet med prognosen för fjärrvärmemixen för år 2010, det vill säga för minskad primärenergianvändning 3:1 och för minskade koldioxidutsläpp knappt 6:1. I ett längre tidsperspektiv måste en ny prognos för sammansättningen av fjärrvärmemixen göras, det kan antas troligt att en sådan prognos innehåller mer biobränslebaserad kraftvärme än den prognos som föreligger för år 2010.

1.3.2 Kostnadseffektiva åtgärder som ökar miljöpåverkan

I studien har även framkommit en rad beräkningsfall och åtgärder som kan vara kostnadseffektiva ur ett livscykelkostnadsperspektiv, men som leder till ökad miljöpåverkan i form av ökad primärenergianvändning och/eller ökade koldioxidutsläpp. Följande åtgärder leder till ökad miljöpåverkan i merparten av de beräkningsfall som de sex energitillförselalternativ som analyseras i denna studie genererar jämfört med de analyserade byggnaderna i grundversion med tillförselalternativet fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010.

1. Frånluftsvärmepump

I analysen av flerbostadshuset visar de flesta beräkningsfall med frånluftsvärmepump att denna åtgärd är kostnadseffektiv, men åtgärden leder för de flesta här analyserade tillförselalternativ till ökad primärenergianvändning och för samtliga här analyserade tillförselalternativ till ökade koldioxidutsläpp.

2. Bergvärmepump

I såväl flerbostadsfallet som i fallet med kontorsbyggnaden leder samtliga beräkningsfall till ökade koldioxidutsläpp och merparten av beräkningsfallen även till ökad primärenergianvändning. I flerbostadsbyggnaden leder beräkningsfallen med bergvärmepump ofta till lägre LCC-kostnad, medan beräkningsfallen för kontorsbyggnaden ofta leder till ökad LCC-kostnad.

¹ Baserat på underlag i bilaga 2.

Det bör dock noteras att det i studien inte har beaktats möjligheten att utnyttja värmepumpen för kyla under sommaren. Ett sådant beräkningsfall kan leda till ett mer fördelaktigt resultat för värmepumpen.

3. Luftbehandling/komfortkyla

Vid luftbehandling, såväl med luftkyla som med vattenburen kyla, är det viktigt att eftersträva låga SFP-tal för att hålla ner elanvändningen och därmed både LCC-kostnader, och primärenergianvändning och koldioxidutsläpp.

1.4 Metodik

Ett antal beräkningsfall med olika åtgärder i byggnaderna och förändringar i infrastrukturen i form av byte av energitillförselsystem har simulerats. Beräkningarna har begränsats till ett urval av åtgärder för vardera byggnadstyp samt sex olika energitillförselsystem för att inte göra analysen alltför komplex. Det finns en rad andra möjliga åtgärder, såväl i byggnad, tillförselsystem som i brukarbeteende som kan ha lika stor eller större effekt på miljöpåverkan som de åtgärder som ingår i denna analys.

Först har en analys av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp vid byte av energitillförsel genomförts för de två byggnader som studien innefattar. Sedan har en analys gjorts av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp vid genomförande av åtgärder i byggnaderna med oförändrat energitillförselsystem. Därefter har en korskörning av beräkningarna för byte av energitillförsel och åtgärder i byggnaderna genomförts.

Vidare har beräkningar av livscykelkostnader och kostnadseffektivitet för de olika åtgärderna och beräkningsfallen med avseende på minskad miljöpåverkan genomförts för att undersöka vilka investeringar som är de bästa i strävan att nå en hållbar energianvändning i bebyggelsen. I både fallet med flerbostadshuset och kontorsbyggnaden har dessutom en jämförelse av miljöpåverkan i form av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp med ett urval nationellt välkända byggnader genomförts. I analyserna har kostnaderna bedömts ur brukarperspektiv (det vill säga de kostnader som slutanvändaren får betala).

1.5 Studiens energitillförselalternativ

I studien har följande sex olika energitillförselalternativ använts för uppvärmning och tappvarmvatten:

1. Fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010
2. Fjärrvärme baserat på biohetvattenpanna
3. Fjärrvärme producerad med naturgasbaserad kraftvärme
4. Fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme
5. Lokal värmeproduktion, bergvärmepump

6. Lokal värmeproduktion, biobränsle

För elanvändning har i beräkningar och analyser antagits genomsnittlig europeisk elproduktion och en framtida marginalproduktion baserad på naturgaskombikondens vilket bedöms motsvara den ökande respektive minskade elproduktionen på årsbasis. Detta är möjligt då primärenergifaktorn och CO₂-faktorn för dessa båda synsätt är mycket snarlika. Det valda perspektivet innebär att en minskad elanvändning i Sverige minskar andelen el producerad med naturgaskombikondens, på årsbasis.

I kontorsbyggnaden ingår även energianvändning för klimatkyla. I grundversionen av kontorsbyggnaden förses detta behov med fjärrkyla. I denna studie antas att 80 % av fjärrkylan är spillkyla/frikylbaserad och 20 % kylmaskinbaserad.

1.6 Åtgärds kombinationer för flerbostadshus och energitillförsel

1.6.1 Flerbostadshuset

Grundscenariot för flerbostadshuset är en frånluftsventilerad byggnad som uppfördes i södra Stockholm med inflyttning år 2004. I fallet flerbostadshus har beräkningsfall skapats med frånluftsventilation (F), från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning (FTX) respektive frånluftsvärmepump (FX) i kombination med åtgärder i byggnadens klimatskal och marknadens mest energieffektiva vitvaror (A+ respektive A++). Dessa beräkningsfall har analyserats för de valda sex energitillförselalternativen.

1.6.2 Effekt av åtgärder i flerbostadshuset

Sammantaget kan konstateras att åtgärder som minskar elanvändningen i flerbostadshuset ger den största minskningen av såväl primärenergianvändning som koldioxidutsläpp. Vid studiens basenergitillförsel, fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, ger åtgärder som minskar värmebehovet i byggnaden i kombination med frånluftsventilation respektive med FTX-ventilation också minskad miljöpåverkan. I dessa fall ger FTX-ventilation såväl med som utan byggnadstekniska åtgärder en större minskning av resursanvändning och miljöpåverkan än åtgärderna i klimatskalet i kombination med frånluftsventilation. Däremot ger beräkningsfall med frånluftsvärmepump och åtgärder i kombination med en sådan ökad primärenergianvändning för samtliga simulerade åtgärder i byggnaden, utom i fallet med hög årsvärmefaktor (3,0). Vidare leder beräkningsfallen med frånluftsvärmepump till ökade koldioxidutsläpp i samtliga fall i flerbostadshuset.

1.6.3 Effekt av byte av energitillförsel till flerbostadshuset

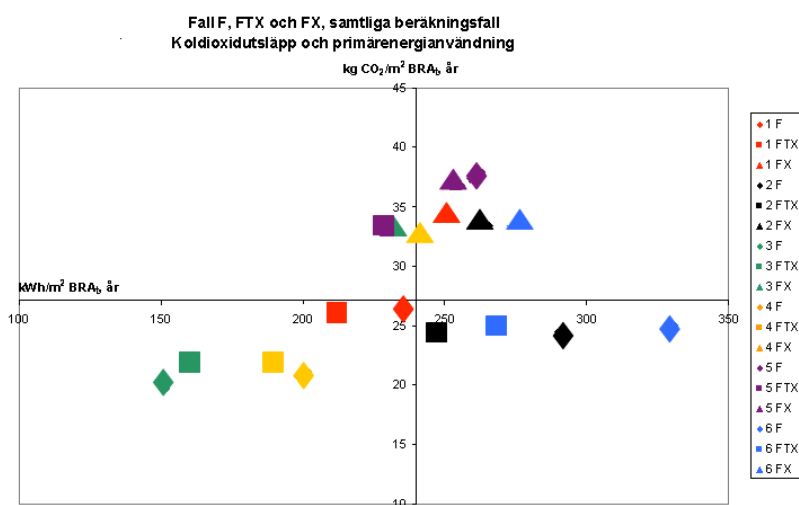
Om investeringar görs i energitillförselsystemet istället för i byggnaden leder två av de analyserade tillförselsystemen till minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp jämfört med fjärrvärmemix för år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion (tillförselalternativ 1). Dessa två tillförselalternativ bygger båda på fjärrvärme producerad med kraftvärme², i det ena fallet baserad på naturgas och i det andra fallet baserad på biobränsle, samt genomsnittlig europeisk elproduktion (tillförselalternativ 3 respektive 4). De tre övriga analyserade tillförselalternativen, fjärrvärme producerad med biohetvat-tenpanna, bergvärmepump respektive lokal biobränsleledning, leder i flerbostadshuset utan effektiviseringsåtgärder till ökad resursanvändning och miljö-påverkan.

1.6.4 Resultat av korskörning av åtgärder i byggnad och energitillförsel för flerbostadshuset

Genom en korskörning har effekten av samtidigt byte av energitillförsel och genomförande av åtgärder i den aktuella byggnaden med avseende på primärenergianvändning respektive koldioxidutsläpp för samtliga åtgärds-kombinationer studerats. Korskörningen av flerbostadshusets samtliga åtgärder i byggnaden och analyserade system för energitillförsel visas i Figur 3 och Figur 4.

De kombinationer som ger lägst miljöpåverkan kan även identifieras genom plottning av de olika beräkningsfallens koldioxidutsläpp mot deras primärenergianvändning. Sammantaget kan för flerbostadshuset konstateras att de åtgärder och åtgärds-kombinationer som både ger en minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp huvudsakligen innefattar tillförselalternativ 1, 3 respektive 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas respektive fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle) i kombination med F- respektive FTX-ventilation samt åtgärder för att minska behovet av köpt el och värme i byggnaden. I samtliga tillförselfall är det åtgärds-kombinationen med minskad elanvändning (i denna studie representerat av energieffektiva vitvaror) som ger de lägsta värdena ur resurshänseende. En schematisk plottning av samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset visas i Figur 2.

² Med användning av primärenergimetoden som allokeringprincip.

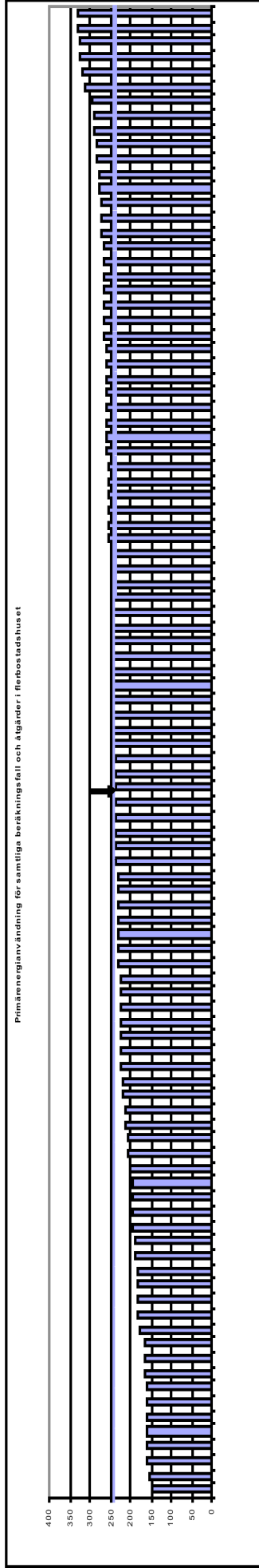


Figur 2: Schematisk plottning av totala koldioxidutsläpp mot total primärenergianvändning för beräkningsfall för flerbostadshuset. Beräkningsfallens totala primärenergianvändning (inklusive energi till uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel och hushållsel) uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och medan deras totala CO₂-utsläpp uttrycks i kg/m² BRA_t och år på Y-axeln.

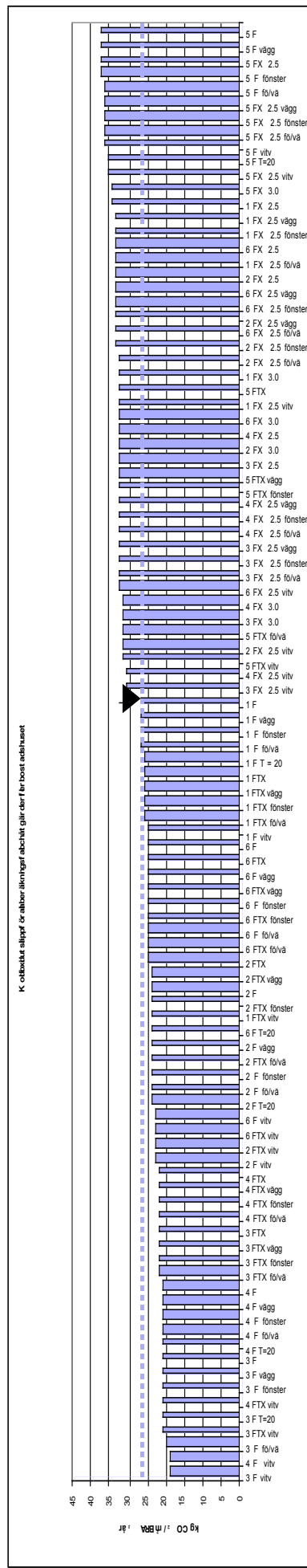
1.6.5 Kostnadseffektivitet för minskad miljöpåverkan i flerfamiljsbyggnaden

När det gäller kostnadseffektivitet för de analyserade beräkningsfallen i flerbostadshuset kan konstateras att effektiviseringsåtgärder i kombination med frånluftsventilation både ger minskad primärenergianvändning, minskade koldioxidutsläpp och lägre livscykelkostnad jämfört med grundberäkningsfallet. För beräkningsfallen med FTX-ventilation erhålls med de indata som använts för huvuddelen av beräkningarna i denna studie lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp men högre livscykelkostnad.

Det finns emellertid olika typer av utföranden och kostnader när det gäller FTX-ventilation, och om man i stället ansätter de kostnader för FTX-ventilation som visas i studiens känslighetsanalys (kapitel 5.5) leder även beräkningsfallen med FTX-ventilation till en samtidig minskad miljöpåverkan och kostnadsbesparing i form av minskade LCC-kostnader. Det kan konstateras att det räcker med en liten minskning i investeringskostnad för att LCC-kostnaden för FTX-ventilation ska bli positiv i förhållande till grundbyggnaden med F-ventilation. Båda uppgifter om investeringskostnader för FTX-ventilation som används i denna studie bygger på investeringar i verkliga genomförda byggnadsprojekt.



Figur 3: Korskörning för den totala primärenergianvändningen mellan åtgärder i flerbostadshuset och byte av energitillförsel. Beräkningsfallen innefattar energianvändning för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel samt hushållsel och är rangordnade efter primärenergianvändning. Pilen i figuren markerar grundfallet för beräkningarna, F-ventilerad byggnad utan åtgärder med fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion som energitillförsel.



Figur 4: Korskörning för koldioxidutsläpp mellan åtgärder i flerbostadshuset och byte av energitillförsel. Beräkningsfallen innefattar energianvändning för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel samt hushållsel och är rangordnade efter mängden koldioxidutsläpp. Pilen i figuren markerar grundfallet för beräkningarna, F-ventilerad byggnad utan åtgärder med fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion som energitillförsel.

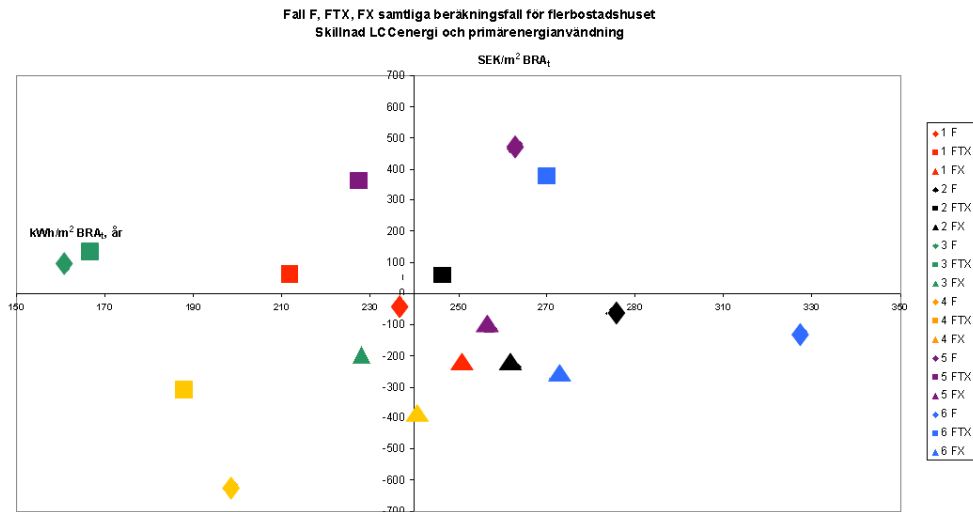
Vidare kan konstateras att installation av frånluftsvärmepump i samtliga beräkningsfall som analyserats i studien i den aktuella flerfamiljsbyggnaden leder till lägre livscykelkostnad än grundutförandet. Frånluftsvärmepumpar med hög årsvärmefaktor är således kostnadseffektiva i förhållande till den frånluftsventilerade byggnaden utan energieffektiviserande åtgärder. Men de ger en negativ miljöpåverkan i form av högre primärenergianvändning och ökade utsläpp av koldioxid om de jämförs med flerbostadshusets grundutförande (utom i de två tillförselalternativ som helt bygger på kraftvärme) och är således ur miljösynpunkt en sämre lösning.

Vid byte av energitillförselsystem utan genomförande av energieffektiviserande åtgärder i flerbostadshuset fås en lägre livscykelkostnad i två av de studerade tillförselalternativen jämfört med att använda fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010. Dessa två fall är fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på biobränsle (tillförselalternativ 4) och lokal biobränslepanna (tillförselalternativ 6). Det bör dock betonas att minskade livscykelkostnader vid övergång till kraftvärme producerad fjärrvärme ska ses med viss försiktighet, de förutsättningar som använts för beräkningarna gäller i samband med nya, ej alltför små, fjärrvärmenät.

Primärenergiminskning i förhållande till LCC-kostnad

Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och primärenergianvändning för samtliga beräkningsfall kan följande observationer göras. De bästa åtgärds-kombinationerna, det vill säga åtgärder som både har låg livscykelkostnad och låg primärenergianvändning bygger på fjärrvärme producerad med biobränsle-baserad kraftvärme. Därefter följer åtgärds-kombinationer med naturgasproducerad kraftvärme och frånluftsvärmepump. Åtgärds-kombinationer med minskad elanvändning visar också goda resultat. I denna studie representeras denna typ av åtgärd av energieffektiva vitvaror. Även beräkningsfall som kombinerar åtgärder i byggnadens klimatskal med F-ventilation ger låg primärenergianvändning och låga livscykelkostnader för tillförselalternativ 1 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010). Likaså ger åtgärder som minskar värmeanvändningen utan kostnader, till exempel lägre inomhustemperatur mycket fördelaktiga resultat. Den sammantaget bästa av de studerade åtgärds-kombinationerna är biobränsle-kraftvärme (tillförselalternativ 4) i kombination med energieffektiva vitvaror och F-ventilation. Därefter följer biobränsle-kraftvärme i kombination med F-ventilation och energieffektiva fönster.

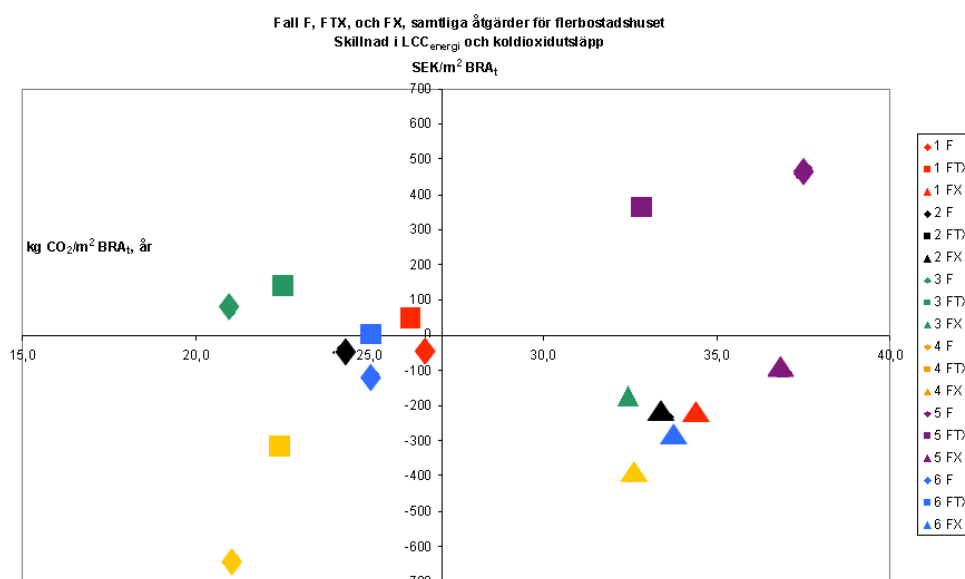
Analysen pekar också tydligt på kombinationer av åtgärder som har hög primärenergianvändning och höga livscykelkostnader. Åtgärds-kombinationer med frånluftsvärmepump leder till hög primärenergianvändning för tillförselalternativ 1, 2 och 6 (fjärrvärmemix prognos för år 2010, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna och egen biobränsleledning), medan livscykelkostnaderna för dessa åtgärds-kombinationer ofta är relativt fördelaktiga. Om man väger samman primärenergianvändning och LCC-kostnad är de minst fördelaktiga alternativen kombinationen med bergvärmepump och frånluftsvärmepump samt bergvärmepump med F-ventilation utan åtgärder i byggnaden.



Figur 5: Sammanfattande plottning av beräkningsfallens totala primärenergianvändning (såväl energi för uppvärmning och tappvarmvatten som fastighetsel och hushållsel) i förhållande till livscykelkostnader i flerbostadsbyggnaden. Färgerna representerar olika energitillförselalternativ och de geometriska figurerna representerar olika grupperingar av åtgärder i flerbostadsbyggnaden.

Koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad

Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och koldioxidutsläpp för samtliga beräkningsfall kan följande observationer göras. De bästa åtgärds kombinationerna, det vill säga åtgärder som både har låg livscykelkostnad och låga koldioxidutsläpp bygger på fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme. Därefter följer åtgärds kombinationer med minskad elanvändning. I denna studie representeras denna typ av åtgärd av energieffektiva vitvaror. Även beräkningsfall som kombinerar åtgärder i byggnadens klimatskal med F-ventilation ger låga koldioxidutsläpp och låga livscykelkostnader för de tre tillförselalternativen 1, 2 och 6 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna samt egen biobränsleledning). Likaså ger åtgärder som minskar värmeanvändningen utan kostnader, till exempel lägre inomhustemperatur mycket fördelaktiga resultat. Den sammantaget bästa av de studerade åtgärds kombinationerna är biobränsle-kraftvärme (tillförselalternativ 4) i kombination med energieffektiva vitvaror och F-ventilation. Därefter följer biobränsle-kraftvärme i kombination med F-ventilation och energieffektiva fönster. Samtliga åtgärder i klimatskalet ger ett positivt resultat.

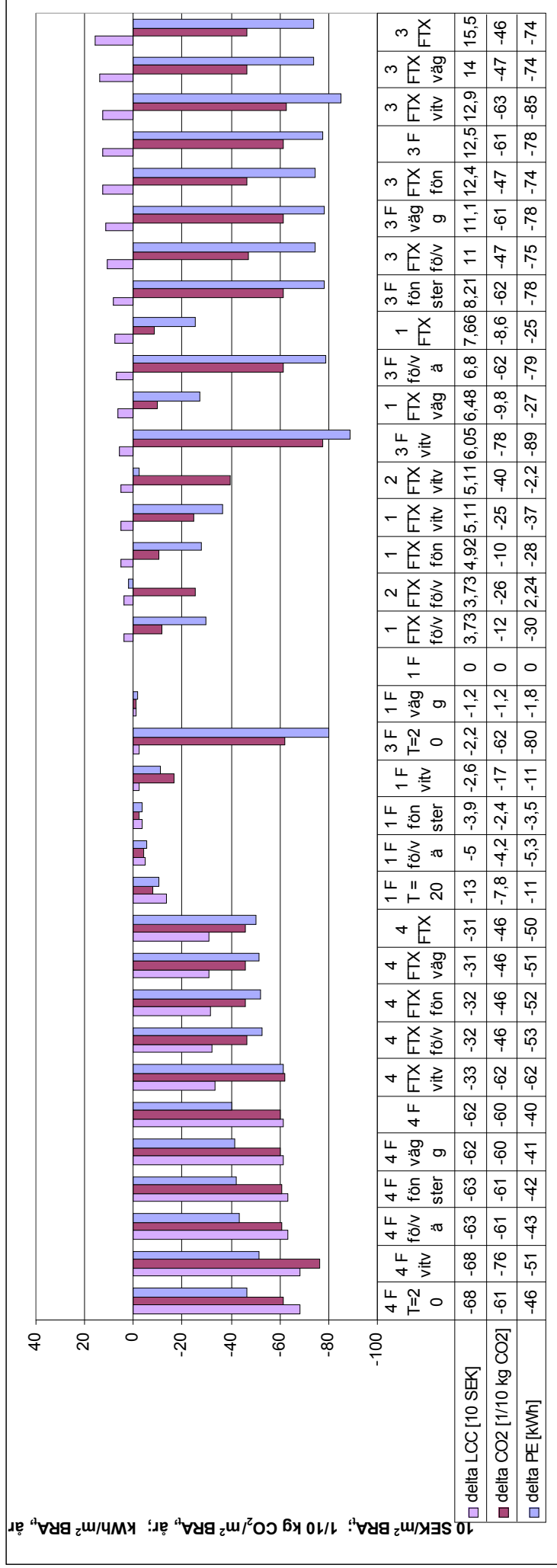


Figur 6: Sammanfattande plottning av beräkningsfallens totala koldioxidutsläpp (inkluderar energi till uppvärmning och tappvarmvatten samt fastighetsel och hushållsel) i förhållande till livscykelkostnader i flerbostadsbyggnaden. Färgerna representerar olika energitillförselalternativ och de geometriska figurerna representerar olika grupperingar av åtgärder i flerbostadsbyggnaden.

Resultatet av analysen pekar också på kombinationer av åtgärder som leder till höga CO₂-utsläpp och höga livscykelkostnader. Alla åtgärds-kombinationer med frånluftsvärmepump ger höga koldioxidutsläpp, medan livscykelkostnaderna för dessa åtgärds-kombinationer ofta är relativt fördelaktiga. Om man väger samman koldioxidutsläpp och LCC-kostnad är de minst fördelaktiga alternativen fallen med bergvärmepump (tillförselalternativ 5) i kombination med F-ventilation.

Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad
Vid en samtidig jämförelse mellan primärenergianvändning, koldioxidutsläpp och LCC-kostnad visar det sig att de bästa beräkningsfallen med kombinationer som innefattar både stor minskning av primärenergianvändningen, stor sänkning av koldioxidutsläppen och lägre LCC-kostnad innefattar byte till biobränslebaserad kraftvärme följt av åtgärder som minskar elanvändningen (se Figur 7).

Vidare ger åtgärder i klimatskalet i kombination med både F-ventilation och FTX-ventilation mycket goda resultat i kombination med kraftvärme, men även i kombination med andra tillförselalternativ än kraftvärme leder dessa åtgärder till minskad miljöpåverkan. Det bör noteras att FTX-åtgärden generellt blir mycket högre rankade vid endast en liten minskning av investeringskostnaden

**Figur 7:**

Samtidig redovisning av skillnad i primärenergianvändning, skillnad i koldioxidutsläpp och skillnad i LCC_{energi}-kostnad för olika beräkningsfall för flerbostadshuset (åtgärder i byggnaden och/eller byte av energitillförsel) i förhållande till grundberäkningsfallet. Endast sådana beräkningsfall som genererar både minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp har tagits med i figuren. Beräkningsfallen innefattar byggnadens totala energibehov och är rangordnade efter ökande LCC-kostnad. De första 25 beräkningsfallen från vänster ger en lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.

Observera att skalan för skillnad i CO₂-utsläpp är i tiondels kg/m² BRA₁ och år och att skalan för skillnad i LCC_{energi}-kostnad är i tiotal SEK för att kunna visa samtliga tre parametrar i ett diagram.

detta gäller för såväl minskad primärenergianvändning som minskade koldioxidutsläpp.

1.7 Åtgärdskombinationer för kontorsbyggnad och energitillförsel

1.7.1 Kontorsbyggnaden

Grundscenariot för den studerade kontorsbyggnaden utgår ifrån driftstatistik för nya verkliga kontorsbyggnader med god isolerstandard och med fönster med lågt värmegenomgångstal och mellanglaspersienner för att minimera värme- och kylbehov. Vidare har antagits att byggnaden har utvändiga solskydd i utsatta lägen för att begränsa solvärmeinläckning och kylbehov. Basfallet har balanserad ventilation med värmeåtervinning med god temperaturverkningsgrad. Kontorsbyggnaden har en klimatkylanläggning baserad på kylbafflar, toppkyld tilluft och fjärrkyla.

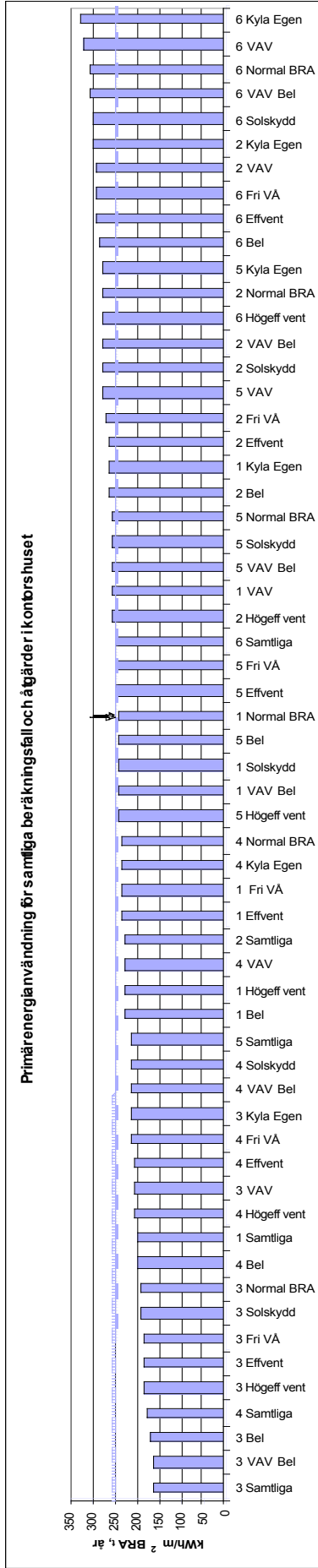
1.7.2 Effekt av åtgärder i kontorsbyggnaden

Sammantaget kan konstateras att åtgärder som minskar elanvändningen i kontorsbyggnaden ger den bästa minskningen av såväl primärenergianvändning som koldioxidutsläpp. Vid studiens energitillförselalternativ 1, fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion, ger samtliga energieffektiviserande åtgärder i byggnaden minskad miljöpåverkan i form av minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp. Beräkningsfallen med variabelt luftflöde och egen kylmaskin ger däremot både högre primärenergianvändning och koldioxidutsläpp.

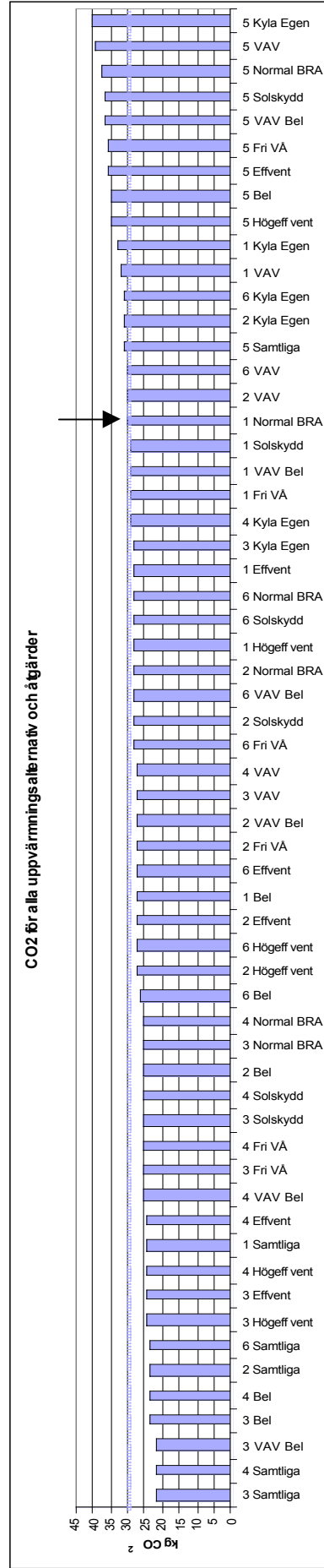
1.7.3 Effekt av byte av energitillförsel till kontorsbyggnaden

Om investeringar i energitillförseln görs istället för i kontorsbygganden leder två av de analyserade tillförselalternativen till minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp jämfört med prognosen för fjärrvärmemix för år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion (tillförselalternativ 1). Dessa två tillförselalternativ bygger båda på fjärrvärme producerad med kraftvärme³. I kraftvärmefallet baserat på naturgas och genomsnittlig europeisk elproduktion fås en relativt stor minskning av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp, medan det andra kraftvärmefallet baserat på biobränsle och genomsnittlig europeisk elproduktion endast ger en marginell minskning (tillförselalternativ 3 respektive 4). De tre andra analyserade tillförselalternativen, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna, bergvärmepump respektive lokal biobränsleeld-

³ Med användning av primärenergimetoden som allokeringssprincip.



Figur 8: Total primärenergianvändning för alla uppvärmningsalternativ och byggnadsåtgärder i den analyserade kontorsbyggnaden. Pilen i figuren markerar grundfalet för beräkningarna, kontorsbyggnad utan åtgärder med fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion som energitillförsel.



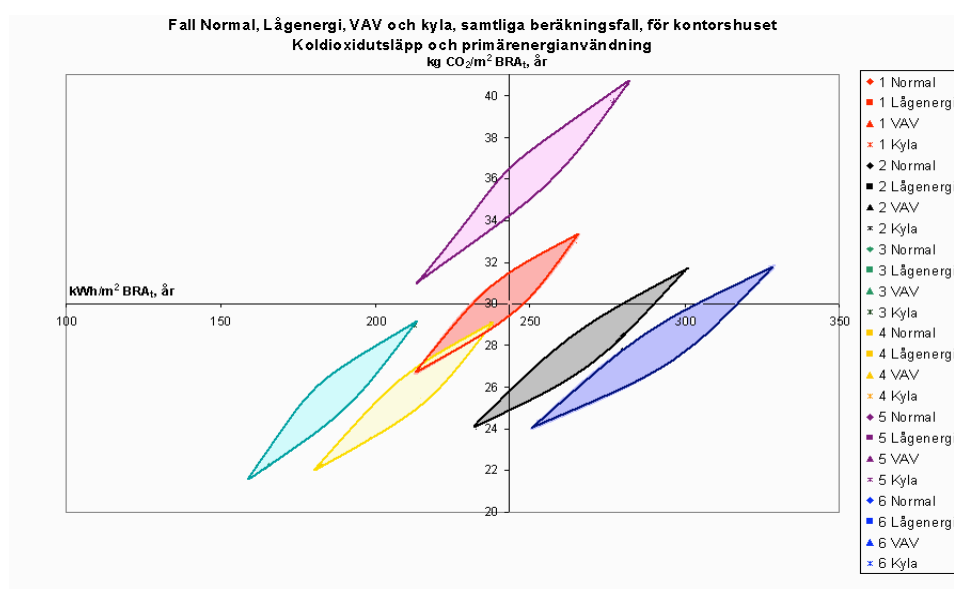
Figur 9: Korskörning för koldioxidutsläpp mellan åtgärder i kontorsbyggnaden och byte av energitillförsel. Beräkningsfallen är rangordnade efter mängden koldioxidutsläpp. Pilen i figuren markerar grundfalet för kontorsbyggnaden med fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion som energitillförsel. Grundberäkningsfallets CO₂-utsläpp är markerat som jämförelse i form av en linje i diagrammet.

1 = Fjv mix prognos 2010; 2 = Fjv biotvattenpanna; 3 = Fjv naturgas-kraftvärme;
4 = Fjv bibränsle-kraftvärme; 5 = Bergvärmepump; 6 = Lokal biobränsleledning

ning, leder i kontorsbyggnaden precis som i fallet med flerbostadshuset utan effektiviseringsåtgärder i byggnaden till ökad miljöpåverkan.

1.7.4 Resultat av korskörning av åtgärder i byggnad och energitillförsel för kontorsbyggnaden

Resultatet av korskörningen för kontorsbyggnadens samtliga åtgärder i byggnaden och analyserade system för energitillförsel visas i Figur 8 och Figur 9. Resultatet visas också i en plottning de olika beräkningsfallens koldioxidutsläpp mot deras primärenergianvändning (Figur 10). Det kan konstateras för kontorsbyggnaden att de åtgärder och åtgärds kombinationer som både ger minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp innefattar huvudsakligen tillförselalternativ 1, 3 respektive 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas respektive fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle), i kombination med energieffektiviserande åtgärder i byggnaden. Även i kontorsfallet är det i samtliga tillförselalternativ åtgärds kombinationer med minskad elanvändning som ger de överlägset bästa värdena ur resurshänseende.



Figur 10: Schematisk plottning av totala koldioxidutsläpp mot total primärenergianvändning för beräkningsfall för kontorsbyggnaden (inkluderar energi för uppvärmning, tappvarmvattenvärmning, kyla, fastighetsel och verksamhetsel). Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA_t och år på Y-axeln. Färgerna representerar olika energitillförselalternativ.

1.7.5 Kostnadseffektivitet för minskad miljöpåverkan i kontorsbyggnaden

När det gäller kostnadseffektivitet för de analyserade beräkningsfallen i kontorsbyggnaden kan det konstateras att samtliga energieffektiviserande åtgärder och åtgärdscombinationer i kontorsbyggnaden, utom de två VAV-alternativen, leder till lägre livscykelkostnader än grundalternativet. En slutsats som kan dras för VAV-åtgärderna är att dessa inte är kostnadseffektiva i förhållande till grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden och att de heller inte ger någon minskad miljöpåverkan. Beräkningsfallen med egen kyla leder liksom VAV-lösningarna till högre miljöpåverkan än grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden.

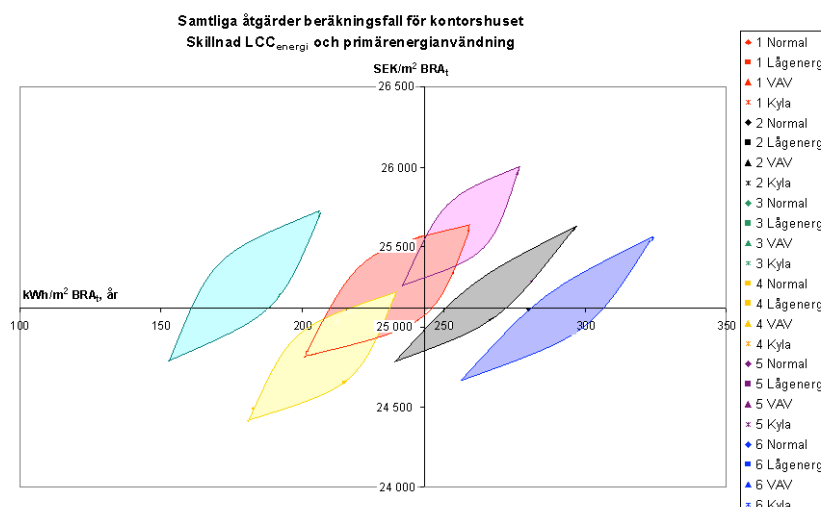
Vid byte av energitillförselsystem utan genomförande av energieffektiviserande åtgärder i kontorsbyggnaden fås en lägre livscykelkostnad i två av de studerade tillförselfallen jämfört med att använda fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010. Dessa två fall är fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på biobränsle (tillförselalternativ 4) och lokal biobränslepanna (tillförselalternativ 6). Det bör dock betonas att minskade livscykelkostnader vid övergång till kraftvärme producerad fjärrvärme ska ses med viss försiktighet, de förutsättningar som använts för beräkningarna gäller i samband med nya, ej allt för små, fjärrvärmenät.

Primärenergiminskning i förhållande till LCC-kostnad

Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och primärenergianvändning för samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden kan konstateras att de åtgärder och åtgärdscombinationer som samtidigt ger en minskad primärenergianvändning och minskade LCC-kostnader innefattar huvudsakligen tillförselalternativ 1 och 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle), och beräkningsfall i kombination med minskad elanvändning. Dessa beräkningsfall innebär en kostnadsbesparing per kWh primärenergi/m² BRA_t och år.

En rad beräkningsfall baserat på tillförselalternativ 1 och 3 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas) ger väsentligt minskad primärenergianvändning vid samma eller något mindre LCC-kostnad än i grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden.

I samtliga tillförselfall är det åtgärdscombinationen med minskad elanvändning som ger de överlägset bästa värdena ur resurshänseende.



Figur 11: Sammanfattande plottning av beräkningsfallens totala primärenergianvändning i förhållande till livscykelkostnader i kontorsbyggnaden. Färgerna representerar olika energitillförselalternativ. Figuren ska bytas

Koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad

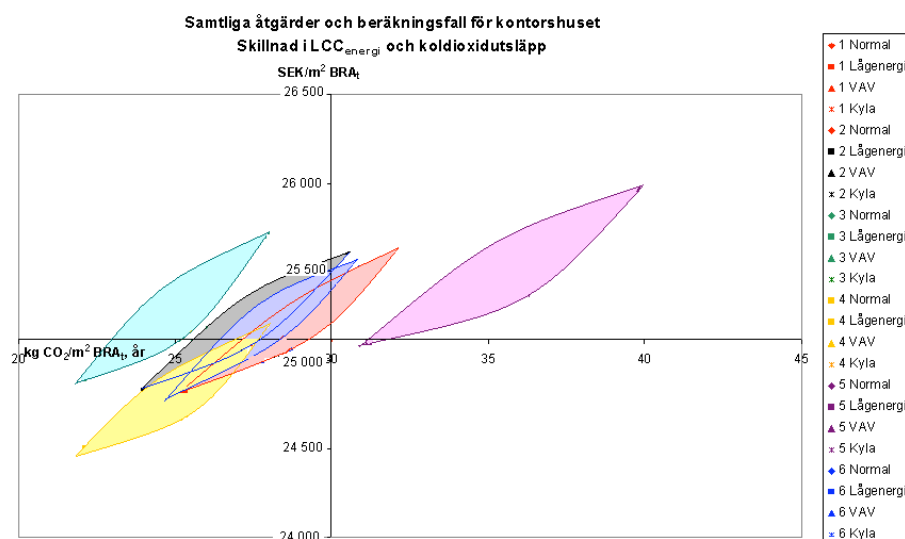
Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och koldioxidutsläpp framgår att de bästa åtgärderna, det vill säga har låg livscykelkostnad och låga CO₂-utsläpp, är de åtgärdscombinationer som innefattar åtgärder som minskar elanvändningen. Dessa innefattar huvudsakligen beräkningsfall i kombination med tillförselalternativ 1, 2 och 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna respektive fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle) **och** minskad elanvändning. Dessa beräkningsfall innebär en kostnadsbesparing per kg koldioxid/m² BRA_t och år.

En rad beräkningsfall baserat på tillförselalternativ 1 och 3 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas) och energieffektiva åtgärder i kontorsbyggnaden ger väsentligt minskade koldioxidutsläpp vid samma eller något lägre LCC-kostnad än i grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden. I samtliga tillförselalternativ är det åtgärdscombinationen med minskad elanvändning som ger de överlägset bästa värdena ur resurshänseende.

Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad

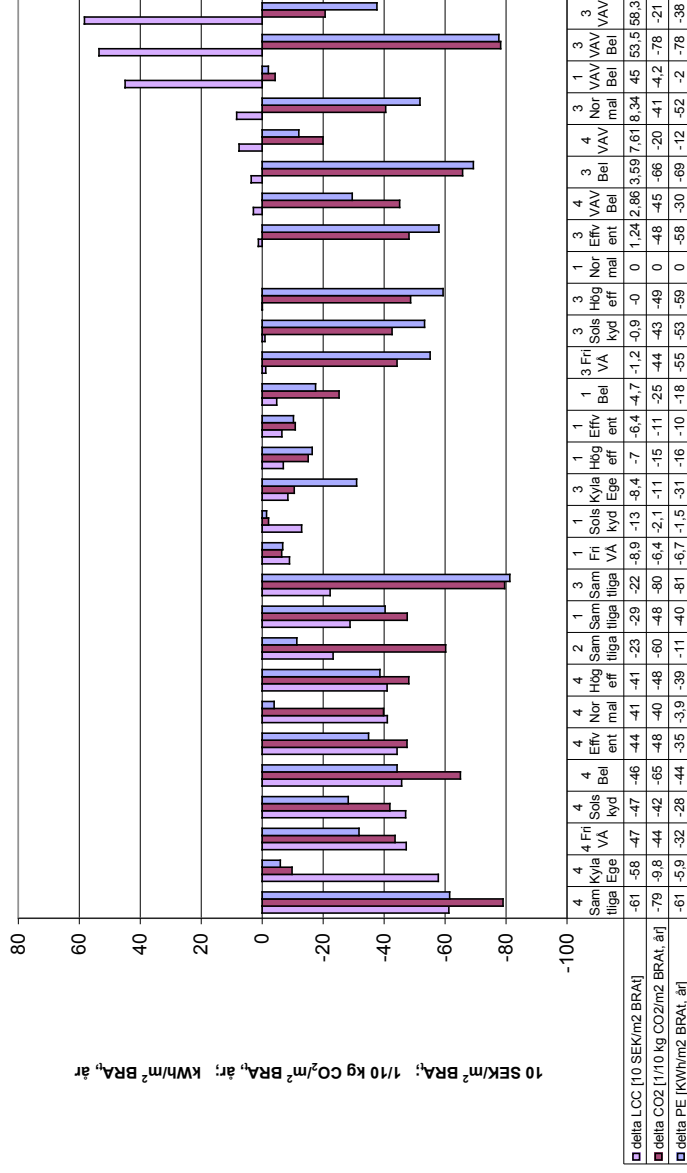
Vid en samtidig jämförelse mellan primärenergianvändning, koldioxidutsläpp och LCC-kostnad visar det sig att de bästa beräkningsfallen innefattar åtgärder som minskar elanvändningen. För kontorsbyggnaden är de bästa beräkningsfallen de som innefattar samtliga energieffektiviserande åtgärder. Allra bäst resultat fås för minskad elanvändning i kombination med fjärrvärme producerad med kraftvärme (tillförselalternativ 3 och 4). Därefter följer combinationerna energieffektiv belysning tillsammans med biobränsle-kraftvärme och samtliga

energieffektiviserande åtgärder i byggnaden tillsammans med fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna. Övriga beräkningsfall som kombinerar åtgärder som minskar elanvändningen med biobränsle-kraftvärme samt kombinationen samtliga energieffektiviserande åtgärder i byggnaden och tillförselalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010) är också både mycket kostnadseffektiva och mycket fördelaktiga ur resursanvändningssynpunkt (såväl primärenergi-användning som koldioxidutsläpp). Samtliga dessa beräkningsfall leder till en kostnadsbesparing i form av minskad LCC-kostnad samtidigt som en stor minskad miljöpåverkan erhålls.



Figur 12: Sammanfattande plottnig av beräkningsfallens totala koldioxidutsläpp i förhållande till livscykelkostnader i kontorsbyggnaden. Färgerna representerar olika energitillförselalternativ.

Samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden som leder till både minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp illustreras tillsammans med skillnader i livscykelkostnad i Figur 13.



Figur 13: Samtidig redovisning av skillnad i primärenergianvändning, skillnad i koldioxidutsläpp och skillnad i LCC_{energi}-kostnad för olika beräkningsfall för kontorsbyggnaden (åtgärder i byggnaden och/eller byte av energitillförsel) i förhållande till grundberäkningsfallet. Endast sådana beräkningsfall som genererar både minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp har tagits med i figuren. Beräkningsfallen är rangordnade efter ökande LCC-kostnad. De första 20 beräkningsfallen från vänster ger en lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet. Observera att skalan för skillnad i CO₂-utsläpp är i tiondels kg/m² BRA₁ och år och att skalan för skillnad i LCC_{energi}-kostnad är i total SEK för att kunna visa samtliga tre parametrar i ett diagram.

2 Inledning och bakgrund

Minskad energianvändning och minskade utsläpp av växthusgaser är ett övergripande samhällsmål som berör alla. Energianvändningen i bebyggelsen står för cirka 40 procent av landets totala energianvändning, bebyggelsens andel av energianvändningen är densamma inom övriga EU. Trots att det i Sverige från såväl bygg- och energibranschen som från myndigheter och andra aktörer har bedrivits ett aktivt arbete med effektivare energianvändning har bebyggelsens energianvändning inte minskat under de senaste 30 åren.

Det finns en rad skäl till att energianvändningen i bebyggelsen i princip är den samma idag som den var år 1970. Bland dessa kan nämnas det låga elpriset, att antalet elanvändande apparater är fler i både bostäder och lokaler, att det bor färre personer i varje hushåll, att energianvändning för kyla har tillkommit och ökar allt mer samt att brukarna har låg medvetenhet om sin energianvändning vilket leder till en högre energianvändning än vad som annars skulle ha varit fallet.

Bristande helhetssyn på energianvändning och energitillförsel har också bidragit till att bebyggelsens energianvändning inte har blivit effektivare under den här tidsperioden. En enskild byggnad har vanligen en brukstid på mellan 50 och 100 år, medan installationerna i byggnaden har en teknisk livslängd på 20 till 30 år. Systemvalet för energiförsörjning och andra installationer görs tidigt, ofta innebär detta att valet av installationer och energiförsörjning är låst för hela byggnadens brukstid. Förändringar av installationer och uppvärmningssystem i befintliga byggnader är ofta mycket kostsamma.

Det är också viktigt att hålla i minnet att en övervägande majoritet av de byggnader vi har idag är samma byggnader som vi kommer att ha om 50 år. Det är en stor utmaning att göra de befintliga byggnaderna mer energieffektiva. Självklart ska man samtidigt satsa på att nytillkommande byggnader blir så energieffektiva som möjligt med rimliga ekonomiska aspekter för brukaren.

Men det är inte bara hur välisolerade byggnader som byggs och vilka tekniska installationer och åtgärder de förses med som avgör hur resurskrävande byggnaderna blir och hur mycket de bidrar till växthuseffekten med koldioxidutsläpp och utsläpp av andra växthusgaser. Valet av energitillförsel och olika åtgärder i denna infrastruktur är också av avgörande betydelse för hur resurseffektiv en byggnad som helhet blir.

I det här projektet har bygg- och energibranschen tagit ett gemensamt initiativ för att identifiera de mest kostnads- och resurseffektiva lösningarna för att minska bebyggelsens primärenergianvändning och koldioxidutsläpp, och för att energitillförseln ska ske på ett så miljövänligt sätt som möjligt.

3 Syfte

Syftet med den här studien är att ur ett systemperspektiv belysa vilka energi-effektiviseringsåtgärder, kombinationer av åtgärder och typer av energiförsörjning som är resurs- och kostnadseffektiva, och vilka åtgärder eller kombinationer av åtgärder som inte är det. Resultatet ska vara en effektiv tillförsel och slutanvändning och målet är låg primärenergianvändning och låga utsläpp av växthusgaser (här redovisade i form av koldioxidutsläpp). Projektet syftar också till att minska energi- och resursanvändningen i bebyggelsen till bibehållen eller förbättrad komfort.

För studien har två typhus valts ut för att visualisera de resonemang som studien vill diskutera. Dessa två typhus innefattar ett flerbostadshus och en kontorsbyggnad. Typhusen är verkliga uppförda byggnader med uppmätta värden för den årliga energianvändningen.

4 Resurs- och kostnadseffektiva kombinationer av energianvändning och –tillförsel

4.1 Resursanvändning uttryckt i primärenergianvändning och CO₂-utsläpp

Måttet köpt energi är otillräckligt om man vill åskådliggöra den totala resursförbrukningen och miljöpåverkan för en byggnad. I stället används i denna studie ett systemperspektiv med sin grund i livscykelanalyser med primärenergianvändning och koldioxidutsläpp som måtetal. I de kommande CEN-standarderna finns även begreppet primärresursfaktor som kan ses som en sammanslagning av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp. Primärresursfaktorn beskriver primärenergi där allt utom det som påverkar växthuseffekten får faktorn noll. Om denna primärresursfaktor fastställs nationellt med en politisk prägel kallas den även viktad energi. Vi anser att måtten primärenergianvändning och koldioxidutsläpp är tydligast, där primärenergianvändningen står för "energieffektiviteten" eller grovt sett en inverterad verkningsgrad. Vilka begrepp som framöver kommer att användas i Sverige får framtiden utvisa.

I Nationalencyklopedin definieras energieffektivitet på följande sätt:

Energieffektivitet, att med en viss insats av energi åstadkomma en relativt stor mängd energitjänster. Den insatta primärenergien omvandlas ofta till energiformer lämpliga för slutlig användning (t.ex. el, bränsle, drivmedel). Dessa utnyttjas sedan i apparater och anläggningar för att ge olika energitjänster (belysning, uppvärmning, transporter). Ju högre verkningsgraden är i omvandling och utnyttjande av energi, desto mer energieffektiv sägs den vara.

Naturvårdsverket har följande syn på långsiktigt arbete med effektivare användning av el och fjärrvärme⁴:

”År 2005 startade en europeisk handel med utsläppsrätter. På kort sikt finns det en risk att effektivisering av el och fjärrvärmeanvändning inte leder till minskade utsläpp eftersom anläggningarna deltar i EU:s handelssystem, och frigjorda utsläppsrätter kan säljas till andra användare. Taket är dock bara låst fram till 2007, men det gäller inte för kommande perioder. Nästa period börjar år 2008. Ju mer man lyckas begränsa elanvändningen desto större möjlighet finns det att krympa bubblan över tiden utan att de samhällsekonomiska kostnaderna blir orimligt stora. På det sättet kan effektivisering av elanvändning ha stor betydelse för möjligheterna att minska utsläppen på sikt. Om man ser till de stora förlusterna i elproduktionssystemet torde det fortsatt vara miljömässigt viktigare att effektivisera bort 1 kWh el än 1 kWh bränsle. Mycket talar alltså

⁴ Energieffektivisering i byggnader – översiktliga miljökonsekvenser av förslag, Naturvårdsverket, 2006

för att den minskade efterfrågan på utsläppsrätter som uppstår om el- och fjärrvärmeanvändningen effektiviseras möjliggör lägre utsläppstak för kommande perioder och bidrar därmed till globalt lägre koldioxidutsläpp.”

I rapporten sätts för primärenergianvändning den yttre systemgränsen vid utvinning av råvara för energiproduktion. Primärenergianvändning innefattar då alla omvandlingar och förluster på vägen från utvinning till nyttiggörande, med en begränsning enligt principen ”limited loss of information at the final product”⁵. Denna princip innebär att utvidgningen av systemgränsen avbryts när informationsförlusten uppgår till högst 1 procent. Primärenergianvändning är med det valda betraktelsesättet ett mått som beskriver den totala energimängd som behövs från utvinning via förädling, distribution och användning till omvandling av energi till den nytthet som brukaren efterfrågar, det vill säga ljus, värme, kyla, kraft etcetera.

Utöver primärenergianvändning beskrivs i denna studie också hur stora utsläpp av koldioxid som energianvändningen i den enskilda byggnaden i kombination med valt system för energitillförsel ger. Även koldioxidutsläppen redovisas ur ett systemperspektiv baserat på livscykelanalys, med den yttre systemgränsen vid utvinning av råvara för energiproduktion.

För beräkning av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp används primärenergifaktorer, PEF, och CO₂-faktorer. Hur stora dessa är och hur de har tagits fram beskrivs i Bilaga 2 Primärenergifaktorer och koldioxidutsläpp.

Såväl primärenergianvändning som koldioxidutsläpp varierar om man byter energitillförselsystem för byggnaden, genomför åtgärder i det valda tillförselsystemet eller om man genomför åtgärder för effektivare energianvändning i själva byggnaden. Primärenergianvändningen och koldioxidutsläppen varierar också beroende på vilken allokeringmetod som används i de fall kraftvärme ingår i tillförselalternativet. I denna studie har primärenergimetoden⁶ valts som allokeringmetod.

4.2 Investering och livscykelkostnad för åtgärder

4.2.1 Investeringar

För att värdera kostnadseffektiviteten för de åtgärder som analyseras i rapporten har investering och livscykelkostnader för både åtgärder i byggnad och byte av och åtgärder i energitillförselsystem beräknats. För åtgärder i byggnaden har merkostnader beräknats i förhållande till investeringskostnaden för den ursprungliga byggnaden.

⁵ Wahlström, Olsson-Jonsson, Ekberg, 2001.

⁶ Primärenergimetoden beskrivs i kapitel 5. Där ges även en känslighetsanalys över skillnader i utfall för den aktuella flerfamiljs- och kontorsbyggnaden vid användning av primärenergimetoden respektive alternativmetoden som allokeringprincip.

Vid investeringar i energitillförselsystemet har kostnaderna omsatts till förändring i energikostnad SEK/kWh i förhållande till dagens genomsnittskostnad per kWh för tillförselalternativ 1 för att kunna göra jämförelser avseende kostnadseffektivitet mellan olika typer av åtgärder. För de olika tillförselalternativen har uppskattningar av vad olika värmeproduktionssätt kostar gjorts. Dessa kostnader inkluderar investering, bränslen, skatter, personal, drift och underhåll med mera. Dessa kostnader redovisas i form av ett teoretiskt möjligt fjärrvärmepris om ett nytt fjärrvärmenät byggs i en medelstor svensk stad. Beräkningarna utgår från medelpriset på fjärrvärme med olika produktionssätt utan hänsyn tagen till prissättning gentemot alternativens prisnivåer. Då ingår ej kostnader för äldre, icke helt avskrivna, anläggningar i fjärrvärmesystemet. De gjorda kostnadsuppskattningarna för tillförselalternativen visar med säkerhet att i ett helt nytt nät (ej för litet) kommer biobränsleproducerad kraftvärme (tillförselalternativ 4 i denna studie) ge lägst totalkostnad i dagsläget.

De här presenterade energikostnaderna ska således användas med försiktighet. De kan emellertid mycket väl användas till att ur kundens perspektiv jämföra energipriset mot kostnader för energieffektiviserande åtgärder i byggnaden. En LCC-analys ger då vilka åtgärder som är ekonomiskt riktiga att göra vid ett visst energipris.

Kostnaderna för individuella åtgärder i de analyserade byggnaderna respektive i tillförselsystemet redovisas i Bilaga 1.

4.2.2 Livscykelkostnadskalkyler

De livscykelkostnader som beräknats i studien inkluderar investeringar och energikostnader under den bedömda brukstiden 25 år. Det som har beräknats är således LCC_{energi} . Beräkningarna har gjorts med ett antagande om 5 % kalkylränta och en årlig energiprisökning om 2 %. En känslighetsanalys för andra värden på kalkylräntan presenteras i kapitel 5.4.

Investeringar och livscykelkostnader har liksom förändring av primärenergi-användning och koldioxidutsläpp beräknats i förhållande till de analyserade byggnadernas tempererade bruksarea (BRA_t). Dessa kostnader har sedan satts i relation till förändringen av primärenergianvändning respektive koldioxidutsläpp.

4.3 Energitillförsel

4.3.1 Uppvärmning

I beräkningarna har sex olika typer av energitillförsel för uppvärmning och varmvatten använts för att göra jämförande beräkningar av primärenergibehov och utsläpp av koldioxid, samt för att göra jämförelser i vilka fall åtgärder i

tillförselsystemet är mer resurseffektiva än åtgärder i byggnaderna⁷. De sex typfallen är följande:

1. Fjärrvärmemix baserat på prognos för 2010
2. Fjärrvärme baserat på biohetvattenpanna med olja som spets
3. Fjärrvärme producerad med naturgasbaserad kraftvärme, med biobränslen som spets
4. Fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme, med biobränslen som spets
5. Lokal värmeproduktion, bergvärmepump med värmefaktor 2,8 och el som spets
6. Lokal värmeproduktion, biobränsle med el som spets

Det ska poängteras att det finns en mängd andra tillförselalternativ än de sex som valts för denna studie, de sex valda utgör endast ett litet urval. Utvecklingen kommer dessutom att leda till nya tillförselalternativ som vi inte idag kan överblicka. Dessa kommer till exempel att inbegripa andra produktionsmöjligheter som till exempel samtidig produktion av el, fjärrvärme och drivmedel för transporter i form av bioenergikombinat. Sådana lösningar ger lägre primärenergifaktorer och CO₂-faktorer.

4.3.2 EI

Om elanvändningen eller elproduktionen förändras så påverkar detta inte alla olika elproduktionsanläggningar lika i det nordiska elsystemet. Det är normalt en specifik typ av produktionsanläggningar som på årsbasis anpassar sin produktion beroende på utbud och efterfrågan av el. För elanvändning i beräkningarna och analyserna har antagits en framtida försörjning av tillkommande/avgående elproduktion baserad på naturgaskombikondens⁸. I beräkningarna har primärenergifaktorn för el ansatts till 2,5 och CO₂-faktorn till 360 g/kWh. Nuvarande situation med kolkondens som reglerande elproduktionstyp bedöms vara utfasad under den tidshorisont som denna studie omfattar. Det valda perspektivet innebär att en minskad elanvändning i Sverige minskar andelen el producerad med naturgaskombikondens, på årsbasis.

Varför minskar inte vattenkraftsel och kärnkraftsel när vi effektiviserar elanvändningen i Sverige? I Sverige är idag cirka hälften av elproduktionen baserad på vattenkraft, cirka hälften baserad på kärnkraft och en liten andel import (kondenskraft). Vid ändring av elbehovet på årsbasis regleras detta inte med vattenkraft eller med kärnkraft utan med annan värmeproducerad el, i huvudsak europeisk kondenskraft. Vi bygger inte ut en älv till och vi släpper inte ut vatten förbi dammarna. Vi ökar och minskar inte heller pådraget på kärnkraften, den går för fullt.

⁷ De analyserade energitillförselalternativen presenteras närmare i kapitel 7.5.

⁸ Dessa värden stämmer även överens med den europeiska elmixen. Dock bör inte medelvärden/mixen användas för att beskriva konsekvenser vid förändrad energianvändning.

Regleringen sker istället med de anläggningar som har de högsta rörliga kostnaderna. På kort sikt är kolkondens utomlands den typ av anläggning som producerar den el som används för reglering. På längre sikt är det sannolikt gaskraft som blir reglerande elproduktion. Vid minskad elanvändning i Sverige ökar således elexporten, vilket leder till minskad elproduktion i Europa (jämfört med om ingen elexport från Sverige sker).

4.3.3 Kyla

I kontorsfallet ingår förutom energi för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel och verksamhetsel även klimatkyla. Denna kan vara producerad lokalt, med fjärrkylasystem, med frikyla eller genom absorptionskylanläggningar⁹.

4.4 Fallet flerbostadshus

De analyser som genomförs i detta kapitel baserar sig på en verklig nybyggd flerfamiljsbyggnad uppförd år 2004 i södra Stockholm. Byggnaden har 15 lägenheter och en tempererad bruksarea (BRA_t) på drygt 1.300 m². Huset är frånluftsventilerat och klimatskärmen har en god värmeisolerande förmåga, till exempel har fönstren har värmegenomgångstal på 1,2 W/m²,K. Det totala uppmätta behovet av köpt energi¹⁰ för den aktuella byggnaden är 170 kWh per kvadratmeter och år, fördelat på följande sätt:

- Värme och tappvarmvatten 114 kWh/m², år
- El för fläktar och pumpar samt fastighetsel 12 kWh/m², år, samt
- Hushållsel 44 kWh/m², år

Med tanke på att det är ett nybyggt hus är hushållselen hög i den aktuella byggnaden. Det beror på att lägenheterna är försedda med elvärmeslingor i badrumsgolvet, och denna elanvändning debiteras via de enskilda lägenhetsinnehavarnas elabonnemang. Enligt byggherrens bedömningar uppgår elanvändningen för detta ändamål till cirka 17 kWh/m², år.

4.4.1 Förändring i tillförselsystemet

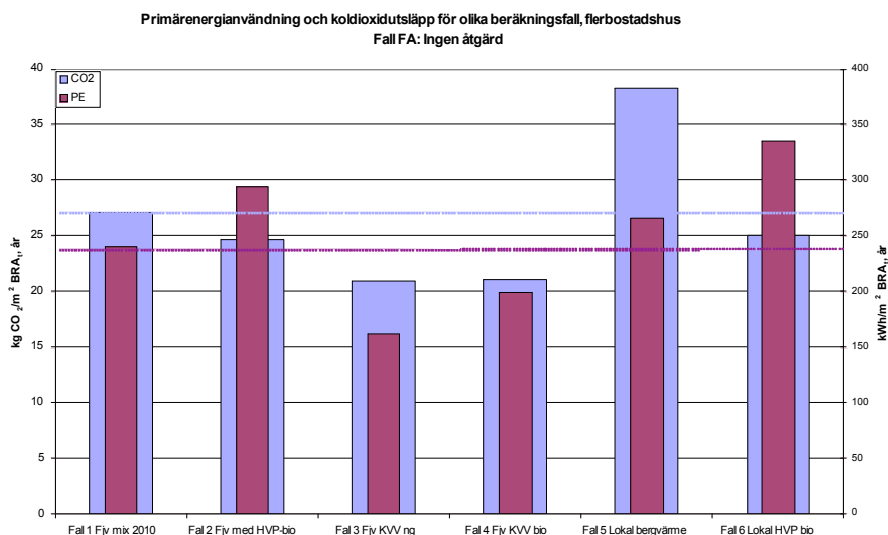
4.4.1.1 Primärenergianvändning

Primärenergibehovet varierar beroende på vilket tillförselalternativ man väljer. I Figur 14 nedan visas en jämförelse av primärenergianvändningen och koldioxidutsläpp för det aktuella flerbostadshuset om man väljer något av de sex tillförselalternativ som ingår i denna studie. Jämförelsen baseras på total energianvändning i byggnaden, med energibehov för uppvärmning, tappvarm-

⁹ De analyserade alternativen för klimatkyla presenteras närmare i kapitel 7.5.

¹⁰ Med köpt energi avses levererad energi till byggnaden.

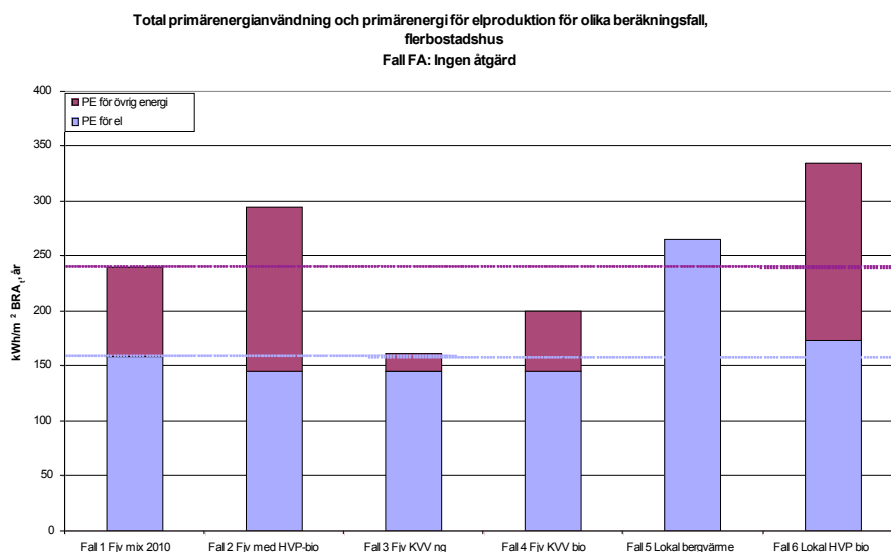
vatten, fastighetsel och hushållsel. Som bas för jämförelsen används uppvärmning med fjärrvärme producerad i enlighet med Svensk Fjärrvärmes prognos för genomsnittlig fjärrvärmemix för år 2010, för kraftvärme används primärenergimetoden som allokeringssprincip. Elanvändningen baseras på genomsnittlig europeisk elproduktion.



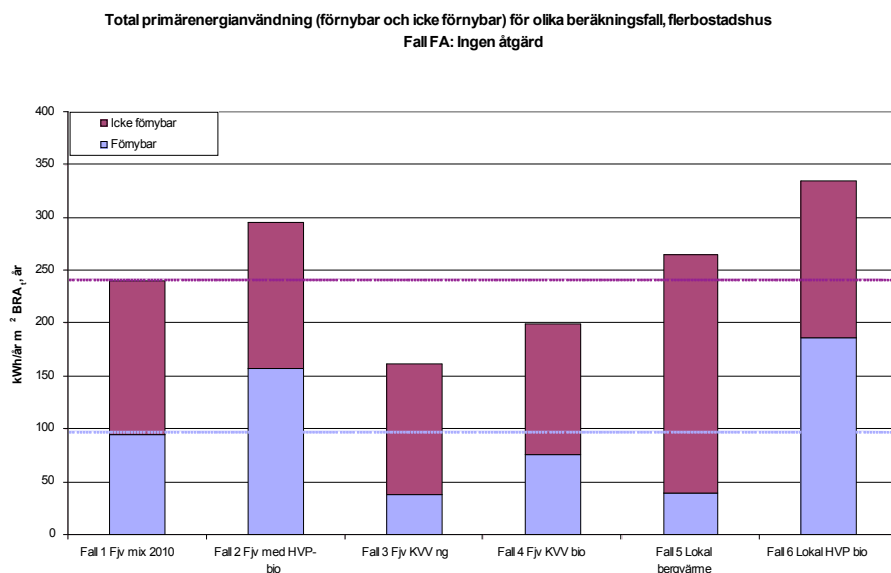
Figur 14: Total primärenergianvändning och koldioxidutsläpp för det analyserade flerbostadshuset för byggnadens totala energianvändning inklusive fastighetsel och hushållsel (grundförslaget utan åtgärder i byggnaden) vid olika tillförelsalternativ för energi för uppvärmning och tappvarmvatten. Värdena för elanvändningen motsvaras av genomsnittlig europeisk elproduktion, och för kraftvärme har **primärenergimetoden** använts som allokeringssprincip.

I Figur 15 visas fördelningen av primärenergianvändningen mellan el och övrig energitillförelse i den studerade flerfamiljsbyggnaden vid byte av energitillförelsesystem för uppvärmning och tappvarmvatten.

Som framgår av Figur 14 och Figur 15 minskar primärenergibehovet för byggnaden om man väljer tillförelse med fjärrvärme baserat på kraftvärme för uppvärmning och tappvarmvattenvärmning istället för fjärrvärme producerad enligt prognosen för genomsnittlig mix år 2010. Med fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på naturgas (tillförelsalternativ 3) minskar primärenergibehovet för byggnaden med en tredjedel (från 240 till 159 kWh/m²) och för fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme (tillförelsalternativ 4) minskar primärenergibehovet för byggnaden med en sjättedel (från 240 till 200 kWh/m²). Om man väljer något av de andra tillförelsalternativen ökar i stället primärenergianvändningen. Det kan också nämnas att primärenergianvändningen är väsentligt högre vid användning av olja eller el för uppvärmning.



Figur 15: Fördelning av den totala primärenergianvändningen (inklusive fastighetsel och hushållsel) mellan el och övriga energikällor för det analyserade flerbostadshuset (grundförslaget utan åtgärder i byggnaden) vid byte från studiens grundalternativ för tillförsel av uppvärmning, fjärrvärme enligt prognos för genomsnitt år 2010, och elanvändning motsvarande genomsnittlig europeisk elproduktion. För kraftvärme har primärenergimetoden använts som allokeringssprincip.



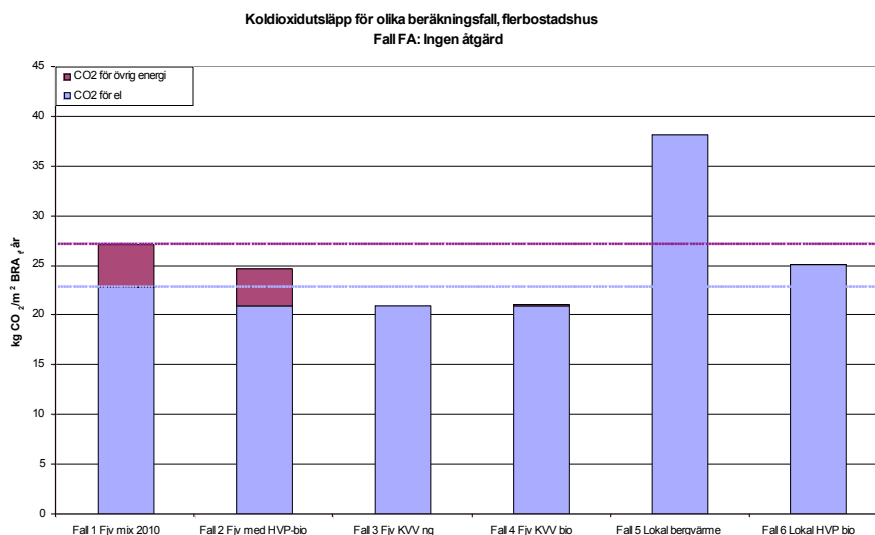
Figur 16: Primärenergianvändning i det aktuella flerbostadshuset, fördelat mellan förnybar och icke-förnybar energi. Diagrammets staplar innefattar byggnadens totala energianvändning, såväl uppvärmning, tappvattenvärmning, fastighetsel som hushållsel, och gäller vid användning av **primärenergimetoden** som allokeringssprincip vid kraftvärme. För elanvändningen har värden som motsvarar genomsnittlig europeisk elproduktion använts.

Andelen förnybar energi framgår av Figur 16. Jämfört med prognosen för 2010 års fjärrvärmemix är den relativa andelen förnybar energi högre i fjärrvärme från pelletseldad hetvattenpanna (tillförelsalternativ 2) och lokal eldning av biobränsle (tillförelsalternativ 6). Andelen förnybar energi blir något lägre i det biobränsleproducerade kraftvärmealternativet (tillförelsalternativ 4) och mycket lägre i det naturgaseldade kraftvärmealternativet och bergvärmepumpen (tillförelsalternativ 3 respektive 5).

4.4.1.2 Koldioxidutsläpp

Utsläppet av koldioxid varierar också för den enskilda byggnaden om man byter tillförelsalternativ för byggnadens energibehov. Detta framgår av Figur 14 och Figur 17. I Figur 17 visas dessutom fördelningen av koldioxidutsläpp mellan el och övriga energikällor i den studerade flerbostadsbyggnaden vid byte av energitillförelsesystem för uppvärmning och tappvarmvatten.

Skillnaden i utsläpp av koldioxid mellan de olika tillförelsalternativen är något annorlunda jämfört med skillnaden i primärenergianvändning. Vid jämförelse med basfallet, fjärrvärmemix prognos för år 2010 (tillförelsalternativ 1) för uppvärmning och tappvarmvatten, blir koldioxidutsläppen mindre i samtliga fall utom för uppvärmning med lokal bergvärmepump (tillförelsalternativ 5).



Figur 17: Fördelning av koldioxidutsläpp mellan el och övriga energikällor för det analyserade flerbostadshuset (grundförslaget utan åtgärder i byggnaden) vid byte från studiens grundalternativ för tillförelse av uppvärmning, fjärrvärme enligt prognos för genomsnitt år 2010, och el enligt genomsnittlig europeisk elproduktion. Diagrammet staplar innefattar all energianvändning i byggnaden, såväl uppvärmning, energi till tappvarmvatten, fastighetsel som hushållsel.

Den största minskningen av koldioxidutsläpp sker vid byte till fjärrvärme baserad på kraftvärme, här blir minskningen 22 % ($6 \text{ kg/m}^2, \text{ år}$) för de båda kraft-

värmealternativen (biobränsle- respektive naturgasbaserad, tillförelalternativ 3 respektive 4). Endast alternativet lokal bergvärmepump (tillförelalternativ 5) ger högre koldioxidutsläpp än fjärrvärmemixprognosen för år 2010 om man använder primärenergimetoden som allokeringssprincip för kraftvärme. Denna jämförelse visas i Figur 14 och Figur 17.

Sammanfattningsvis får alternativet fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på naturgas (tillförelalternativ 3)¹¹, tätt följt av alternativet fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på biobränsle (tillförelalternativ 4), ses som det bästa av de studerade tillförelalternativen för den studerade flerbostadsbyggnaden om man använder primärenergimetoden som allokeringssprincip vid kraftvärme. Naturgas-kraftvärme ger för flerbostadshuset både lägst primärenergianvändning och lägst koldioxidutsläpp för den aktuella byggnaden.

4.4.2 Åtgärder i flerbostadshuset

I denna studie har effekten av en rad åtgärder och åtgärds kombinationer beräknats för flerbostadshuset. De åtgärder som tagits i beaktande för flerbostadshuset är följande:

- Från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning (FTX)
- Frånluftsvärmepump (FX) för värme och varmvatten, i grundfallet har årsvärmefaktorn ansatts till 2,5¹², ett separat fall med årsvärmefaktorn 3,0 har också beräknats
- Fönster med lägre värmegenomgångstal ($U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{,K}$ istället för $1,2 \text{ W/m}^2\text{,K}$)
- Bättre isolering av väggarna (30 mm tjockare isolering, vilket ger $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{,K}$ istället för $0,21 \text{ W/m}^2\text{,K}$)
- Lägre inomhustemperatur ($20 \text{ }^\circ\text{C}$ istället för $22 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Ännu mer energieffektiva vitvaror i lägenheterna än i grundfallet (kyl och frys med energimärkning A++ istället för A, Tvättmaskin A+ istället för B, torktumlare A istället för C respektive diskmaskin A istället för B)
- Kombinationer av ovan nämnda åtgärder

De åtgärds kombinationer som simulerats i beräkningarna presenteras i Tabell 1. Utöver de ovannämnda åtgärder som underlag för studiens beräkningsfall har även effekten av ökad inomhustemperatur och att inte installera komfortelvärm i badrumsgolvet beräknats. Dessa åtgärder har dock inte tagits med i nedanstående analys.

¹¹ Vid användande av primärenergimetoden som allokeringssmetod. För resonemang om allokeringssprinciper och inverkan på primärenergianvändning och koldioxidutsläpp med annan allokeringssprincip hänvisas till kapitel 5.1.

¹² En årsvärmefaktor på 2,5 måste anses vara ett högt värde. I till exempel kvarteret Jöns Ols i Lund har man i praktisk drift med en mycket omfattande skötsel och noggrann utvärdering uppnått en årsvärmefaktor på 2,4.

Tabell 1: Åtgärder och åtgärdskombinationer i den aktuella flerbostadsbyggnaden för vilka energianvändningen har beräknats.

	Grundalternativ	FX Värmeffaktor 2,5	E-eff föenster, U 1,0 W/m ² K istället för 1,2 W/m ² K	Bättre isol. fasad U 0,17 istället för 0,21 W/m ² K	Kombination av B & C	Inomhustemperatur högre t 24 °C istället för 22 °C	Inomhustemperatur lägre t 20 °C istället för 22 °C	E-eff vitvaror	Ej komfortvärmare i badrumsgolv	FX Värmeffaktor 3,0
Frånluftsventilation	F		F fönster	F vägg	F fö+vå	F T=24	F T=20	F vitv	F ej komfortel	
Från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning	FTX		FTX fönster	FTX vägg	FTX fö+vå			FTX vitv		
Frånluftsvärmepump		FX (2,5)	FX fönster	FX vägg	FX fö+vå			FX vitv		FX (3,0)

Tabell 2: Behov av köpt energi för det studerade flerbostadshuset vid olika åtgärder i byggnaden. Uppgift om hushållsel bygger på verklig användning i det faktiska huset, utom i de fall där åtgärden energieffektiva vitvaror simuleras. I detta fall används ett genomsnitt för verklig hushållselanvändning i 15 olika byggnader i Hammarby Sjöstad, Stockholm.

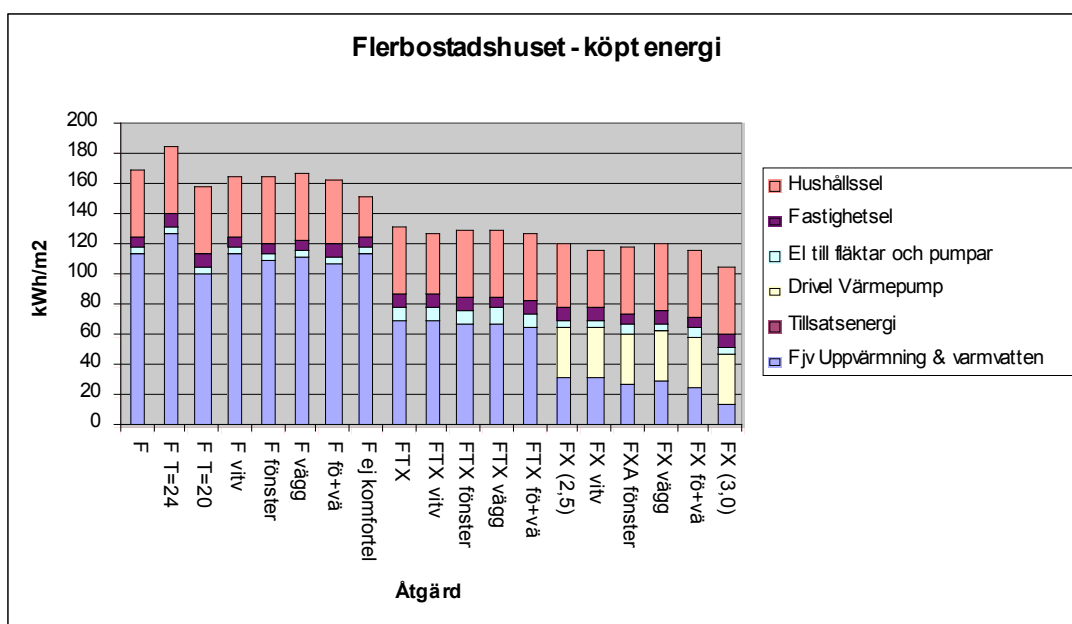
	F	F T=24	F T=20	F vitv	F föenster	F vägg	F fö+vå	F ej komfort- elvärmare	FTX	FTX vitv	FTX föenster	FTX vägg	FTX fö+vå	FX (2,5)	FX vitv	FX föenster	FX vägg	FX fö+vå	FX (3,0)
Uppv & varmvatten	114	128	102	114	110	112	108	114	71	71	68	69	66	32	32	29	30	27	15
Tillsatsenergi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Drivel Värmepump	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	33	33	33	33	33
El till fläktar och pumpar	4	4	4	4	4	4	4	4	9	9	9	9	9	5	5	5	5	5	5
Fastighetsel	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Hushållsel	44	44	44	39	44	44	44	27	44	39	44	44	44	44	39	44	44	44	44
Summa	170	184	158	165	166	168	164	157	132	127	129	130	127	122	117	119	120	117	105

4.4.2.1 Köpt energi

En enkel summering av den köpta energin¹³ för de olika åtgärds kombinationerna visas i Tabell 2. Behovet av köpt energi för den aktuella byggnaden är som inledningsvis nämnts i grundalternativet 170 kWh per kvadratmeter och år, fördelat på följande sätt:

- Värme och tappvarmvatten 114 kWh/m², år
- El för fläktar och pumpar samt fastighetsel 12 kWh/m², år, samt
- Hushållsel 44 kWh/m², år¹⁴

Påverkan på köpt energi för de åtgärder i byggnaden som beskrivs ovan har beräknats med hjälp av mjukvaruprogrammet Enorm. Förändringen i byggnadens behov av köpt energi redovisas i Tabell 2 och Figur 18. Det lägsta behovet av köpt energi fås enligt beräkningarna i fallet frånluftsvärmepump med den höga årsvärmefaktorn 3,0 (*FX 3,0*) följt av frånluftsvärmepump med energieffektiva vitvaror (*FX vitv*) respektive frånluftsvärmepump med mer fasadisolering och mer energieffektiva fönster. I dessa fall är den köpta energin 105 respektive 117 kWh per kvadratmeter BRA_t och år.



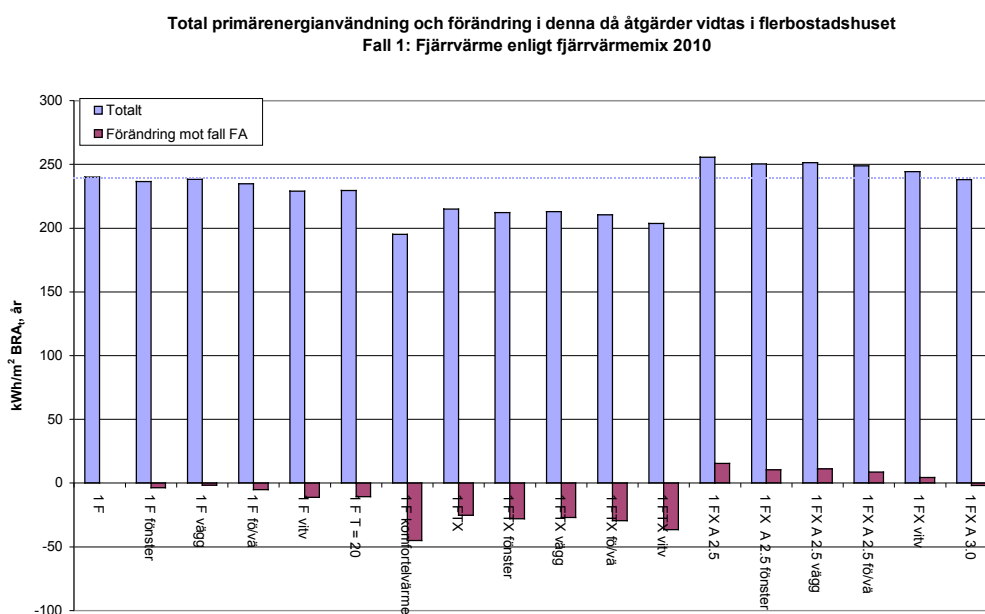
Figur 18: Behov av köpt energi för det studerade flerbostadshuset vid olika åtgärder i byggnaden.

¹³ Med köpt energi anses här levererad energi.

¹⁴ Med tanke på att det är ett nybyggt hus är hushållselen hög i den aktuella byggnaden. Det beror på att lägenheterna är försedda med elvärmeslingor i badrumsgolvet, denna elanvändning bedöms uppgå till cirka 17 kWh/m², år.

4.4.2.2 Primärenergianvändning

I tillförsellfall 1, med fjärrvärme baserat på prognosen för fjärrvärmemix för år 2010, minskar den totala primärenergianvändningen¹⁵ i det aktuella flerbostadshuset vid genomförande av samtliga åtgärder och åtgärdskombinationer med frånluftsventilation och åtgärdskombinationer med FTX-ventilation¹⁶. Vidare blir resultatet att samtliga här simulerade åtgärder och åtgärdskombinationer med frånluftsvärmepump (FX) ger högre primärenergianvändning, utom kombinationen med energieffektiva vitvaror och frånluftsvärmepumpen med den höga årsvärmefaktorn 3,0.



Figur 19: Beräknad primärenergianvändning då åtgärder vidtas i det aktuella flerbostadshuset. Diagrammet visar både total primärenergianvändning för de olika åtgärdskombinationerna och skillnader i förhållande till basalalternativet med frånluftsventilation. Primärenergianvändningen är beräknad för grundalternativet för energitillförsel, prognos för fjärrvärmemix år 2010, med primärenergimetoden för allokering av kraftvärme, samt genomsnittlig europeisk elproduktion. Värdena för primärenergianvändning innefattar all energianvändning i byggnaden, såväl energi för uppvärmning och tappvarmvatten som fastighetsel och hushållsel.

Den största minskningen av primärenergianvändning erhålls i flerbostadshuset i det beräkningsfall där man inte installerar komfortelvärm i badrumsgolvet, här är minskningen 45 kWh/m² BRA_t och år (19 %). Därefter följer fallen FTX-ventilation respektive kombinationer av FTX och andra energieffektiviserande åtgärder sätts in. Kombinationen FTX-ventilation och energieffektiva vitvaror ger den största primärenergiminskningen, 37 kWh/m² BRA_t och år (15 %). Enbart byte till FTX-ventilation ger en minskning med 25 kWh/m² BRA_t och

¹⁵ Primärenergiebehovet för värme, tappvarmvatten, fastighetsel och hushållsel avses.

¹⁶ Utom FTX-ventilation i kombination med högre inomhustemperatur.

år (10 %), vid kombination med energieffektiva fönster och/eller bättre isolering av väggarna nås en minskning på upp till 30 kWh/m² BRA_t och år (12 %). F-ventilation i kombination med energieffektiva vitvaror ger en minskning av primärenergianvändningen på 11 kWh/m² BRA_t och år (knappt 5 %), åtgärds-kombinationen med frånluftsvarmepump och energieffektiva vitvaror minskar primärenergianvändningen med 2 kWh/m² BRA_t och år (knappt 1 %).

Total primärenergianvändning och förändringar vid genomförande av åtgärder i byggnaden vid energitillförselalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010 respektive genomsnittlig europeisk elproduktion) illustreras i Figur 19 ovan. De minskningar i primärenergianvändning som erhålls tack vare åtgärder i byggnaden kan jämföras med de minskningar som erhålls med ändrat tillförselalternativ till fjärrvärme producerad med kraftvärme¹⁷ baserad på naturgas eller bio-bränsle men utan att genomföra några byggnadsåtgärder, där minskningen är 81 respektive 40 kWh per m² BRA_t och år. Att byta tillförselsystem till fjärrvärme baserad på naturgasproducerad kraftvärme ger vid en sådan jämförelse en större primärenergiminskning än alla här analyserade åtgärder i den enskilda byggnaden.

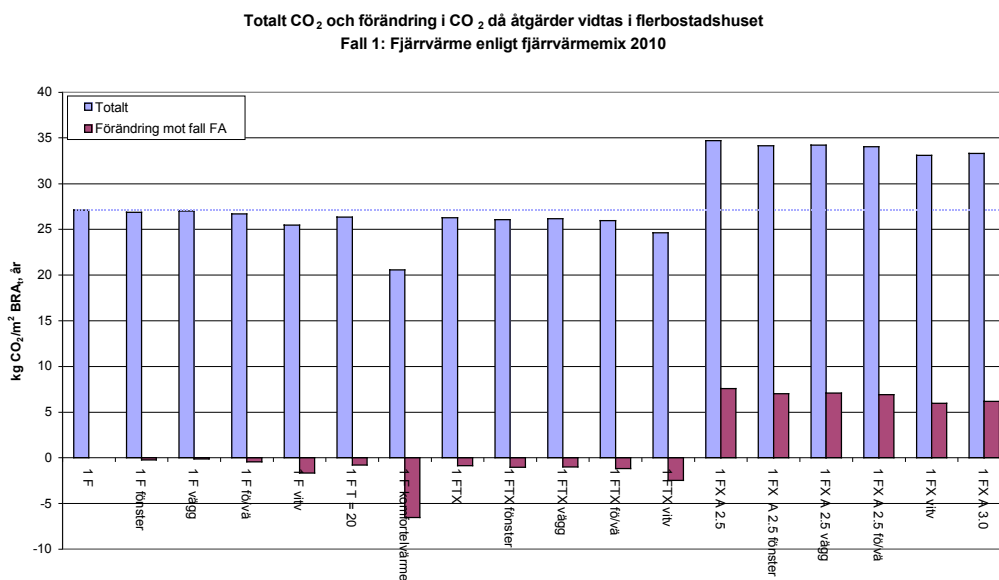
4.4.2.3 Koldioxidutsläpp

Med tillförselalternativ 1, fjärrvärmemixprognos för år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion, blir förändringen i CO₂-utsläpp mycket stor för beräkningsfallet utan komfortelvärm i badrumsgolvet respektive stor i beräkningsfallet med FTX-ventilation i kombination med energieffektiva vitvaror. Vidare blir det en tydlig minskning i de övriga beräkningsfallen med FTX-ventilation och i beräkningsfallet med F-ventilation och energieffektiva vitvaror. Slutligen blir förändringarna i koldioxidutsläpp marginellt positiva för byggnadstekniska åtgärder i kombination med frånluftsventilation. Åtgärdena och åtgärds-kombinationerna med frånluftsvarmepump (FX) ger däremot i samtliga beräknade fall markanta öknningar av koldioxidutsläpp liksom fallet är med primärenergianvändningen. Inte ens fallet med den höga årsvärmefaktorn 3,0 för frånluftsvarmepumpen ger en minskning i koldioxidutsläppen i jämförelse med grundutförandet av den aktuella flerbostadsbyggnaden. Totala CO₂-utsläpp och förändringar i koldioxidutsläpp redovisas i Figur 20.

Den största minskningen av koldioxidutsläpp, 6,5 kg/m² BRA_t, år (24 %), fås i byggnaden utan komfortelvärm. De därefter största minskningarna, 1,7 kg (6 %) respektive 2,5 kg (9 %) per kvadratmeter BRA_t och år, fås för energieffektiva vitvaror med F-ventilation respektive FTX-ventilation. För FTX-ventilation i kombination med byggåtgärdena bättre fönster respektive mer isolerade väggar fås en reduktion av koldioxidutsläppen med cirka 1 kg/m² BRA_t, år. Dessa minskningar av CO₂-utsläpp kan jämföras med dem som erhålls vid övergång från tillförselalternativ 1, fjärrvärmemix 2010, till fjärrvärme producerad med

¹⁷ Beräknat med primärenergimetoden som allokeringssprincip för kraftvärmerna.

kraftvärme baserad på naturgas respektive biobränsle (tillförelalternativ 3 respektive 4). En sådan förändring av energitillförelsen ger en beräknad minskning av koldioxidutsläppet utan åtgärder i byggnaden på 6 respektive 7 kg/m² BRA_t och år¹⁸. Att byta tillförelsystem till fjärrvärme baserad på kraftvärme ger således en ungefär lika stor koldioxidreduktion som att avstå från komfortelvärm i byggnadens badrumsgolv.



Figur 20: Beräknade koldioxidutsläpp då åtgärder vidtas i det aktuella flerbostadshuset. Diagrammet visar både totala värden och skillnader i CO₂-utsläpp per kvadratmeter och år. Koldioxidutsläppen redovisas i förhållande till tillförelalternativ 1, prognos för fjärrvärmemix år 2010, med primärenergimetoden som allokeringssprincip, samt genomsnittlig europeisk elproduktion. Värdena för CO₂-utsläpp innefattar all energianvändning i byggnaden, såväl energi för uppvärmning och tappvarmvatten som fastighetsel och hushållsel.

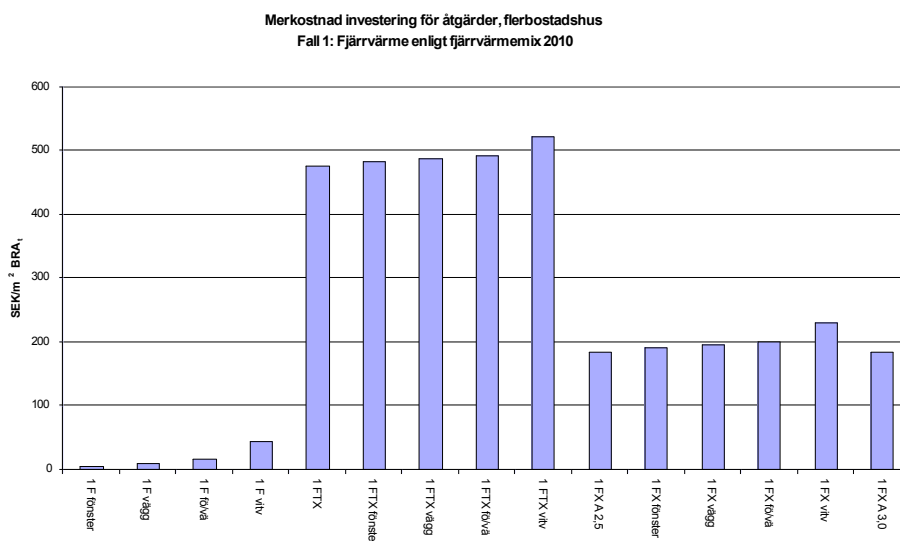
Sammantaget kan konstateras att de åtgärder i byggnaden som simulerats här med frånluftsventilation och åtgärder i kombination med FTX-ventilation ger en bättre resursanvändning och minskad miljöpåverkan, medan frånluftvärmepumpen ger ökad resursanvändning och ökad miljöpåverkan för samtliga beräknade åtgärder för tillförelalternativ 1 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010).

4.4.3 Investeringar för åtgärder i flerbostadsfallet

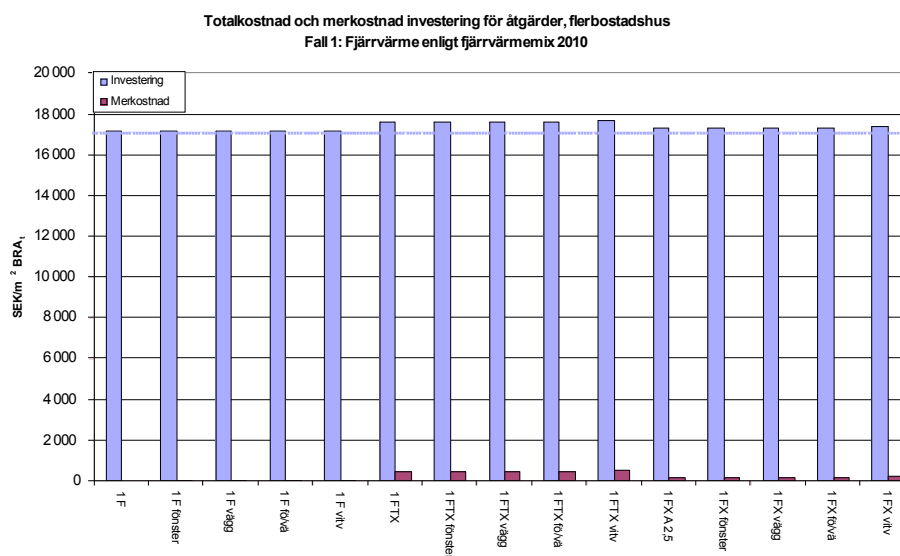
Grundinvesteringen för det aktuella flerbostadshuset är 17.165 SEK/m² tempererad bruksarea (BRA_t). Denna kostnad inkluderar både moms och byggherremkostnader. För åtgärder i byggnaden har merkostnader beräknats i förhållande till den ursprungliga byggnaden, även dessa kostnader uttrycks i förhål-

¹⁸ Beräknat med primärenergimetoden som allokeringssprincip för kraftvärm.

lande till byggnadens tempererade bruksarea. Merkostnader för åtgärder redovisas i Figur 21 och Figur 22. I Figur 22 visas även de totala investeringskostnaderna per kvadratmeter BRA_t . Åtgärdernas investeringskostnader har beräknats för den verkliga byggnaden.



Figur 21: Merkostnader för investering för åtgärder i byggnaden. Kostnaderna uttrycks i SEK per m² BRA_t och år och inkluderar moms och byggherreomkostnader.



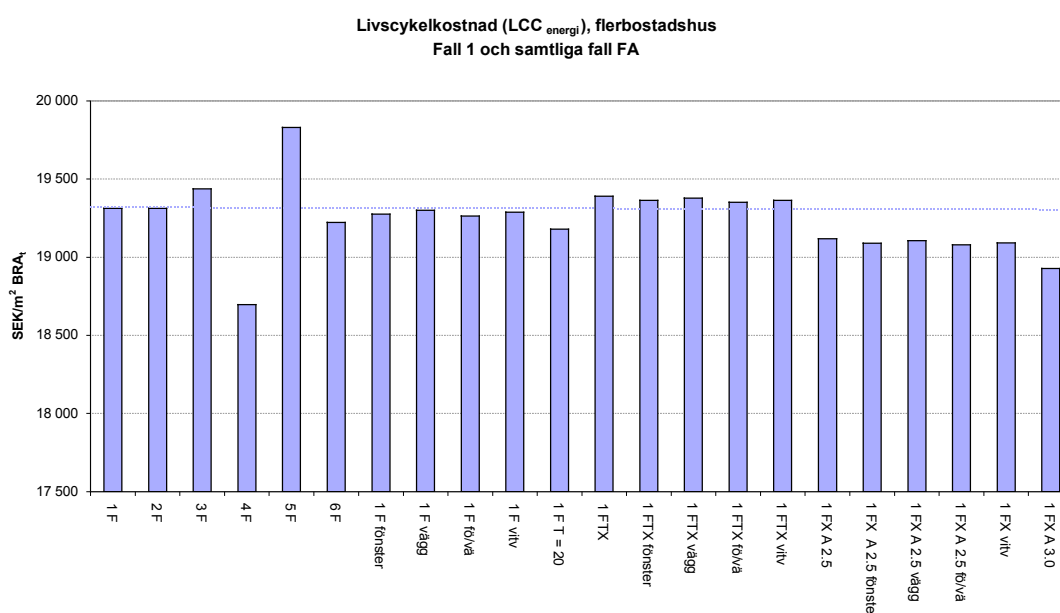
Figur 22: Investering för åtgärder och åtgärds kombinationer i byggnad och tillförselsystem. Kostnaderna uttrycks i SEK per m² BRA_t och år och inkluderar moms och byggherreomkostnader.

Vid investeringar i energitillförselsystemet har kostnaderna omsatts till förändring i energikostnad SEK/kWh i förhållande till den bedömda kostnaden per kWh för tillförselalternativ 1 för att kunna göra jämförelser avseende kostnadseffektivitet. Priset för tillförselalternativ 1 (fjärrvärmemix prognos för år 2010) baseras på genomsnittspriset för fjärrvärme enligt Nils Holgersson-studien för 2005, detta pris är 0,64 SEK/kWh inklusive moms.

Kostnaderna för individuella åtgärder i byggnaden respektive i tillförselsystemet redovisas också i Bilaga 1. För FTX-ventilation finns olika tekniska lösningar som är olika kostnadskrävande, en känslighetsanalys för detta presenteras i kapitel 5.5.

4.4.4 Livscykelkostnader för åtgärder i flerbostadsfallet

De livscykelkostnader som beräknats här är LCC_{energi} -beräkningar och inkluderar som tidigare nämnts investeringar och energikostnader under den bedömda brukstiden 25 år. Den beräknade livscykelkostnaden och skillnader i livscykelkostnader för det aktuella flerbostadshuset med energieffektiviserande åtgärder och åtgärds kombinationer framgår av Figur 23 och Figur 24.

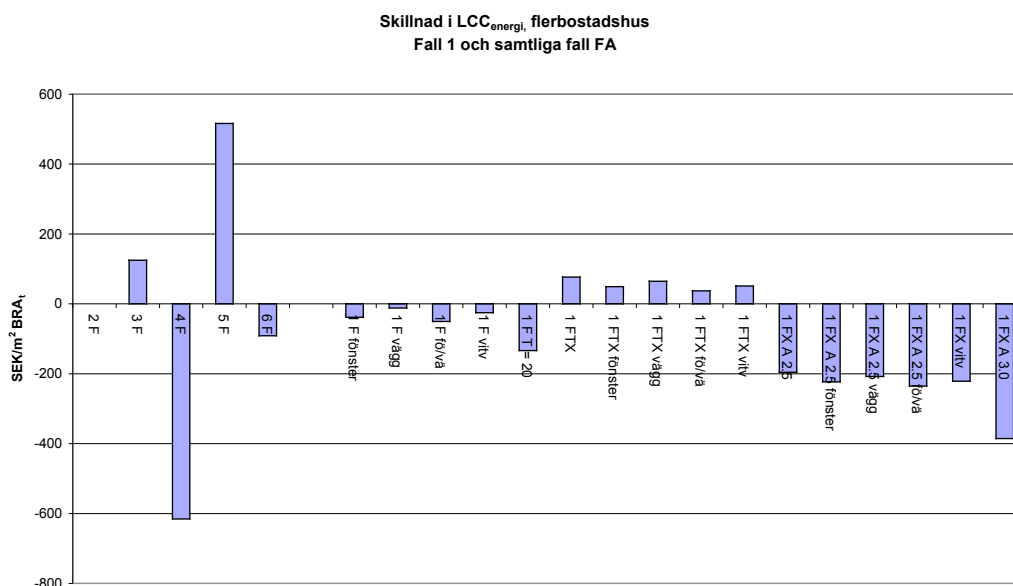


Figur 23: Livscykelkostnader (LCC_{energi}) för genomförande av energieffektiviserande åtgärder i flerbostadshuset respektive byte av energitillförselsystem utan åtgärder i byggnaden. Brukstid 25 år, kalkylränta 5 % och årlig energiprisökning 2 % har antagits. Observera att skalan på Y-axeln inte utgår från 0.

Grundinvesteringen för byggnaden är $17.165 \text{ SEK/m}^2 \text{ BRA}_t$, och den totala livscykelkostnaden för byggnaden utan åtgärder är cirka $19.300 \text{ SEK/m}^2 \text{ BRA}_t$.

Vid genomförande av åtgärder i byggnaden (utan byte av energitillförselssystem) ligger LCC-kostnaderna mellan 18.900 SEK/m² BRA_t och 19.400 SEK/m² BRA_t. Det kan således konstateras att energikostnadens andel av de totala livscykelkostnaderna för byggnaden är relativt låg.

Som figurerna visar ger samtliga åtgärder och kombinationer med den frånluftsventilation lägre livscykelkostnader än grundalternativet, det vill säga lägre livscykelkostnader än vad fallet är så som den aktuella byggnaden faktiskt är utförd. Däremot ger samtliga åtgärds kombinationer med FTX-ventilation en något högre livscykelkostnad än grundalternativet för byggnaden med de åtgärds kostnader som denna studie bygger på. Att sätta in frånluftsvärmepump (FX) ger för samtliga här analyserade åtgärds kombinationer i den aktuella byggnaden en lägre livscykelkostnad än grundutförandet. Dessa åtgärds kombinationer leder dock som visats tidigare i detta kapitel till högre primärenergi användning och högre koldioxidutsläpp. En slutsats som kan dras är att frånluftsvärmepumpar med god årsvärmefaktor är kostnadseffektiva i förhållande till den frånluftsventilerade byggnaden, men de ger en negativ miljöpåverkan i form av högre primärenergi användning och ökade utsläpp av koldioxid om de jämförs med prognosen för fjärrvärmemix 2010.



Figur 24: Skillnad i livscykelkostnader (LCC_{energi}) för genomförande av energieffektiviserande åtgärder i flerbostadshuset respektive byte av energitillförselsystem utan åtgärder i byggnaden.

Vid byte av energitillförselsystem utan att genomföra några åtgärder i byggnaden erhålls en lägre livscykelkostnad i två av de studerade fallen, samma LCC-kostnad i ett fall och högre LCC-kostnad i två av fallen jämfört med prognosen för fjärrvärmemix för år 2010 (se Figur 23 och Figur 24). De två fall som ger lägre LCC-kostnad är fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på bio-

bränsle (tillförelalternativ 4) och lokal biobränslepanna (tillförelalternativ 6). Fjärrvärme producerad med biobränsleeldad hetvattenpanna (tillförelalternativ 2) ger samma LCC-kostnad för byggnaden utan åtgärder som tillförelalternativ 1 (fjärrvärmemix 2010) ger, medan fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på naturgas (tillförelalternativ 3) och lokal bergvärmepump (tillförelalternativ 5) ger högre LCC-kostnader beräknat för byggnaden utan åtgärder.

4.4.5 Korskörningar mellan åtgärder i flerbostadshuset och ändrad energitillförel

Som konstaterats leder en rad åtgärder i såväl flerbostadshuset som byte av energitillförelsystem till minskad primärenergianvändning och reducerat koldioxidutsläpp. För att undersöka vilken effekt samtidigt byte av energitillförel och genomförande av åtgärder i den aktuella byggnaden ger på primärenergianvändning respektive koldioxidutsläpp, och för att se vilka de bästa kombinationerna är, har en korskörning av samtliga alternativ genomförts.

4.4.5.1 Primärenergianvändning

I Figur 25 visas primärenergianvändningen för samtliga beräkningsfall med åtgärder för det analyserade flerbostadshuset med de sex studerade energitillförelsystemen. I figuren är beräkningsfallen rangordnade efter primärenergianvändning. Vid närmare studie av Figur 25 kan bland annat följande konstateras:

- Nästan alla beräkningsfall med kraftvärme som tillförel (tillförelalternativ 3, naturgas, respektive 4, biobränsle)¹⁹ har lägre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet (byggnad utan åtgärder, F-ventilation och energitillförel med fjärrvärmemix prognos 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion).
- Nästan samtliga beräkningsfall med biohetvattenpanna (tillförelalternativ 2)²⁰ och nästan samtliga fall med egen biobränslepanna (tillförelalternativ 6) har högre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet.
- Det är fördelaktigt ur primärenergianvändningssynpunkt att minska elanvändningen, till exempel genom att installera energieffektiva vitvaror.
- Det är fördelaktigt ur primärenergianvändningssynpunkt att installera FTX-ventilation.

¹⁹ Tre beräkningsfall med kraftvärme baserad på biobränsle ligger marginellt högre än grundberäkningsfallet.

²⁰ Endast beräkningsfallen FTX med energieffektiva vitvaror har för tillförelfallet fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna och genomsnittlig europeisk elproduktion lägre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet.

4.4.5.2 Primärenergianvändning och LCC-kostnader

Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och primärenergianvändning kan följande observationer göras (Figur 26). De bästa åtgärderna, det vill säga åtgärder som både har låg livscykelkostnad och låg primärenergianvändning, är följande:

- Kombinationer med tillförsel i form av biobränsleproducerad kraftvärme (tillförselalternativ 4) och åtgärder i byggnaden som har relativt låg investering och lågt behov av el är mycket fördelaktiga.
- De åtgärdscombinationer som innefattar åtgärder som minskar elanvändningen är mycket fördelaktiga. Den åtgärd som ger allra lägst primärenergianvändning och låg livscykelkostnad av dem som studerats i denna studie är att inte använda elvärme i badrumsgolvet. Grundberäkningsfallet såväl med som utan åtgärder i byggnaden har också låg elanvändning genom att frånluftsventilation ger låg elanvändning.
- Åtgärder som minskar energianvändningen utan kostnader, till exempel lägre inomhustemperatur är också mycket fördelaktiga (se till exempel kombinationen biobränsle-kraftvärme och lägre inomhustemperatur, 4 $T=20$).
- De åtgärder som därefter följer i rangordning med både låg primärenergianvändning och låg LCC-kostnad är kombinationer med naturgas-kraftvärme (tillförselalternativ 3), FTX-ventilation och åtgärder i byggnadens klimatskal.

Ur Figur 26 kan också utläsas vilka kombinationer av åtgärder som har hög primärenergianvändning och höga livscykelkostnader och därmed ur miljösynpunkt inte bör rekommenderas. Många åtgärdscombinationer med frånluftsvärmepump har en hög primärenergianvändning, medan livscykelkostnaderna för dessa åtgärdscombinationer ofta är relativt fördelaktiga. Om man väger samman primärenergianvändning och LCC-kostnad innefattar de minst fördelaktiga fallen det tillförselalternativ som baseras på bergvärmepump i kombination med den frånluftsventilerade byggnaden utan åtgärder eller med enbart värmebesparande åtgärder.

4.4.5.3 Koldioxidutsläpp

I Figur 27 visas koldioxidutsläpp för samtliga beräkningsfall med åtgärder för det analyserade flerbostadshuset med de sex studerade energitillförselsystemen. I figuren visas beräkningsfallen rangordnade efter mängden koldioxidutsläpp. Vid närmare studie av Figur 27 kan bland annat följande konstateras:

- Åtgärdscombinationer med F- och FTX-ventilation ger lägre koldioxidutsläpp i kombination med samtliga analyserade tillförselalternativ än grundberäkningsfallet (byggnad utan åtgärder, F-ventilation och energi-

tillförsel med fjärrvärmemix prognos 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion) utom tillförselalternativ 5, bergvärmepump.

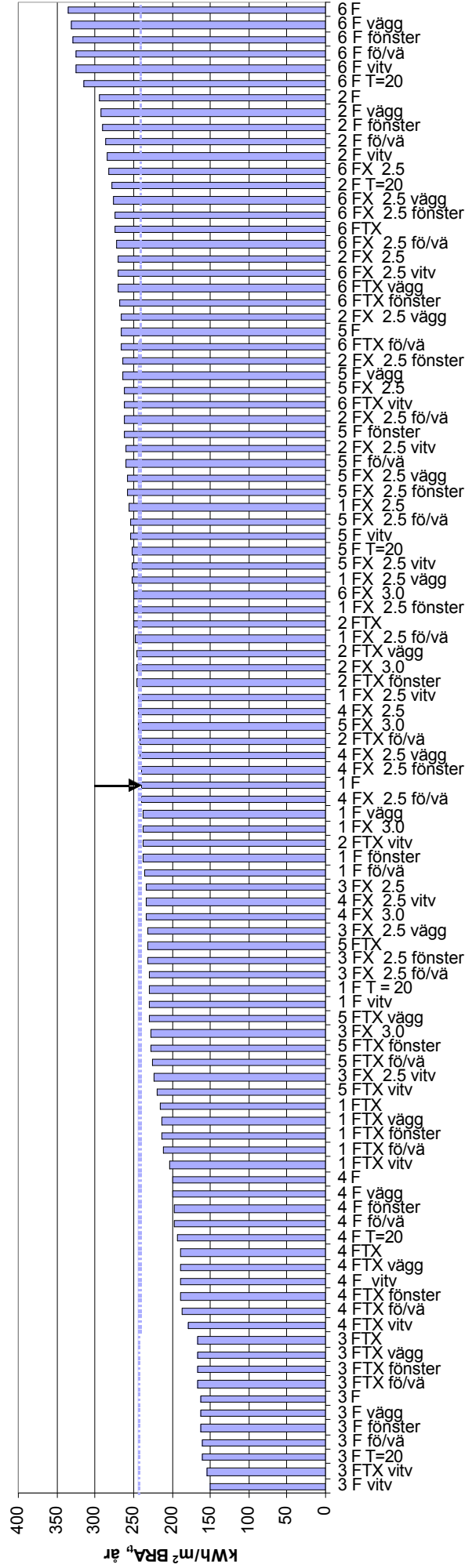
- Åtgärdscombinationer med frånluftsvärmepump ger i samtliga fall högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet (byggnad utan åtgärder, F-ventilation och energitillförsel med fjärrvärmemix prognos 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion).
- Det är fördelaktigt att byta energitillförselsystem till fjärrvärme producerad med kraftvärme. De 22 beräkningsfall som har lägst koldioxidutsläpp innefattar samtliga kraftvärme.
- Det är fördelaktigt när det gäller att minska koldioxidutsläppen att genomföra åtgärder som minskar elanvändningen, i denna studie representerat av installation av energieffektiva vitvaror. De beräkningsfall som ger lägst koldioxidutsläpp innefattar energieffektiva vitvaror.
- Samtliga beräkningsfall med bergvärmepump (tillförselalternativ 5), ger högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.

4.4.5.4 Koldioxidutsläpp och LCC-kostnader

Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och koldioxidutsläpp kan följande observationer göras (**Figur 28**). De bästa åtgärderna, det vill säga åtgärder som både har låg livscykelkostnad och låga CO₂-utsläpp är:

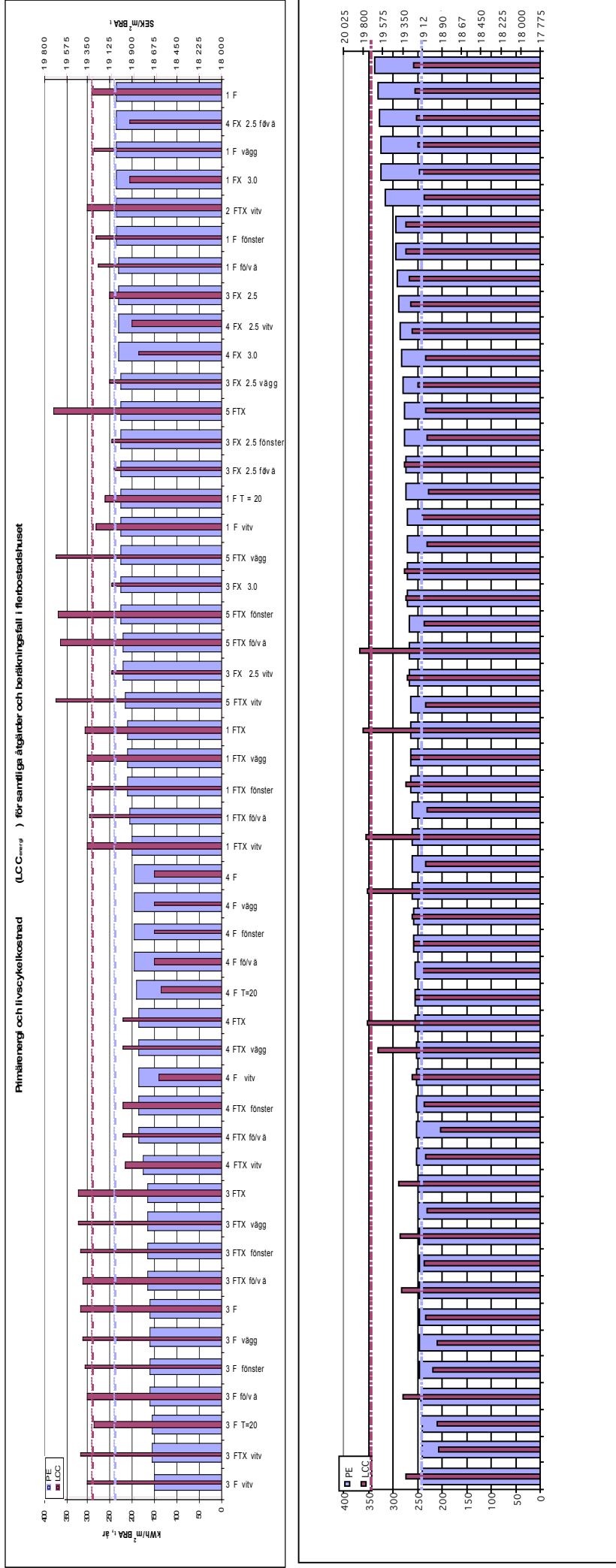
- Kombinationer med tillförsel i form av biobränsleproducerad kraftvärme (tillförselalternativ 4) och åtgärder i byggnaden som har relativt låg investering och lågt behov av el är mycket fördelaktiga.
- Kombinationer med biobränsle-kraftvärme (tillförselalternativ 4) och FTX-ventilation är också bra ur perspektivet låga koldioxidutsläpp och LCC-kostnader.
- Den allra bästa åtgärdscombinationen innefattar minskad elanvändning, i denna studie representerat av energieffektiva vitvaror, och biobränslebaserad kraftvärme. Även tillförselalternativen 2 och 6 (fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna respektive lokal biobränslepanna) ger låga koldioxidutsläpp och låga LCC-kostnader i kombination med energieffektiva vitvaror. Grundberäkningsfallet har också låg elanvändning genom att det endast har frånluftsventilation.
- Åtgärder som minskar energianvändningen utan kostnader, till exempel lägre inomhustemperatur är också mycket fördelaktiga (se till exempel kombinationerna 2F T=20, 4 F T=20 och 6 F T=20, lägre inomhustemperatur och tillförselalternativ 2, fjärrvärme producerad med hetvattenpanna, tillförselalternativ 4, biobränsle-kraftvärme, respektive tillförselalternativ 6, lokal biobränslepanna).
- Den sammantaget bästa åtgärdscombinationen är biobränsle-kraftvärme (tillförselalternativ 4) i kombination med energieffektiva vitvaror och F-ventilation. Därefter följer biobränsle-kraftvärme i kombination med åtgärder i klimatskalet (energieffektiva fönster och/eller bättre isolerade

Primärenergianvändning för samtliga beräkningsfall och åtgärder i flerbostadshuset



Figur 25: Korsköring för primärenergianvändning mellan åtgärder i flerbostadshuset och byte av energitillförsel. Beräkningsfallen innefattar byggnadens totala energianvändning inklusive fastighetsel och hushållsel och är rangordnade efter primärenergianvändning. Pilen i figuren markerar grundfallet för beräkningarna, F-ventilerad byggnad utan åtgärder med fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion som energitillförsel.

1 = Fjvmix prognos 2010; 2 = Fjv biotvättvatten; 3 = Fjv naturgas-kraftvärme;
4 = Fjv biobränsle-kraftvärme; 5 = Bergvärmepump; 6 = Lokalt biobränsleledning



Figur 26: Korskörning mellan olika energitillförselalternativ och åtgärder i flerbostadshuset, med samtidig illustration av LCC_{energi}-kostnader för respektive beräkningsfall. Beräkningsfallen innefattar byggnadens totala energianvändning inklusive fastighetsel och hushållsel och är rangordnade efter primärenergianvändning. Den blålinja linjen markerar primärenergianvändning och den rödlila linjen markerar LCC_{energi}-kostnader för grundutförandet av byggnaden med användning av fjärrvärme enligt prognos för år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion. Diagrammet är delat i två delar på grund av sin längd, grundberäkningsfallet markeras som slut i den övre delen av diagrammet och som start i den undre delen.

fasader) och F- respektive följt av samma tillförselfall med FTX-ventilation.

- Även lokal biobränslepanna (tillförselalternativ 6) i kombination med energieffektiva vitvaror och FTX-ventilation (såväl med som utan åtgärder i klimatskalet) är kostnadseffektiva och koldioxidminskande i jämförelse med grundbyggnaden med tillförselalternativ 1 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010).

Ur Figur 28 kan också utläsas vilka kombinationer av åtgärder som har höga CO₂-utsläpp och höga livscykelkostnader och därmed inte bör rekommenderas ur miljösynpunkt. De kombinationer som sammantaget ger högst koldioxidutsläpp och högst livscykelkostnader är åtgärder med bergvärmepump (tillförselalternativ 5) i kombination med frånluftsventilation. De beräkningsfall som bygger på bergvärmepump med FTX-ventilation ger också höga CO₂-utsläpp och höga LCC-kostnader, men sammantaget något bättre värden än beräkningsfallen med bergvärmepump och F-ventilation. Vidare kan konstateras att åtgärds kombinationer med frånlufts värmepump ger höga koldioxidutsläpp, medan livscykelkostnaderna för dessa åtgärds kombinationer ofta är relativt fördelaktiga.

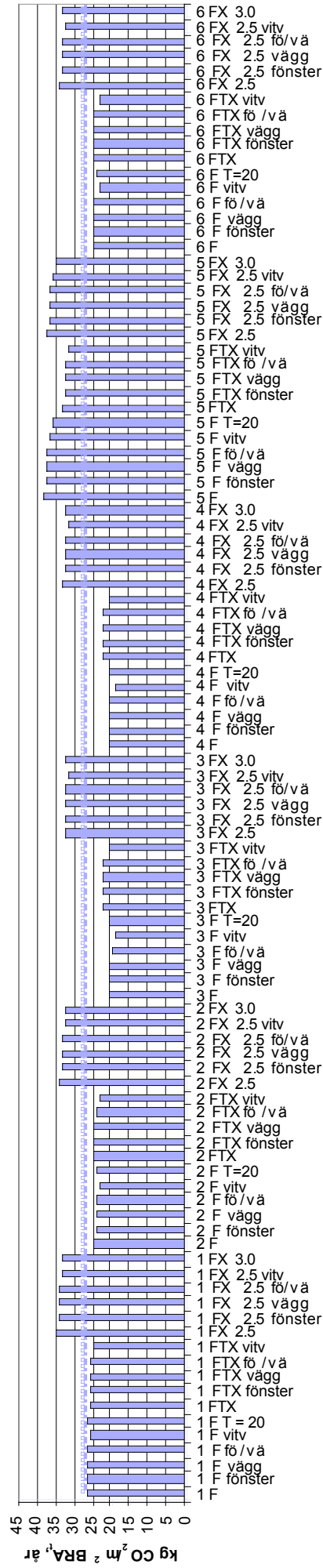
4.4.5.5 Samtidig minskning av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp

Genom att plotta de olika beräkningsfallens koldioxidutsläpp mot deras primärenergianvändning kan man visa hur de inbördes beräkningsfallen kan rangordnas ur resursanvändningsperspektiv. I Figur 29 till och med Figur 32 har sådana plottningar gjorts. Figur 29 innehåller en plottning av samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset som innefattar F-ventilation. I Figur 30 har motsvarande plottning gjorts för de beräkningsfall som innefattar FTX-ventilation. Figur 31 visar motsvarande plottning för de åtgärder som innefattar frånlufts värmepump (FX). Slutligen har samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset plottats i Figur 32.

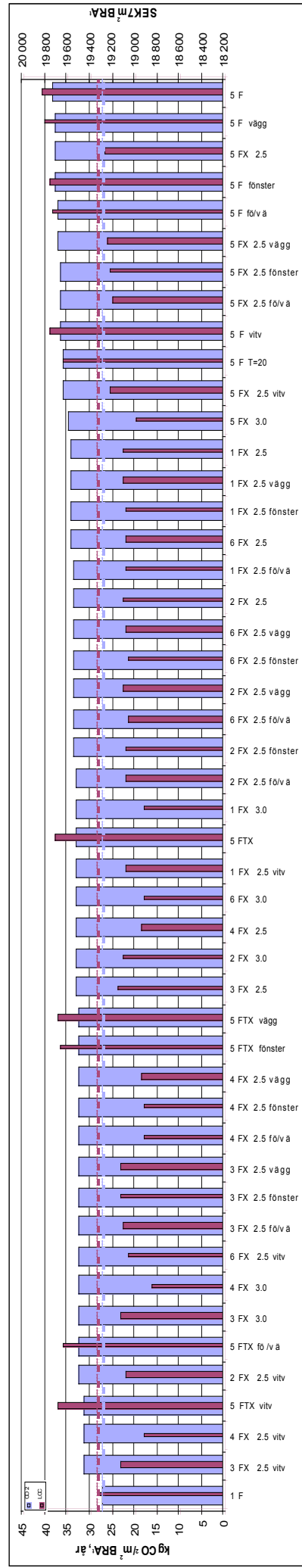
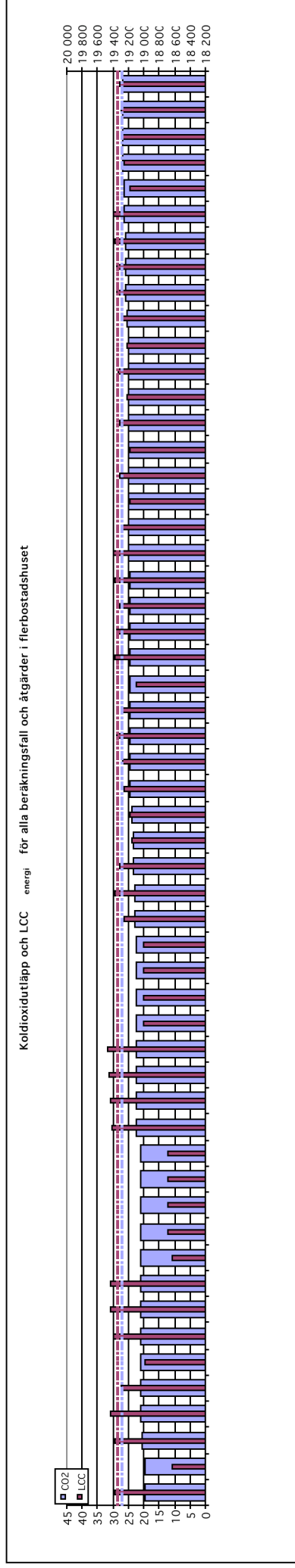
I de fyra plottningarna har primärenergianvändning och koldioxidutsläpp för grundberäkningsfallet (F-ventilerad byggnad utan åtgärder energitillförselalternativ 1, fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion) markerats som origo. Därmed bildas fyra rektanglar i varje figur som visar:

- Lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp (nedre vänstra rektangeln i figuren)
- Lägre primärenergianvändning och högre koldioxidutsläpp (övre vänstra rektangeln i figuren)
- Högre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp (nedre högra rektangeln i figuren)
- Högre primärenergianvändning och högre koldioxidutsläpp (övre högra rektangeln i figuren)

Koldioxidutsläpp för alla beräkningsfall och åtgärder i flerbostadshuset



Figur 27: Korskörning för koldioxidutsläpp mellan åtgärder i flerbostadshuset och byte av energitillförsel. Beräkningsfallen innefattar byggnadens totala energianvändning inklusive fastighetsel och hushållsel och är rangordnade efter mängden koldioxidutsläpp. Pilen i figuren markerar grundfallet för beräkningarna, F-ventilerad byggnad utan åtgärder med fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion som energitillförsel.

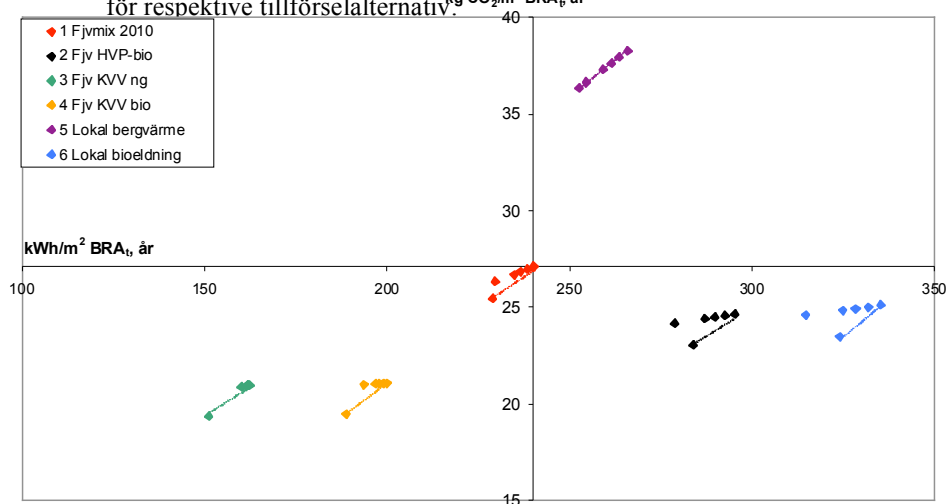


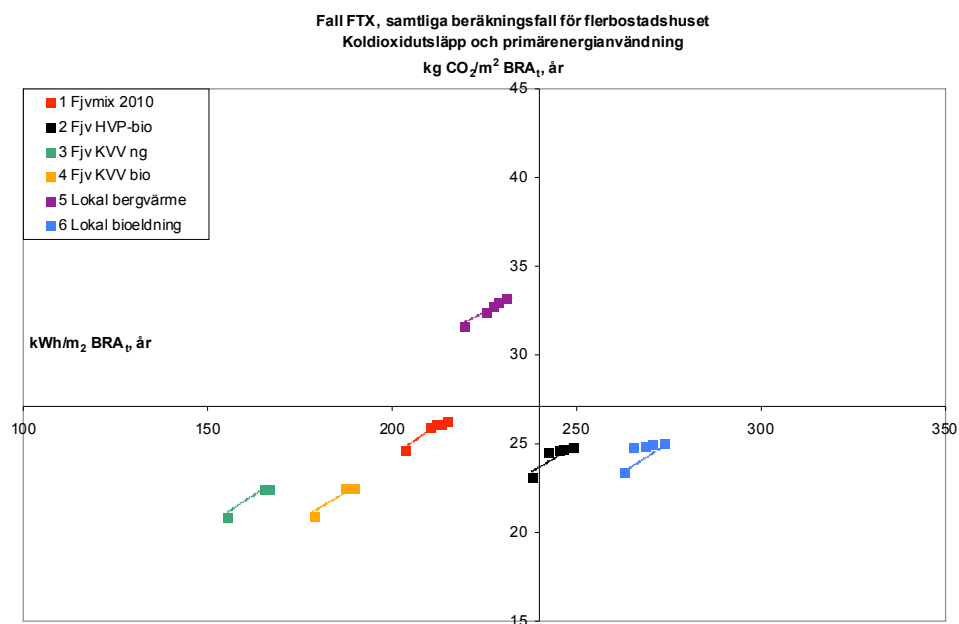
Figur 28: Korskörning mellan olika energitillförselalternativ och åtgärder i flerbostadshuset, med samtidig illustration av LCC_{energi} -kostnader för respektive beräkningsfall. Beräkningsfallen innefattar byggnadens totala energianvändning inklusive fastighetsel och hushållsel och är rangordnade efter koldioxidutsläpp. Den blåa linjen markerar koldioxidutsläpp och den rödila linjen markerar LCC_{energi} -kostnader för grundutförandet av byggnaden med användning av fjärrvärme enligt prognos för år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion. Diagrammet är delat i två delar på grund av sin längd, grundberäkningsfallet markeras som slut i den övre delen av diagrammet och som start i den undre delen.

För de beräkningsfall som innefattar F-ventilation kan följande observationer göras (Figur 29):

- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och kraftvärme (naturgas och biobränsle, tillförelalternativ 3 respektive 4) ger både mycket lägre primärenergianvändning och mycket lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och fjärrvärmemix prognos 2010 (tillförelalternativ 1) ger både lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och lokal biobränsleeldning (tillförelalternativ 6) och samtliga utom ett fall med fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna (tillförelalternativ 2) ger mycket högre primärenergianvändning men lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall utom ett för flerbostadshuset med F-ventilation och bergvärmepump (tillförelalternativ 5) ger både högre primärenergianvändning och mycket högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- I samtliga tillförelfall är det åtgärdscombinationen med minskad elanvändning (här representerat av energieffektiva vitvaror) som ger de bästa värdena ur resurshänseende.

Figur 29: Plottning av koldioxidutsläpp mot primärenergianvändning för de beräkningsfall för flerbostadshuset som omfattar F-ventilation för primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_i och år på X-axeln och CO₂utsläppen uttrycks i kg CO₂/m² BRA_i och år på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförelalternativ.





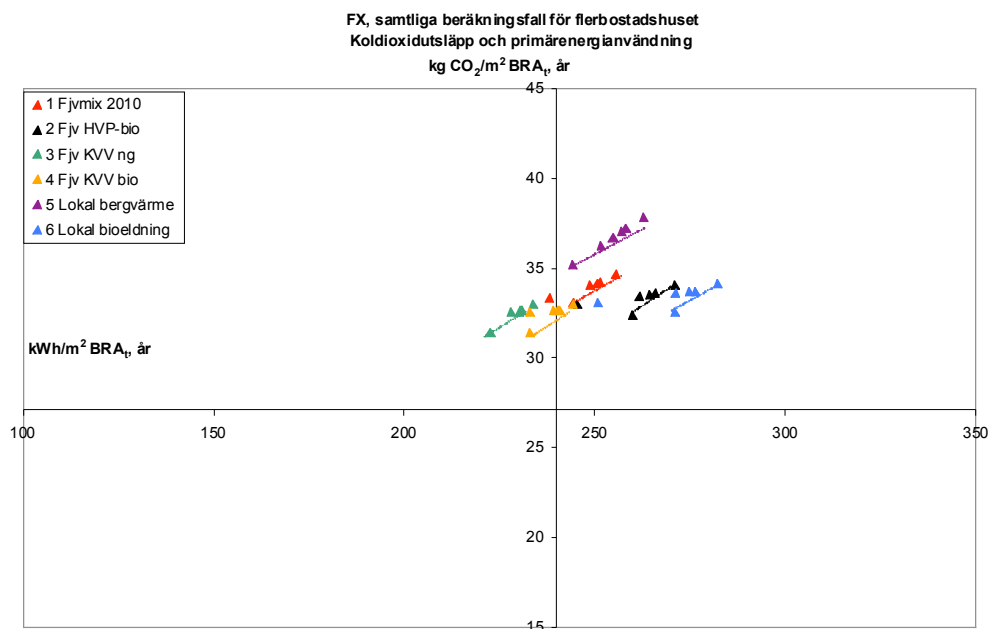
Figur 30: Plottning av koldioxidutsläpp mot primärenergianvändning för de beräkningsfall för flerbostadshuset som innefattar FTX-ventilation. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA_t och år på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförselalternativ.

För de beräkningsfall som innefattar FTX-ventilation kan följande observationer göras (Figur 30):

- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och kraftvärme (naturgas och biobränsle, tillförselalternativ 3 respektive 4) ger både mycket lägre primärenergianvändning och mycket lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och fjärrvärmemix prognos 2010 (tillförselalternativ 1) ger både lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall utom ett för flerbostadshuset med FTX-ventilation och lokal biobränsleeldning (tillförselalternativ 6) och fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna (tillförselalternativ 2)²¹ ger högre primärenergianvändning men lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall utom ett för flerbostadshuset med FTX-ventilation och bergvärmepump (tillförselalternativ 5) ger lägre primärenergianvändning men väsentligt högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.

²¹ Undantagsfallet för fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna med FTX-ventilation är den beräknade kombinationen med energieffektiva vitvaror som både ger lägre primärenergianvändning och mycket lägre koldioxidutsläpp.

- I samtliga tillförselalternativ är det åtgärds-kombinationen med minskad elanvändning (här representerat av energieffektiva vitvaror) som ger de överlägset bästa värdena ur resurshänseende.



Figur 31: Plottning av koldioxidutsläpp mot primärenergianvändning för de beräkningsfall för flerbostadshuset som innefattar frånluftsvärmepump (FX). Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA_t och år på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförselalternativ.

För de beräkningsfall som innefattar frånluftsvärmepump (FX) kan följande observationer göras (Figur 32):

- Inga beräkningsfall med FX ger både lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FX och naturgas-kraftvärme (tillförselalternativ 3) ger lägre primärenergianvändning men högre koldioxidutsläpp.
- Beräkningsfallen med biobränsle-kraftvärme (tillförselalternativ 4) ger oförändrade, något lägre eller något högre primärenergianvändning och väsentligt högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga övriga beräkningsfall för flerbostadshuset med FX (fjärrvärmemix prognos 2010²², tillförselalternativ 1, fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna, tillförselalternativ 2, bergvärmepump, tillförselalternativ 5, och lokal biobränsleeldning, tillförselalternativ 6) ger både

²² Med undantag av beräkningsfallet FX, fjärrvärmemix prognos för år 2010 och energieffektiva vitvaror.

högre primärenergianvändning och mycket högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.

Samtliga ovan beskrivna observationer för beräkningsfallen för flerbostadshuset illustreras samlat i Figur 32.

De åtgärder och åtgärdscombinationer som både ger en minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp innefattar huvudsakligen tillförselalternativ 1, 3 respektive 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas respektive fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle), i kombination med F- respektive FTX-ventilation och åtgärder för att minska behovet av köpt el och värme i byggnaden. De aktuella beräkningsfallen är plottade i den nedre vänstra rektangeln i Figur 32.

4.4.6 Kostnadseffektivitet för minskad miljöpåverkan för åtgärder

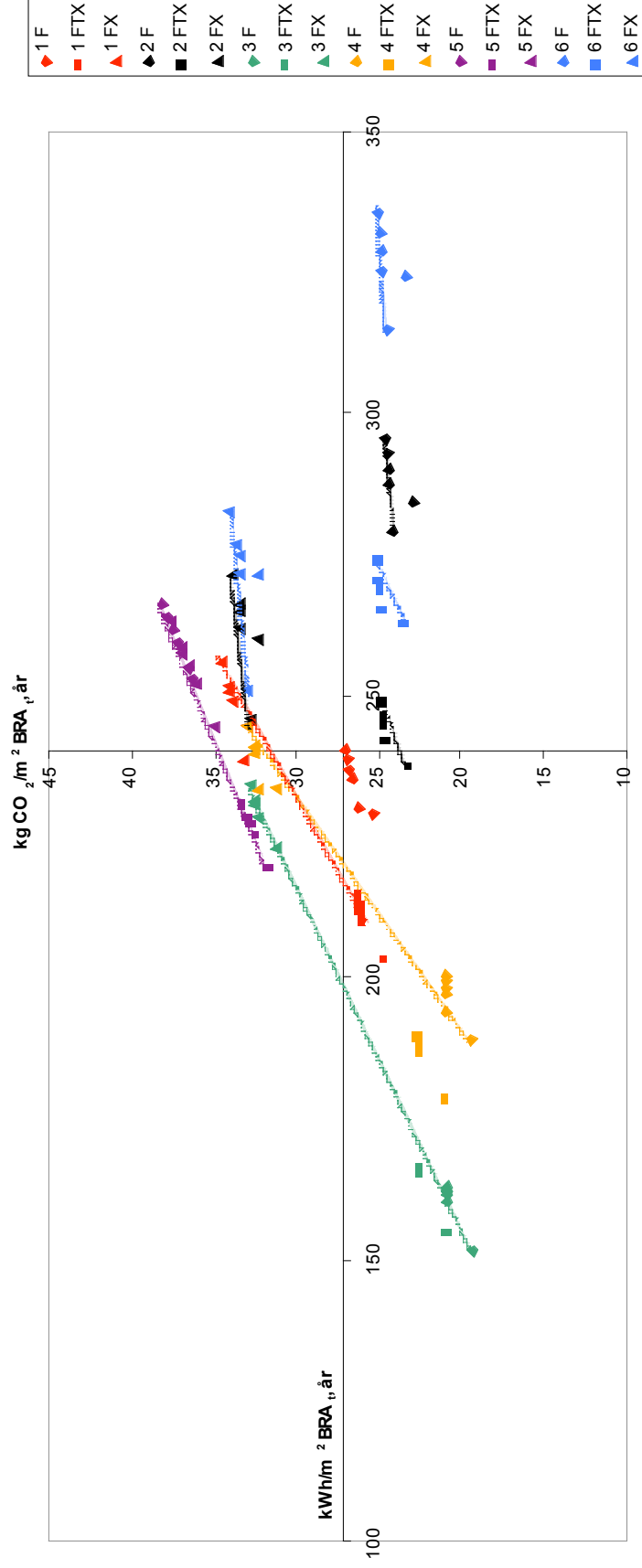
Den mest korrekta jämförelsen för kostnadseffektivitet baseras på livscykelkostnad. I denna rapport presenteras en analys av kostnadseffektivitet i förhållande till LCC_{energi} . Men val av åtgärder sker i praktiken ofta baserat på investeringen. En rättvisande jämförelse mellan investeringar i energiproduktionsanläggningar och investeringar i byggnader är emellertid mycket svår att göra. I denna rapport presenteras endast en begränsad analys av kostnadseffektiviteten i relation till investeringen.

4.4.6.1 Kostnadseffektivitet för primärenergiminuskning och CO₂-reduktion i förhållande till LCC-kostnad

I Figur 33 till och med Figur 36 har plottningar av primärenergianvändning och livscykelkostnader gjorts för de analyserade beräkningsfallen. LCC_{energi} -kostnaderna baseras på 5 % kalkylränta och 2 % årlig energiprisökning. I Figur 37 till och med Figur 40 har motsvarande plottningar gjorts för CO₂-utsläpp och LCC-kostnad.

För ett antal beräkningsfall, det vill säga åtgärder i byggnaden i kombination med ändrad energitillförsel, fås en negativ livscykelkostnad per minskad primärenergianvändning eller koldioxidminskning. Det innebär att dessa beräkningsfall ger en samtidig kostnadsbesparing i form av minskad LCC-kostnad

Fall F, FTX och FX, samtliga beräkningsfall
Koldioxidutsläpp och primärenergianvändning



Figur 32: Plotting av koldioxidutsläpp mot primärenergianvändning för samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA_t och år på Y-axeln.

1 = Fjvmix prognos 2010; 2 = Fjv biotvattenpanna; 3 = Fjv naturgas-kraftvärme;
4 = Fjv bibränsle-kraftvärme; 5 = Bergvärmepump; 6 = Lokal biobränsleledning

och minskad resursanvändning i form av minskad primärenergianvändning eller minskade koldioxidutsläpp.

I plottningarna har primärenergianvändning respektive koldioxidutsläpp och LCC-kostnad för grundberäkningsfallet (F-ventilerad byggnad utan åtgärder energitillförselalternativ 1, fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion) markerats som origo. Därmed bildas fyra rektanglar i varje figur som visar:

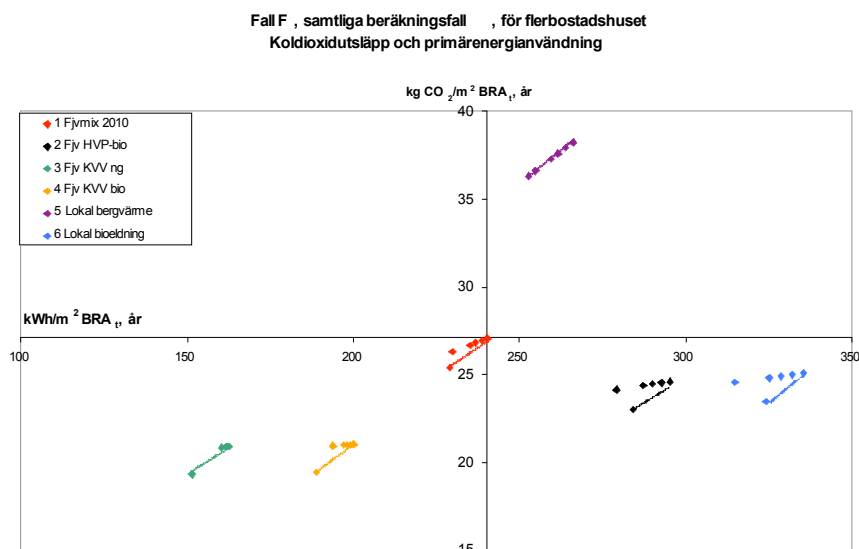
- Lägre primärenergianvändning/koldioxidutsläpp och lägre LCC-kostnad (nedre vänstra rektangeln i figuren), det vill säga en besparing per kWh respektive $\text{kg/m}^2 \text{BRA}_t$ och år.
- Lägre primärenergianvändning/koldioxidutsläpp och högre LCC-kostnad (övre vänstra rektangeln i figuren), det vill säga en kostnad per kWh respektive $\text{kg/m}^2 \text{BRA}_t$ och år.
- Högre primärenergianvändning/koldioxidutsläpp och lägre LCC-kostnad (nedre högra rektangeln i figuren), det vill säga en besparing med samtidig ökning i kWh respektive $\text{kg/m}^2 \text{BRA}_t$ och år.
- Högre primärenergianvändning/koldioxidutsläpp och högre LCC-kostnad (övre högra rektangeln i figuren), de sämsta fallen av alla.

Primärenergianvändning i förhållande till LCC-kostnad

För de beräkningsfall som innefattar F-ventilation kan följande observationer göras (Figur 33):

- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och bio-bränsle-kraftvärme (tillförselalternativ 4) ger både mycket lägre primärenergianvändning och mycket lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och naturgas-kraftvärme (tillförselalternativ 3) ger mycket lägre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet. Merparten av dessa beräkningsfall ger en något högre LCC-kostnad, ett fall ger både lägre primärenergianvändning och lägre LCC-kostnad.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och fjärrvärmemix prognos 2010 (tillförselalternativ 1) ger både lägre primärenergianvändning och lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och lokal biobränsleeldning (tillförselalternativ 6) respektive fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna (tillförselalternativ 2) ger mycket högre primärenergianvändning men lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och bergvärmepump (tillförselalternativ 5) ger högre primärenergianvändning men lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- I samtliga tillförselalternativ är det åtgärds-kombinationen med minskad elanvändning (här representerat av energieffektiva vitvaror) som ger de

bästa värdena för kombinationen primärenergianvändning och LCC-kostnad.

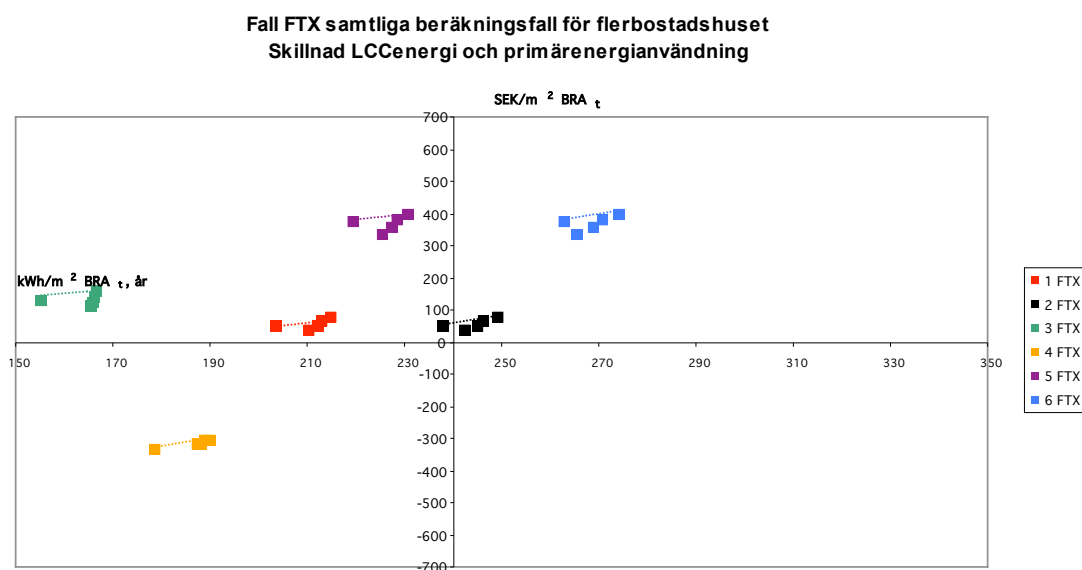


Figur 33: Plottning av primärenergianvändning mot LCC-kostnad för de beräkningsfall för flerbostadshuset som innefattar F-ventilation. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_i och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_i på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförelsalternativ.

För de beräkningsfall som innefattar FTX-ventilation kan följande observationer göras (Figur 34):

- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och biobränsle-kraftvärme (tillförelsalternativ 4) ger både mycket lägre primärenergianvändning och mycket lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och naturgas-kraftvärme (tillförelselfall 3) ger mycket lägre primärenergianvändning men något högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet (utom i fallet med energieffektiva vitvaror, där blir även LCC-kostnaden lägre än grundberäkningsfallet).
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och fjärrvärmemix prognos 2010 (tillförelsalternativ 1) ger lägre primärenergianvändning men något högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- I jämförelse med grundberäkningsfallet har beräkningsfallen för flerbostadshuset med FTX-ventilation och lokal biobränsleledning (tillförelselfall 6) mycket högre primärenergianvändning och mycket högre LCC-kostnad.

- I jämförelse med grundberäkningsfallet har beräkningsfallen för flerbostadshuset med FTX-ventilation och fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna (tillförsellfall 2)²³ något högre primärenergianvändning och något högre LCC-kostnad.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och lokal bergvärmepump (tillförsellalternativ 5) ger något lägre primärenergianvändning men mycket högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.



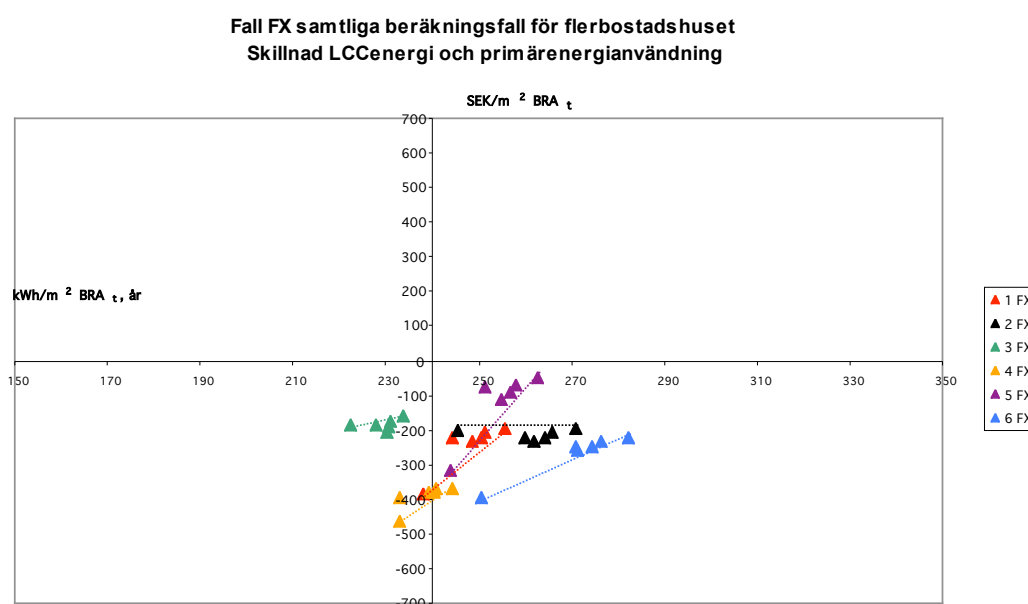
Figur 34: Plottning av primärenergianvändning mot LCC-kostnad för de beräkningsfall för flerbostadshuset som innefattar FTX-ventilation. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförsellalternativ.

För de beräkningsfall som innefattar frånluftsvärmepump (FX) kan följande observationer göras (Figur 35):

- Samtliga beräkningsfall med frånluftsvärmepump, oavsett vilket av de sex analyserade tillförsellsätten som väljs, ger väsentligt lägre LCC-kostnad.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FX och naturgas-kraftvärme (tillförsellalternativ 3) ger något lägre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet.

²³ Utom beräkningsfallet med FTX och energieffektiva vitvaror som lägre primärenergianvändning men något högre LCC-kostnad.

- Beräkningsfallen för flerbostadshuset med FX och biobränsle-kraftvärme (tillförelalternativ 4) ger ungefär samma primärenergianvändning som grundberäkningsfallet.
- Samtliga övriga beräkningsfall för flerbostadshuset med FX (tillförelalternativ 1, 2, 5 och 6) ger högre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet.
- I samtliga tillförelfall är det åtgärds-kombinationen med minskad elanvändning (här representerad av energieffektiva vitvaror) som ger den bästa kombinationen av primärenergianvändning och LCC-kostnad.

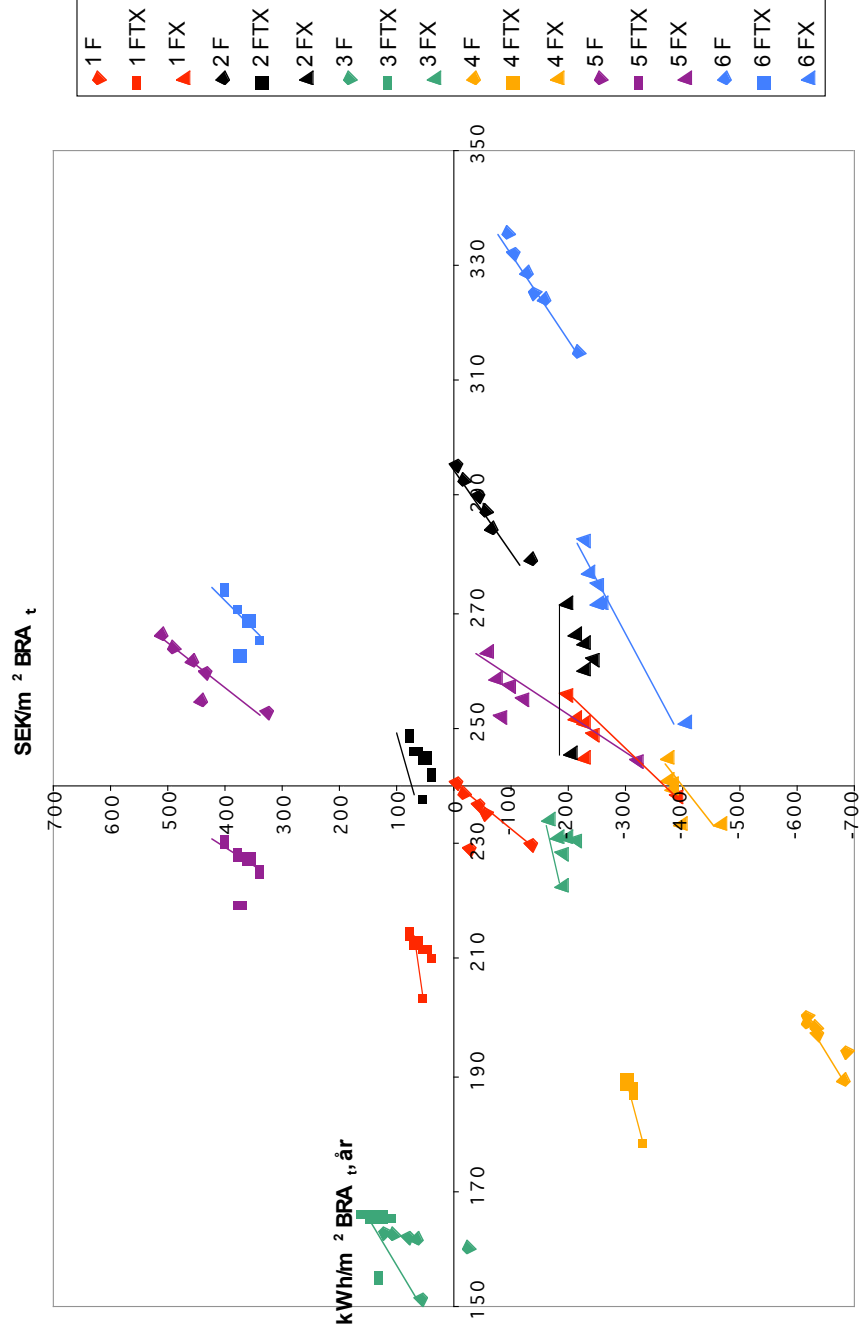


Figur 35: Plottning av primärenergianvändning och LCC-kostnad för de beräkningsfall för flerbostadshuset som innefattar frånluftsvärmepump. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförelalternativ.

Samtliga ovan beskrivna observationer för beräkningsfallen för flerbostadshuset illustreras samlat i Figur 36.

De åtgärder och åtgärds-kombinationer som samtidigt ger en minskad primärenergianvändning och minskade LCC-kostnader innefattar främst tillförelalternativ 4 (fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle). Dessa beräkningsfall innebär en kostnadsbesparing per kWh primärenergi/m² och år. De aktuella beräkningsfallen är plottade i den nedre vänstra rektangeln i Figur 36.

Fall F, FTX, FX samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset
Skillnad LCC energi och primärenergianvändning



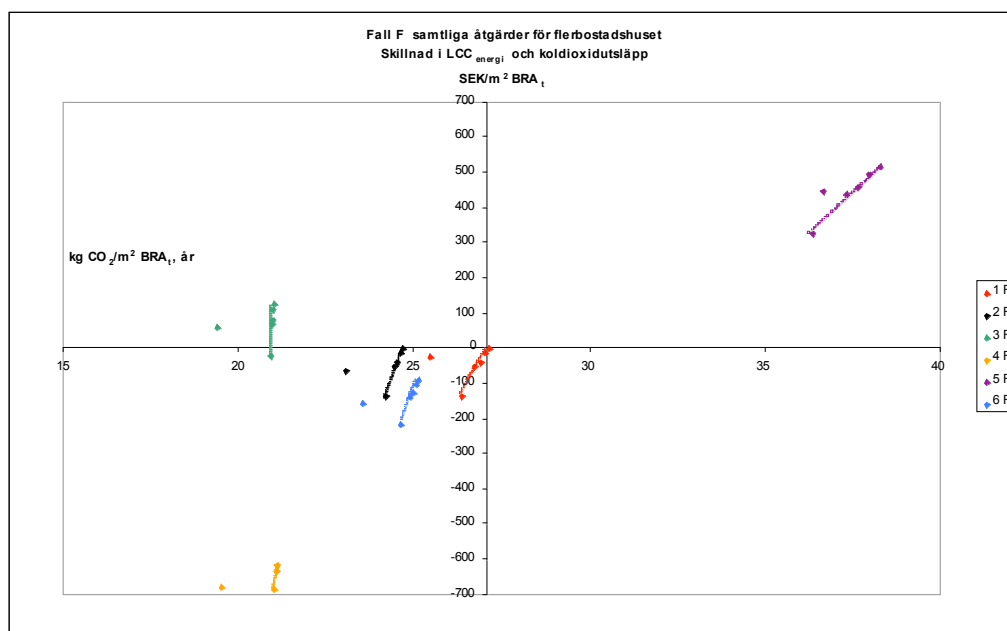
Figur 36: Plottning av primärenergianvändning och LCC-kostnad för samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_i och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_i på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförelsalternativ.

En rad beräkningsfall baserat på tillförelsalternativ 1 och 3 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas) ger väsentligt minskad primärenergianvändning till en relativt låg ökning av LCC-kostnaden. Dessa beräkningsfall, som innebär en kostnad per kWh/m² och år, återfinns i den övre vänstra rektangeln i Figur 36.

I samtliga tillförelselfall är det åtgärds-kombinationen med minskad elanvändning (här representerat av energieffektiva vitvaror) som ger de bästa värdena ur resurshänseende.

Koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad

För de beräkningsfall som innefattar F-ventilation kan följande observationer göras (Figur 37):



Figur 37: Plottning av koldioxidutsläpp mot LCC-kostnad för de beräkningsfall för flerbostadshuset som innefattar F-ventilation. Koldioxidutsläpp uttrycks i kg/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförelsalternativ.

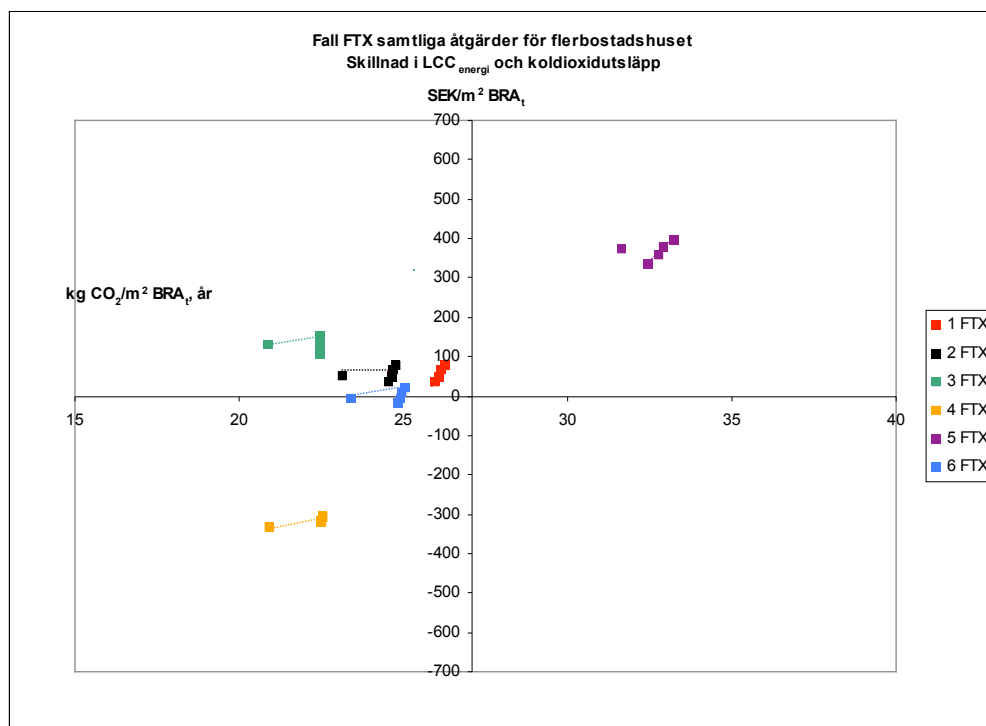
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och biobränsle-kraftvärme (tillförelsalternativ 4) ger både mycket lägre koldioxidutsläpp och mycket lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och fjärrvärmemix prognos 2010 (tillförelsalternativ 1) ger något lägre koldioxidutsläpp och något lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna (tillförelsalternativ 2) ger lägre

koldioxidutsläpp och något lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.

- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och lokal biobränsleeldning (tillförelalternativ 6) ger lägre koldioxidutsläpp och lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Merparten av beräkningsfallen för flerbostadshuset med F-ventilation och naturgas-kraftvärme (tillförelalternativ 3) ger mycket lägre koldioxidutsläpp men högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med F-ventilation och bergvärmepump (tillförelalternativ 5) ger mycket högre koldioxidutsläpp och högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.

För de beräkningsfall som innefattar FTX-ventilation kan följande observationer göras beträffande CO₂-utsläpp och LCC-kostnad (Figur 38):

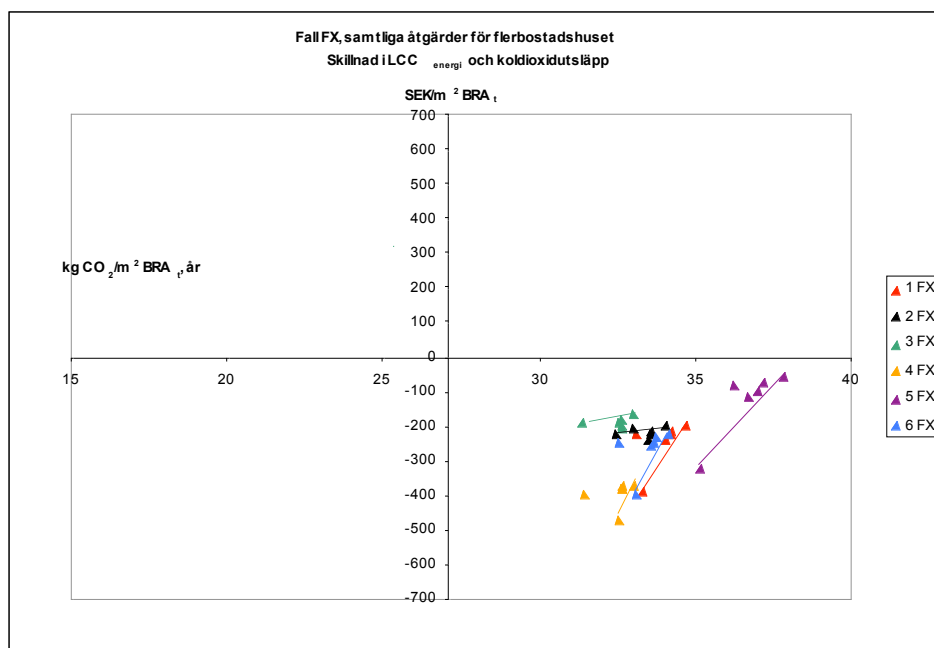
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och biobränsle-kraftvärme (tillförelalternativ 4) ger både mycket lägre koldioxidutsläpp och mycket lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och lokal biobränsleeldning (tillförelfall 6) ger lägre koldioxidutsläpp och närmast oförändrad LCC-kostnad jämfört med grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och fjärrvärmemix prognos 2010 (tillförelalternativ 1) ger något lägre koldioxidutsläpp men något högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna (tillförelalternativ 2) ger lägre koldioxidutsläpp men något högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och naturgas-kraftvärme (tillförelfall 3) ger lägre koldioxidutsläpp men högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FTX-ventilation och lokal bergvärmepump (tillförelfall 5) ger både mycket högre koldioxidutsläpp och mycket högre LCC-kostnad i förhållande till grundfallet.
- I samtliga tillförelfall är det åtgärds kombinationen med minskad elanvändning (här representerad av energieffektiva vitvaror) som ger den överlägset bästa kombinationen av koldioxidutsläpp och LCC-kostnad.



Figur 38: Plottning av koldioxidutsläpp mot LCC-kostnad för de beräkningsfall för flerbostadshuset som innefattar FTX-ventilation. Koldioxidutsläpp uttrycks i kg/m² BRA_i och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_i på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförselalternativ.

För de beräkningsfall som innefattar frånluftsvärmepump (FX) kan följande observationer göras beträffande koldioxidutsläpp och LCC-kostnad (Figur 39):

- Samtliga beräkningsfall med frånluftsvärmepump, oavsett vilket av de sex analyserade tillförselsätten som väljs, ger lägre LCC-kostnad.
- Samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset med FX ger mycket högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.



Figur 39: Plottning av koldioxidutsläpp mot LCC-kostnad för de beräkningsfall för flerbostadshuset som innefattar frånluftsvärmepump. Koldioxidutsläpp uttrycks i $\text{kg}/\text{m}^2 \text{BRA}_i$ och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i $\text{SEK}/\text{m}^2 \text{BRA}_i$ på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförelsalternativ.

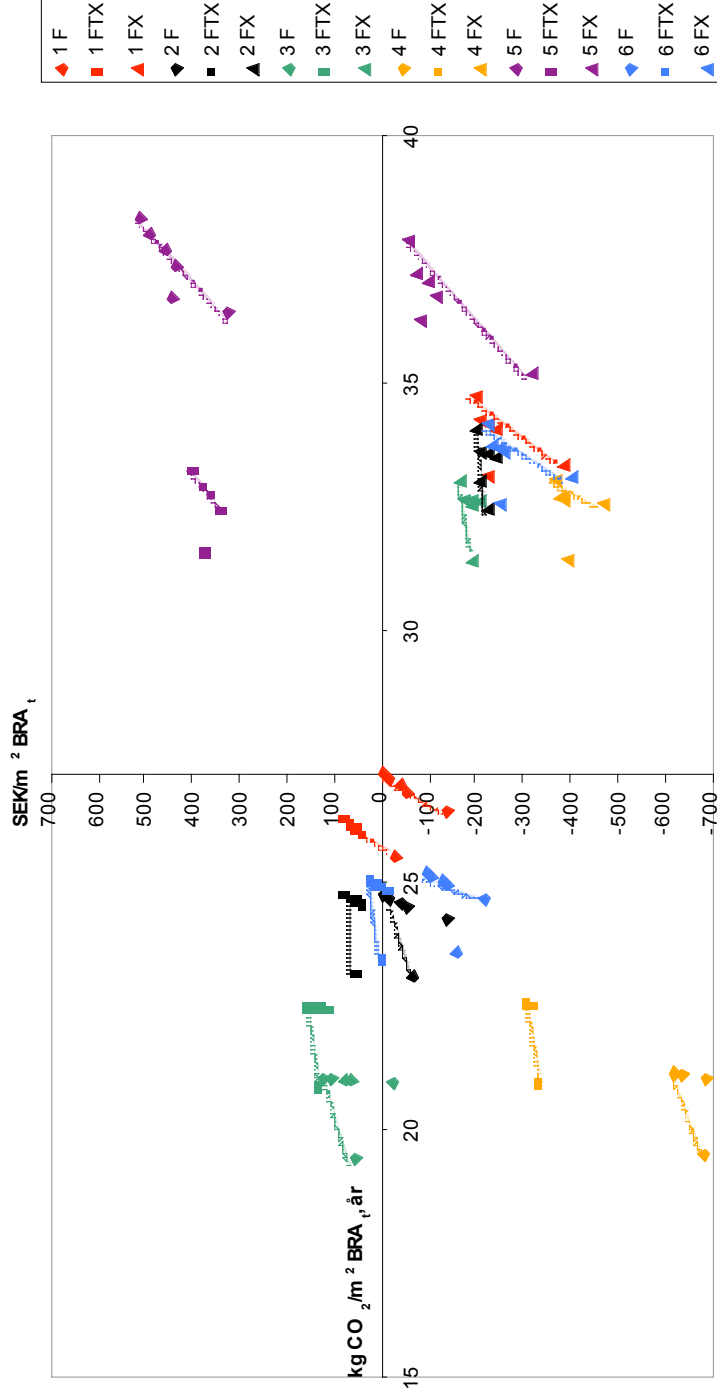
Samtliga ovan beskrivna observationer rörande förhållandet mellan koldioxidutsläpp och LCC-kostnad för beräkningsfallen för flerbostadshuset illustreras samlat i Figur 40.

De åtgärder och åtgärdscombinationer som samtidigt ger minskade koldioxidutsläpp och minskade LCC-kostnader innefattar huvudsakligen beräkningsfall med F-ventilation för tillförelsalternativ 1, 2, 4 och 6 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna, fjärrvärme baserad på biobränsle-kraftvärme respektive lokal biobränsleledning) samt beräkningsfall med FTX-ventilation för tillförelsalternativ 4 och 6 (fjärrvärme baserad på biobränsle-kraftvärme respektive lokal biobränsleledning). Dessa beräkningsfall innebär en kostnadsbesparing per kWh/m^2 och år. De aktuella beräkningsfallen är plottade i den nedre vänstra rektangeln i Figur 40. Även de beräkningsfall som innefattar FTX-ventilation och tillförelsalternativ 1 och 3 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på naturgas-kraftvärme) faller inom denna sektor vid den lägre kostnad för FTX som analyseras i känslighetsanalysen i kapitel 5.5.

En rad beräkningsfall baserat på tillförelsalternativ 1, 2, 3 och 6 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna, fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas och lokal biobränsleledning) ger minskade till starkt minskade koldioxidutsläpp till en relativt låg ökning av LCC-kostnaden. Dessa beräkningsfall innebär en kostnad per kWh/m^2 och år,

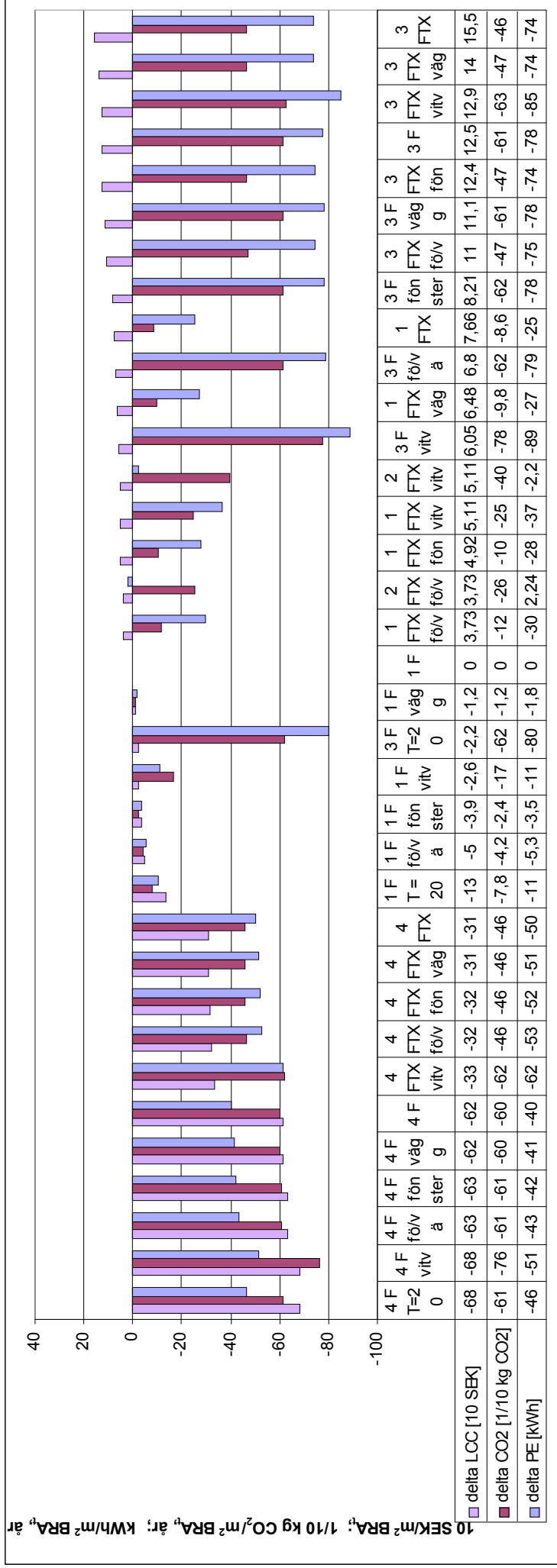
1 = Fjvmix prognos 2010; 2 = Fjv biohetvattenpanna; 3 = Fjv naturgas-kraftvärme;
4 = Fjv biobränsle-kraftvärme; 5 = Bergvärmepump; 6 = Lokal biobränsleledning

Fall F, FTX, och FX, samtliga åtgärder för flerbostadshuset
Skillnad i LCC_{energi} och koldioxidutsläpp



Figur 40: Plottning av koldioxidutsläpp mot LCC-kostnad för samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset. Koldioxidutsläpp uttrycks i kg/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillföreläternativ.

1 = Fjv mix prognos 2010; 2 = Fjv biotvattenpanna; 3 = Fjv naturgas-kraftvärme;
4 = Fjv biobränsle-kraftvärme; 5 = Rerovärmen; 6 = 1 lokal biobränsleledning



Figur 41: Samtidig redovisning av skillnad i primärenergianvändning, skillnad i koldioxidutsläpp och skillnad i LCC_{energi} -kostnad för olika beräkningsfall för flerbostadshuset (åtgärder i byggnaden och/eller byte av energitillförsel) i förhållande till grundberäkningsfallet. Endast sådana beräkningsfall som genererar både minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp har tagits med i figuren. Beräkningsfallen är rangordnade efter ökande LCC-kostnad. De första 25 beräkningsfallen från vänster ger en lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.

Observera att skalan för skillnad i CO_2 -utsläpp är i tiondels $kg/m^2 BRA_1$, och år och att skalan för skillnad i LCC_{energi} -kostnad är i tiotal SEK för att kunna visa samtliga tre parametrar i ett diagram.

återfinns i den övre vänstra rektangeln i Figur 40. Värt att notera är att inga av de beräknade fallen med frånluftsvärmepump leder till minskade koldioxidutsläpp.

Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad
Vid en samtidig jämförelse mellan primärenergianvändning, koldioxidutsläpp och LCC-kostnad visar det sig att de bästa beräkningsfallen med kombinationer som innefattar både stor minskning av primärenergianvändningen, stor sänkning av koldioxidutsläppen och lägre LCC-kostnad innefattar byte till bio-bränslebaserad kraftvärme följt av åtgärder som minskar elanvändningen (här representerat av energieffektiva vitvaror). Vidare ger åtgärder i byggnaden i kombination med både F-ventilation och FTX-ventilation mycket goda resultat framför allt i kombination med kraftvärme, men även för andra tillförselalternativ. Detta illustreras i **Figur 41**.

4.4.6.2 Kostnadseffektivitet för primärenergiminskning och CO₂-reduktion i förhållande till investering

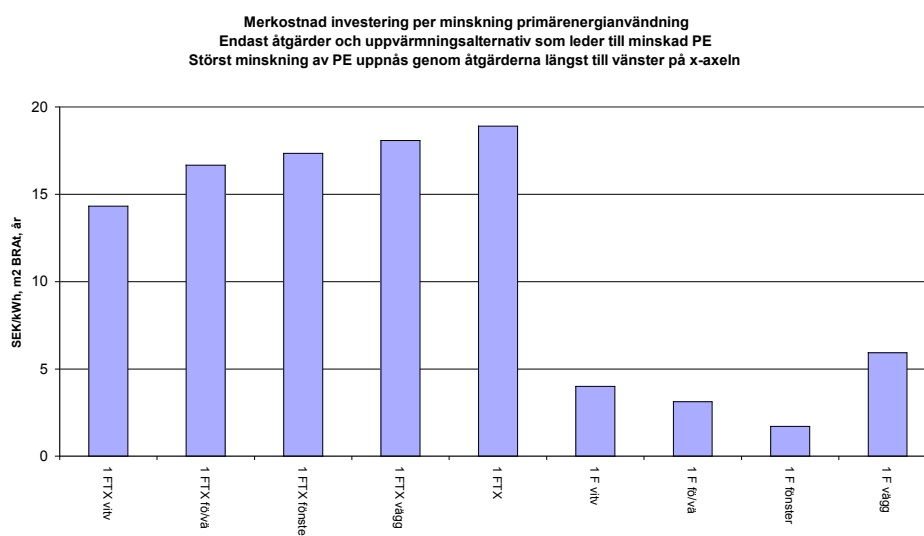
Primärenergianvändning i förhållande till investering

En rad åtgärder i flerbostadshuset ger beräkningsfall som ger minskad primärenergianvändning. För dessa har en merkostnad per minskad primärenergianvändning beräknats. Resultatet av detta redovisas i Figur 42, rangordnade efter storleken på primärenergiminskningen²⁴. Observera att analysen av kostnadseffektivitet i förhållande till investering bygger endast på tillförselalternativ 1 (fjärrvärme producerad enligt prognos för mix år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion).

Av de åtgärder som analyserats i denna studie fås de största minskningarna i primärenergianvändning i flerbostadshuset för energieffektiva vitvaror och FTX-ventilation. Därefter följer åtgärder i byggnadens klimatskal.

De ur investeringsperspektiv mest kostnadseffektiva åtgärderna för minskad primärenergianvändning innefattar F-ventilation med åtgärder i byggnadens klimatskal och energieffektiva vitvaror. Därefter följer motsvarande åtgärder i kombination med FTX-ventilation. Dessa åtgärder har en beräknad merkostnad mellan 2 och 19 SEK/kWh primärenergi. Även frånluftsvärmepumpen med mycket hög värmefaktor (3,0) ger en primärenergiminskning. Denna har en merkostnad på 96 SEK/kWh primärenergi.

²⁴ De beräkningsfall som leder till ökad primärenergianvändning ingår inte i beskrivningen i detta avsnitt.



Figur 42: Merkostnad (investering) per minskad primärenergianvändning för det analyserade flerbostadshuset för sådana beräkningsfall som leder till minskad primärenergianvändning. Merkostnaden uttrycks i SEK/kWh primärenergi per m² BRA, och år. Figuren visar endast åtgärder i kombination med tillförsellfall 1, fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010. Beräkningsfallen är i figuren rangordnade efter storleken på minskningen av primärenergianvändning.

Koldioxidutsläpp i förhållande till investering²⁵

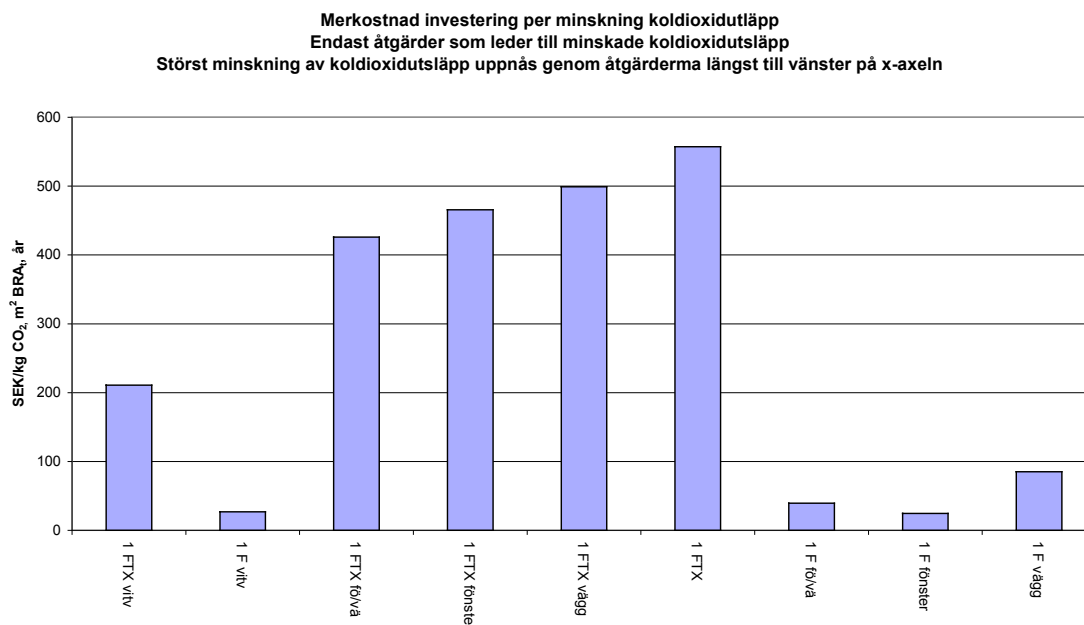
En rad åtgärder i flerbostadshuset ger beräkningsfall som ger minskade koldioxidutsläpp. För dessa har en merkostnad per minskade koldioxidutsläpp beräknats. Resultatet av detta redovisas i Figur 43, beräkningsfallen är i figuren rangordnade efter storleken på koldioxidminskningen.

Av de åtgärder som analyserats i denna studie fås de största minskningarna i koldioxidutsläpp liksom i primärenergianvändning i flerbostadshuset för energieffektiva vitvaror och FTX-ventilation. Därefter följer åtgärder i byggnadens klimatskal.

De ur investeringsperspektiv mest kostnadseffektiva åtgärderna för koldioxidreduktion innefattar för flerbostadshuset endast åtgärds kombinationer med F-ventilation och FTX-ventilation. Inget av beräkningsfallen med frånluftsvärme-pump med tillförsellalternativ 1 ger minskade koldioxidutsläpp. De mest kostnadseffektiva åtgärderna ur investeringsperspektiv är energieffektiva vitvaror och energieffektiva fönster i kombination med F-ventilation. Dessa åtgärder har en beräknad merkostnad på 25 till 27 SEK/kg CO₂. Merkostnaden i investering

²⁵ Denna jämförelse är begränsad eftersom investeringar i infrastruktur inte enkelt låter sig göras med investeringar i enskilda flerbostadshus. En utökad sådan analys är intressant att bearbeta vidare i ett fortsatt arbete.

för koldioxidreduktion för åtgärdskombinationer med FTX-ventilation ligger mellan 210 och 560 SEK/kg CO₂²⁶.



Figur 43: Merkostnad (investering) per minskade koldioxidutsläpp för det analyserade flerbostadshuset för de beräkningsfall som leder till minskade koldioxidutsläpp. Merkostnaden uttrycks i SEK/kg koldioxidutsläpp per m² BRA_t och år. Figuren visar endast åtgärder i kombination med tillförsellfall 1, fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010. Beräkningsfallen är rangordnade efter minskade koldioxidutsläpp i figuren.

Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp i förhållande till investering

Några enklare slutsatser som dras från denna studie är att de ur investeringsperspektiv och sett från flerbostadshusets användares horisont mest kostnadseffektiva åtgärderna vid samtidigt betraktande av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp är:

1. Installation av energieffektiva fönster
2. Effektiviseringsåtgärder som minskar elanvändningen
3. Bättre isolering av väggar
4. Åtgärder som kraftigt minskar energianvändningen för uppvärmning med en liten insats av el²⁷

²⁶ Dock skulle kostnadseffektiviteten för åtgärdskombinationer vara mycket högre redan vid något lägre investeringskostnad för FTX-installationen.

²⁷ Installation av FTX-ventilation blir väsentligt högre prioriterad redan vid något lägre investeringskostnad för åtgärden.

4.5 Jämförelse med andra energieffektiva bostäder

Inom det här projektet har även en jämförelse med mer kända byggnader gjorts avseende köpt energi, primärenergianvändning och koldioxidutsläpp. För flerbostadshus har jämförelse gjorts med följande byggnader:

- Kvarteret Jöns Ols i Lund
- Lindås Park ”Hus utan värmesystem”, passivhus i Lindås
- Solhus 1 (Gårdsten), Göteborg

De två förstnämnda husen, i Lund och Lindås, är nybyggda medan Solhus 1, Göteborg, är renoverat.

4.5.1 Köpt energi

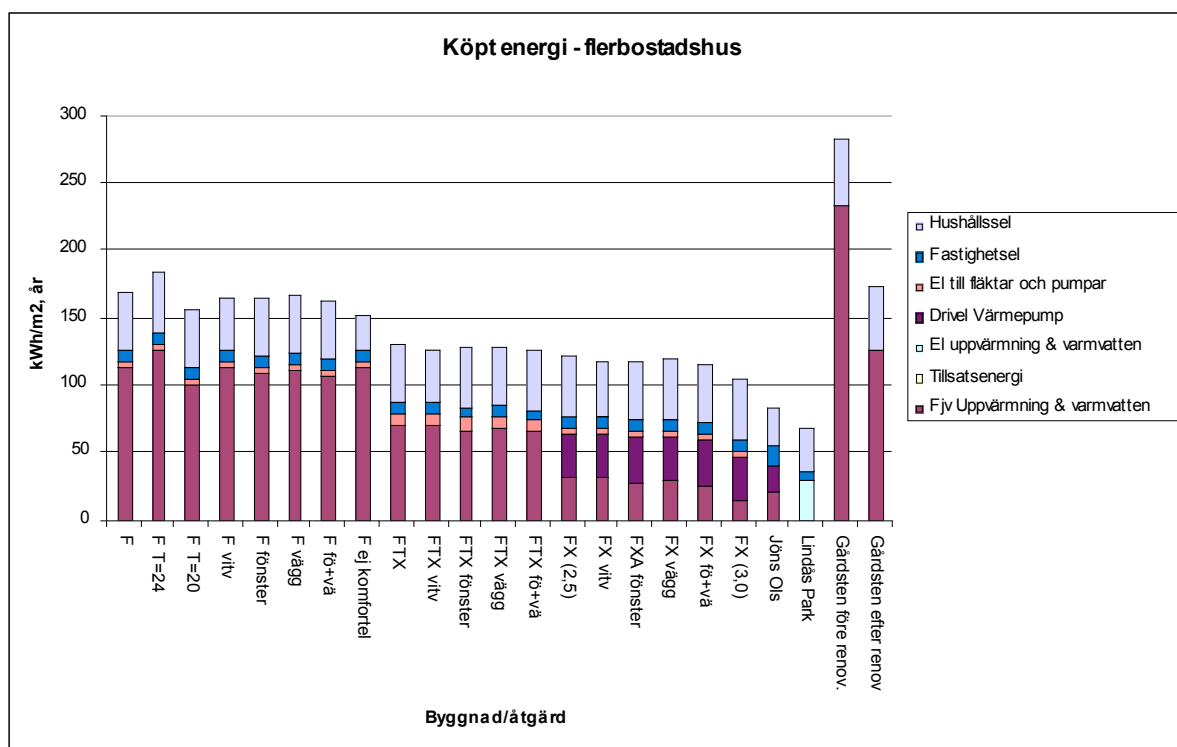
Såväl kvarteret Jöns Ols som Lindås Park har en lägre total köpt energi än det hus som analyserats i denna studie. De har ett behov av köpt energi som uppgår till 84 respektive 70 kWh per kvadratmeter BRA_t och år, medan det här analyserade flerbostadshuset har ett behov av köpt energi på 170 kWh/m² BRA_t och år i grundfallet och 104 kWh/m² BRA_t och år som lägst med åtgärder i byggnaden. Den köpta energin är således två respektive två och en halv gånger större för grundutförandet av den byggnad som analyseras i denna studie som i kvarteret Jöns Ols respektive Lindås Park, respektive drygt 50 % större om man jämför det mest energieffektiva utförandet av den analyserade byggnaden med Lund- och Lindåsbyggnaderna. I en sådan jämförelse har dock inte hänsyn tagits till elens värde.

Solhus 1 i Gårdsten använde totalt 283 kWh/m² BRA_t ²⁸ och år före renovering och har lyckats minska den köpta energianvändningen till 173 kWh/m² BRA_t ²⁸ och år efter renovering. Den köpta energin redovisas i Figur 44. Efter ombyggnad använder således Solhus 1 endast marginellt mer köpt energi än den byggnad som analyserats i denna studie (och ungefär 50 % mer än den mest energieffektiva varianten av denna byggnad).

²⁸ För Gårdsten har uppgifter om energianvändning erhållits per m² bostadsarea BOA. Dessa värden har räknats om med ett schablonvärde på 1,15 som förhållande mellan bruksarea (BRA_t) och bostadsarea. Detta schablonvärde anges i Statens energimyndighets utredning om areabegreppet inom ramen för myndighetens arbete med förbättrad nationell energistatistik för bebyggelsen.

Tabell 3: Köpt energi för det analyserade flerbostadshuset med åtgärder samt kvarteret Jöns Ols, Lindås Park och Solhus 1 i Gårdsten.

	F	F T=24	F T=20	F vitv	F fönster	F väggb	F fö+vå	FTX	FTX vitv	FTX fönster	FTX väggb	FTX fö+vå	FX (2,5)	FX vitv	FXA fönster	FX väggb	FX fö+vå	FX (3,0)	Jöns Ols	Lindås Park	Gårdsten före renov.	Gårdsten efter renov
Fjv Upp- värmning & varmvatten	114	128	102	114	110	112	108	71	71	68	69	66	32	32	29	30	27	15	22	0	235	127
Tillsatsenergi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El uppvärm- ning & varmvatten																			0	30	0	0
Drivel Vår- mepump	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	33	33	33	33	33	19	0	0	0
El till fläktar och pumpar	4	4	4	4	4	4	4	9	9	9	9	9	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0
Fastighetsel	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	16	6	0	0
Hushållsel	44	44	44	26	44	44	44	44	26	44	44	44	44	26	44	44	44	44	27	34	48	26
Summa	170	184	158	152	166	168	164	132	114	129	130	127	122	104	119	120	117	105	84	70	283	173



Figur 44: Köpt energi för det flerbostadshus som analyseras i denna studie samt tre kända svenska flerbostadsobjekt.

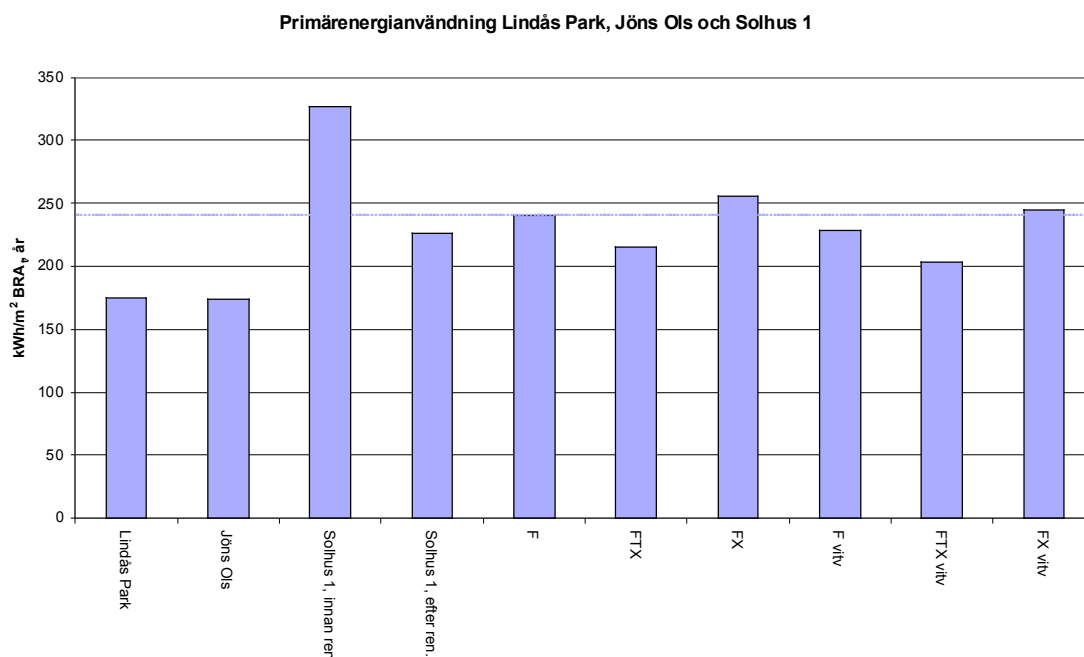
4.5.2 Primärenergianvändning

Om man istället betraktar primärenergianvändning²⁹ blir skillnaderna väsentligt mindre mellan den här analyserade byggnaden och Lindås Park, Jöns Ols och Solhus 1 (Gårdsten). Både Lindås Park och kvarteret Jöns Ols använder enligt beräkningarna 175 kWh primärenergi/m² BRA_t och år. Det flerbostadshus som analyserats i denna studie använder 240 kWh primärenergi/m² BRA_t och år i grundutförandet och 205 kWh primärenergi/m² BRA_t och år med den lägsta primärenergianvändningen (åtgärds-kombinationen med FTX-ventilation och energieffektiva vitvaror), medan Solhus 1 använder 230 kWh primärenergi/m² BRA_t och år efter ombyggnad.

Skillnaden mellan Jöns Ols och Lindås Park och den byggnad som analyserats här är således drygt en fjärdedel i grundfallet respektive bara 15 % mindre än i den åtgärds-kombination som ger lägst primärenergianvändning i det flerbostadshus som analyserats i denna studie. Ett annat intressant konstaterande är att Solhus 1 (Gårdsten) efter renovering använder 4 % mindre primärenergi än den byggnad som analyserats i denna rapport respektive endast cirka 30 % mer primärenergi än Lindås Park och kvarteret Jöns Ols. När det gällde köpt energi var

²⁹ Beräkningarna i detta kapitel baseras på tillförsellfall 1, fjärrvärmemix enligt prognos för 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion.

relationen mellan Solhus 1 efter renovering och Lindås Park hela 2,5:1. Jämförelsen mellan de nämnda byggnadernas behov av primärenergi illustreras i Figur 45.



Figur 45: Beräkningar av primärenergianvändning i kvarteret Jöns Ols, Lindås Park, Solhus 1 och den flerfamiljsbyggnad (fyra olika beräkningsfall) som har analyserat i denna studie. Beräkningarna baseras på tillförsell 1, fjärrvärmemix enligt prognos för 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion.

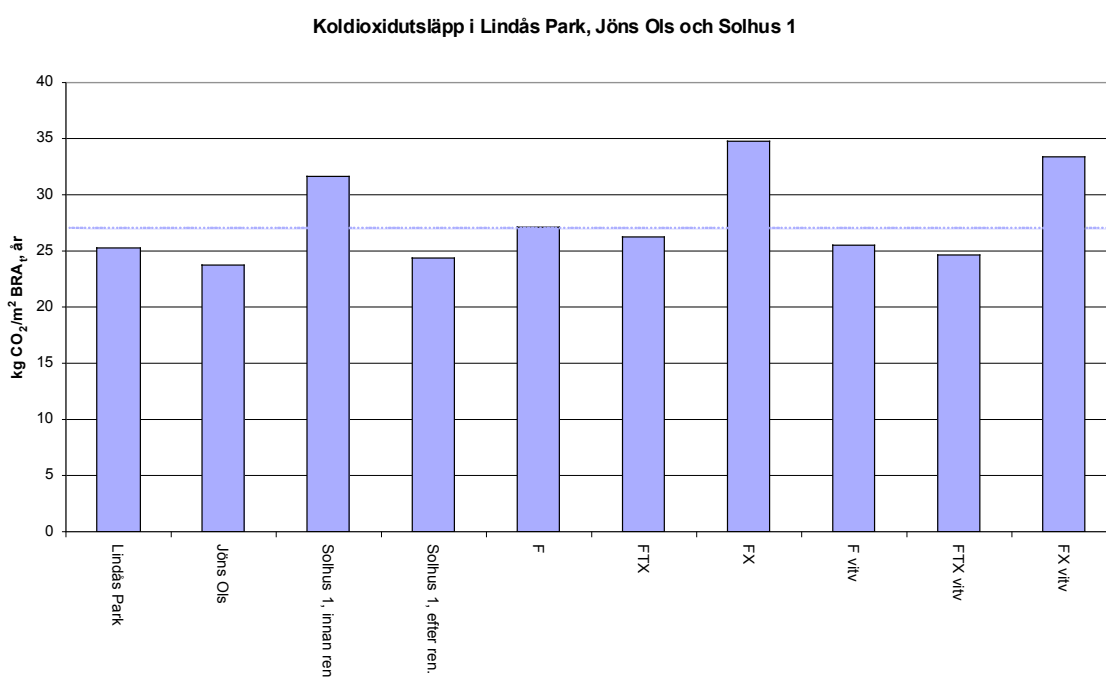
4.5.3 Koldioxidutsläpp

Vid jämförelse av beräkningar av koldioxidutsläpp³⁰ blir skillnaden mellan de olika byggnaderna ännu mindre än i fallet med primärenergi, och till och med till fördel för den byggnad som analyserats i denna studie i flera beräkningsfall (åtgärder). Energianvändningen i Lindås Park leder till cirka 25 kg CO₂/m² BRA_t och år, kvarteret Jöns Ols till cirka 24 kg CO₂/m² BRA_t och år, och Solhus 1 efter renovering till 24,5 kg CO₂/m² BRA_t och år. Slutligen leder energianvändningen i den byggnad som analyserats i denna studie till 27 kg CO₂/m² BRA_t och år i grundutförandet respektive 24 kg CO₂/m² BRA_t och år med den mest koldioxideffektiva åtgärds-kombinationen (FTX-ventilation och energieffektiva vitvaror).

Energianvändningen i Lindås Park och kvarteret Jöns Ols leder således till 4 % respektive 12 % lägre koldioxidutsläpp än grundversionen av flerbostadshuset i

³⁰ Beräkningarna baseras på tillförsell 1, fjärrvärmemix enligt prognos för 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion.

denna studie, respektive ungefär samma nivå som på den mest koldioxideffektiva av de analyserade åtgärds kombinationerna i denna studies flerbostadshus. Solhus 1 (Gårdsten) är efter renovering nere på samma nivå som Lindås park, kvarteret Jöns Ols och det mest koldioxideffektiva beräkningsfallet av denna studies flerbostadsbyggnad. När koldioxidutsläppet värderas utifrån livscykelperspektiv för de olika energislagen blir således skillnaden mellan ”lågenergi-husen” och den flerbostadsbyggnad som har analyserats i denna studie anmärkningsvärt liten. Detta understryker vikten av korrekta styrmedel för att nå en hållbar energianvändning. Att endast styra mot lägsta möjliga köpt energi är inte tillräckligt.



Figur 46: Beräknat koldioxidutsläpp i kvarteret Jöns Ols, Lindås Park, Solhus 1 och den flerbostadsbyggnad (fyra olika beräkningsfall) som har analyserats i denna studie. Beräkningarna baseras på tillförsellfall 1, fjärrvärmemix enligt prognos för 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion.

4.6 Fallet kontorsbyggnad

Den typbyggnad för kontor som har använts i beräkningarna utgår ifrån driftstatistik för nya verkliga kontorsbyggnader med god isolerstandard och med fönster med lågt värmegenomgångstal ($1,3 \text{ W/m}^2, \text{ K}$) och mellanglaspersienner för att minimera värme- och kylbehov. Vidare har antagits att byggnaden har utvändiga solskydd i utsatta lägen för att begränsa solvärmeinläckning och kylbehov.

Basfallet har balanserad ventilation (från- och tilluft med värmeåtervinning) med 1,5 l/s m² BRA. Basfallet inkluderar värmeåtervinning med batterivärmeväxling med god temperaturverkningsgrad (62 %). Överluft från kontorsytorna ventilerar och värmer garaget. Kontorsbyggnaden har en klimatkylanläggning baserad på kylbafflar, toppkyld tilluft och fjärrkyla.

Det totala behovet av köpt energi³¹ för den aktuella byggnaden i grundutförande är 182 kWh per kvadratmeter tempererad bruksarea (BRA_t) och år, fördelat på följande sätt:

- Värme och tappvarmvatten 76 kWh/m², år
- Klimatkyla 40 kWh/m², år
- Fastighetsel 21 kWh/m², år,
- Verksamhetsel 45 kWh/m², år

4.6.1 Förändring i infrastrukturen

4.6.1.1 Primärenergianvändning

Primärenergibehovet varierar liksom i fallet med flerbostadshuset beroende på vilket tillförselalternativ man väljer. I Figur 47 nedan visas en jämförelse av primärenergianvändningen och koldioxidutsläpp för den aktuella kontorsbyggnaden om man väljer något av de sex studerade tillförselalternativen. Jämförelsen baseras på total energianvändning i byggnaden, med energibehov för uppvärmning, tappvarmvatten, klimatkyla³², fastighetsel och verksamhetsel.

Som bas för jämförelsen (tillförselalternativ 1) används uppvärmning med fjärrvärme producerad i enlighet med Svensk Fjärrvärmes prognos för genomsnittlig fjärrvärmemix för år 2010, för kraftvärme används primärenergimethoden som allokeringprincip, och elanvändningen baseras på genomsnittlig europeisk elproduktion. I de fall fjärrkyla används bygger den på värmepumpsbaserad basproduktion, där fjärrvärme och fjärrkyla samproduceras i värmepumpar.

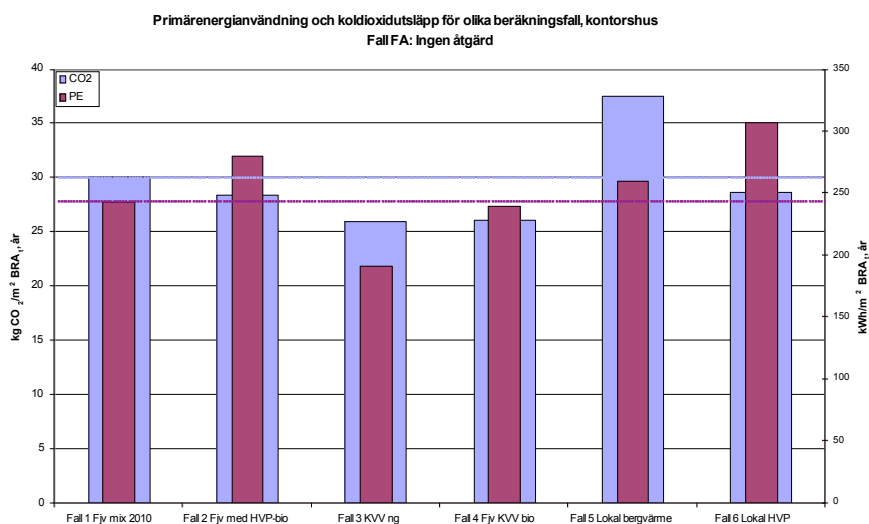
I Figur 48 visas primärenergianvändningens fördelning mellan el och övrig energitillförsel i den studerade kontorsbyggnaden vid byte av energitillförsel-system för uppvärmning och tappvarmvatten.

Som framgår av Figur 47 och Figur 48 minskar primärenergibehovet för byggnaden om man väljer tillförsel med fjärrvärme baserat på kraftvärme (tillförselalternativ 3 och 4) för uppvärmning och tappvarmvattenvärmning istället för prognosen för fjärrvärmemix år 2010 (tillförselalternativ 1). Med fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på naturgas (tillförselalternativ 3) minskar primärenergibehovet för byggnaden med en femtedel (från 243 till 192 kWh/m²

³¹ Med köpt energi avses levererad energi till byggnaden.

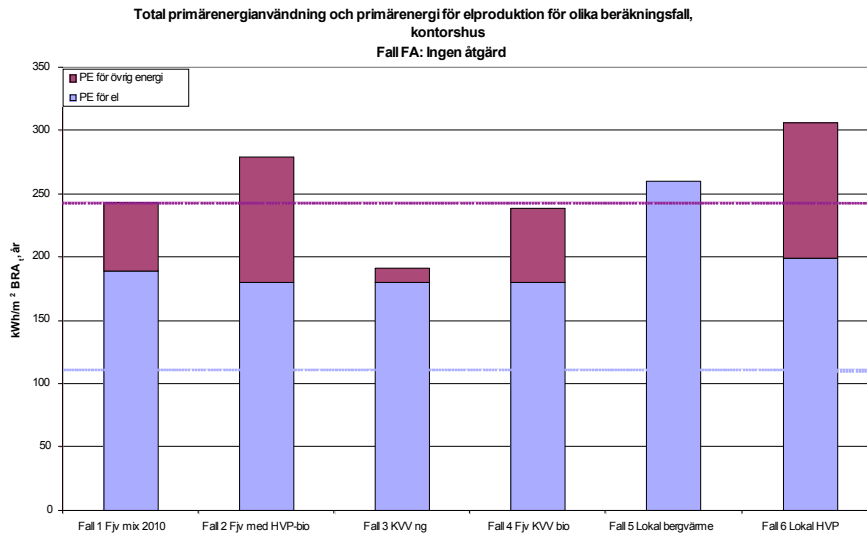
³² Som beroende på typ av installation antingen kan redovisas som fjärrkyla, frikyla, fastighetsel eller verksamhetsel.

BRA_t år), för fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme (tillförelsalternativ 4) minskar primärenergiebehovet för byggnaden endast marginellt (från 243 till 239 kWh/m² BRA_t år). Om man väljer något av de andra tillförelsalternativen ökar i stället primärenergianvändningen.

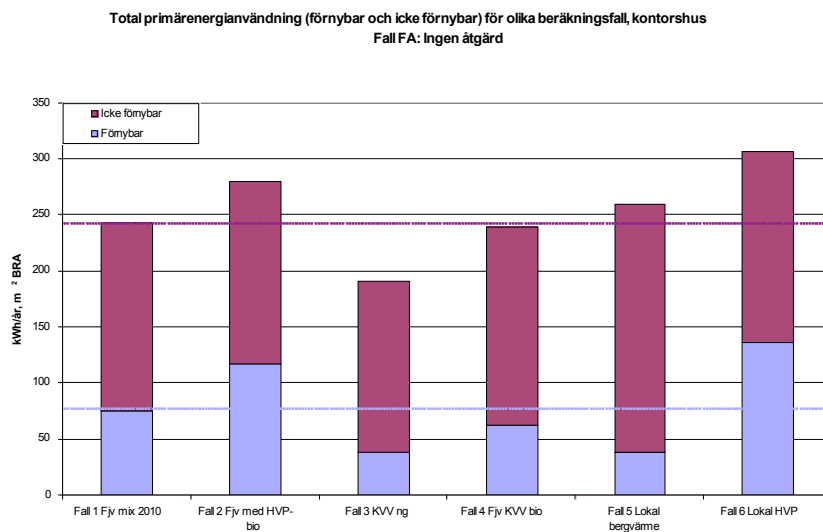


Figur 47: Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp för den analyserade kontorshuset (grundförslaget utan åtgärder i byggnaden) vid olika tillförelsalternativ av energi för uppvärmning och tappvarmvatten. Värdena innefattar total energianvändning, det vill säga energi för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel, verksamhetsel och kyla. Värdena för elanvändning motsvaras av genomsnittlig europeisk elproduktion. Värdena gäller vid användning av primärenergimetoden som allokeringssprincip vid kraftvärme. Den rödlila linjen markerar grundbyggnadens totala primärenergianvändning och den blålinjen dess totala koldioxidutsläpp.

Andelen förnybar energi framgår av Figur 49. Jämfört med prognosen för 2010 års fjärrvärmemix är den relativa andelen förnybar energi högre i fjärrvärme från biobränsleeldad hetvattenpanna (tillförelsalternativ 2) och lokal eldnings av biobränsle (tillförelsalternativ 6). Andelen förnybar energi blir något lägre i det biobränslebaserade kraftvärmealternativet (tillförelsalternativ 4) och mycket lägre i det naturgasbaserade kraftvärmealternativet och bergvärmepumpen (tillförelsalternativ 3 respektive 5).



Figur 48: Fördelning av primärenergianvändningen mellan el och övriga energikällor för den analyserade kontorshuset (grundförslaget utan åtgärder i byggnaden) vid byte från studiens grundalternativ för tillförsel av uppvärmning, fjärrvärme enligt prognos för genomsnitt år 2010 samt värden för el motsvarande genomsnittlig europeisk elproduktion. Värdena innefattar total energianvändning, det vill säga energi för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel, verksamhetsel och kyla.



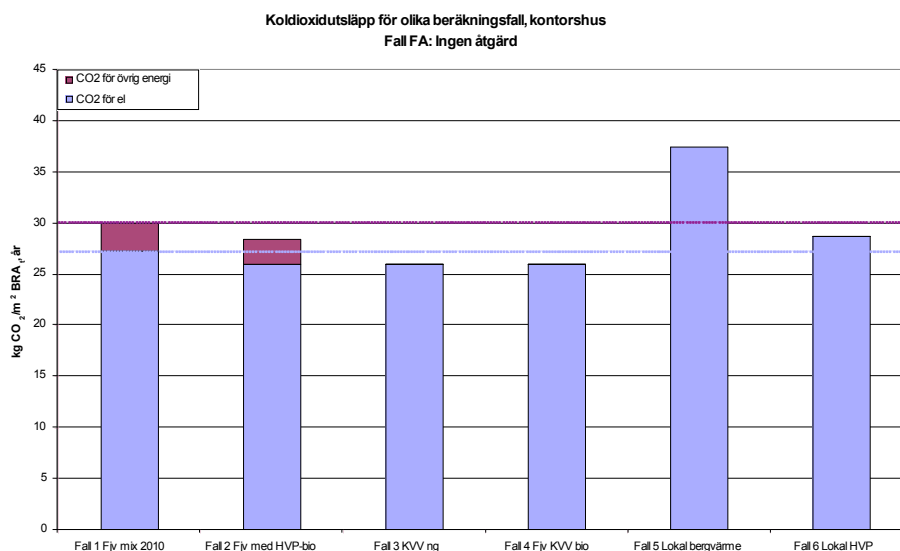
Figur 49: Primärenergianvändning i den aktuella kontorshuset, fördelat mellan förnybar och icke-förnybar energi. Värdena innefattar uppvärmning, tappvattenvärmning, klimatkyla, fastighetsel och verksamhetsel, och gäller vid användning av **primärenergimetoden** som allokeringsprincip vid kraftvärme.

4.6.1.2 Koldioxidutsläpp

Utsläppet av koldioxid varierar också för den enskilda byggnaden om man byter tillförselalternativ för byggnadens energibehov. Detta framgår av Figur 47 och Figur 50. I Figur 50 visas fördelningen av koldioxidutsläpp mellan el och övrig energitillförsel i den studerade kontorsbyggnaden vid byte av energitillförselsystem för uppvärmning och tappvarmvatten.

Skillnaden i utsläpp av koldioxid mellan de olika tillförselalternativen är något annorlunda än skillnaden i primärenergianvändning. Vid jämförelse med basfallet, fjärrvärmemix prognos för år 2010 (tillförselalternativ 1) för uppvärmning och tappvarmvatten, blir koldioxidutsläppen mindre i samtliga fall utom för uppvärmning med lokal bergvärmepump (tillförselalternativ 5).

Den största CO₂-minskningen relaterad till de analyserade tillförselalternativen sker vid byte till fjärrvärme baserad på kraftvärme, här blir minskningen i koldioxidutsläpp 13 % (4 kg/m² BRA_t, år) för de båda kraftvärmealternativen (biobränsle- respektive naturgasbaserad, tillförselalternativ 3 respektive 4), medan fjärrvärme producerad med biobränsleldad hetvattenpanna (tillförselalternativ 2) respektive lokal biobränsleledning (tillförselalternativ 6) minskar CO₂-utsläppen med 2 respektive 1 kg/m² BRA_t, år. Endast alternativet lokal bergvärme (tillförselalternativ 5) ger högre koldioxidutsläpp än fjärrvärmemixprognosen för år 2010 om man använder primärenergimetoden som allokeringssprincip. Denna jämförelse visas i Figur 47 och Figur 50.



Figur 50: Förändring i koldioxidutsläpp för det analyserade flerbostadshuset vid byte från 2010 års bedömda genomsnittsalternativ fjärrvärme till övriga analyserade tillförselalternativ (kontorsbyggnad i grundversion utan åtgärder i byggnaden, total energianvändning inklusive fastighetsel, verksamhetsel och kyla). Figuren visar totala värden för tillförselalternativen i kg CO₂/m² BRA_t, och år. Den rödlila linjen markerar grundbyggnadens totala koldioxidutsläpp och den blålinjen koldioxidutsläpp från byggnadens elanvändning.

Sammanfattningsvis får alternativet fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på naturgas (tillförelalternativ 3), tätt följt av alternativet fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på biobränsle (tillförelalternativ 4), ses som det bästa av de studerade tillförelalternativen om man använder primärenergi-metoden som allokeringssprincip vid kraftvärme även för den studerade kontorsbyggnaden. Naturgaskraftvärme ger i det analyserade fallet för kontorsbyggnaden både lägst primärenergianvändning och lägst koldioxidutsläpp.

4.6.2 Åtgärder i kontorsbyggnaden

De åtgärder som i denna studie tagits i beaktande för kontorsbyggnaden är följande:

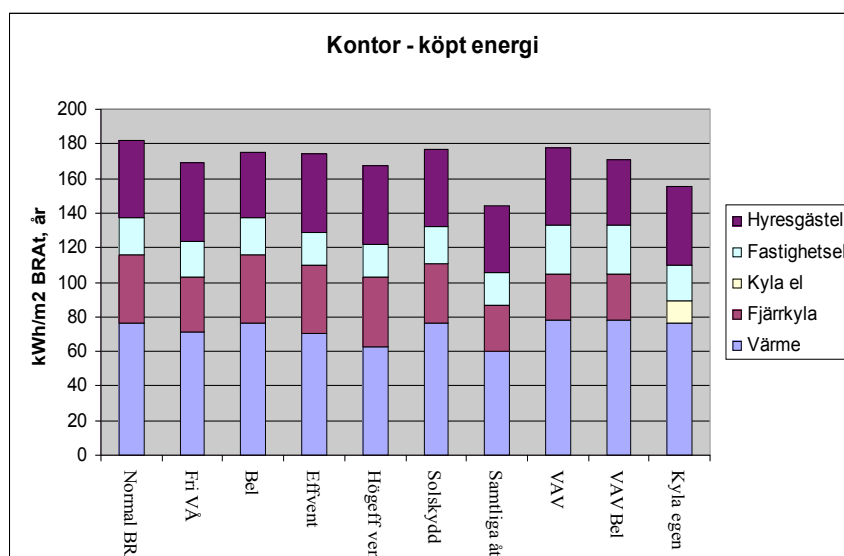
- Frikyla för kylbaffelsystem under uppvärmningssäsongen via inkommande uteluft för luftbehandlingen. Denna åtgärd ger samtidigt förvärmning av tilluften.
- Energieffektiv belysning genom dagsljusstyrning med ljussensorer för tändning/släckning av armaturer zonvis. Denna åtgärd minskar elanvändningen för belysning med 29 %.
- Mer effektiva luftbehandlingsaggregat. Ökad aggregatstorlek med lägre tvärsnittshastighet (1,6 m/s) och lägre SFP (-0,3 kW/m³/s) och högre temperaturverkningsgrad (+8 %).
- Högeffektiva luftbehandlingsaggregat. Ökad aggregatstorlek med lägre tvärsnittshastighet (1,6 m/s) och lägre SFP (-0,3 kW/m³/s) och betydligt högre temperaturverkningsgrad (+23 %).
- Solskyddsglas med lägre kyleffekt- och kylenergibehov.
- Luftkylalösning med variabelt luftflöde (VAV) istället för kylbaffelkyla.
- Luftkylalösning med variabelt luftflöde (VAV) istället för kylbaffelkyla, samt energieffektiv belysning.
- Egen kylmaskin med årskylfaktor 3 istället för fjärrkyla.

4.6.2.1 Köpt energi³³

En enkel summering av den köpta energin för de olika åtgärds-kombinationerna visas i Tabell 4. Behovet av köpt energi för den aktuella byggnaden är som inledningsvis nämnts i detta avsnitt i grundalternativet 182 kWh per kvadratmeter BRA_t och år, fördelat på följande sätt:

- Värme och tappvarmvatten 76 kWh/m², år
- Klimatkyla 40 kWh/m², år
- Fastighetsel 21 kWh/m², år,
- Verksamhetsel 45 kWh/m², år

³³ Med köpt energi avses här levererad energi.



Figur 51: Behov av köpt energi för den studerade kontorsbyggnaden vid olika åtgärder i byggnaden.

Påverkan på köpt energi för de åtgärder i kontorsbyggnaden som beskrivs ovan har beräknats med hjälp av ABB Ventac. Förändringen i byggnadens behov av köpt energi redovisas i Tabell 4 och Figur 51. Det lägsta behovet av köpt energi fås enligt beräkningarna i fallet med energieffektiv belysning, dito ventilation samt solskyddsglas (*Samtliga åtg*). I detta fall är den köpta energin 144 kWh per kvadratmeter BRA_t och år.

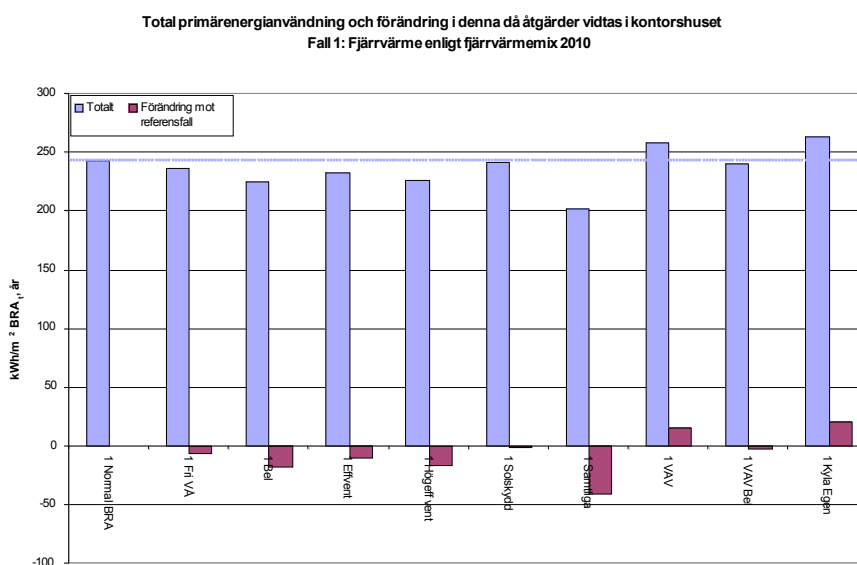
Tabell 4: Behov av köpt energi för den aktuella kontorsbyggnaden vid olika åtgärder i byggnaden.

	Normal BRA	Fri VÅ	Bel	Eff vent	Högeff vent	Solskydd	Samtliga åtg	VAV	VAV bel	Kyla egen
Uppv & varmvatten	76	71	76	70	63	76	60	78	78	76
Fjärrkyla	40	32	40	40	40	35	27	27	27	-
Kyla lokalt producerad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
Fastighetsel	21	21	21	19	19	21	19	28	28	21
Verksamhetsel	45	45	38	45	45	45	38	45	38	45
Summa	182	169	175	174	167	177	144	178	171	155

4.6.2.2 Primärenergianvändning

I fallet med fjärrvärme baserat på tillförelsalternativ 1, prognos för fjärrvärmemix för år 2010, minskar den totala primärenergianvändningen³⁴ i den aktuella kontorsbyggnaden vid genomförande av samtliga beskrivna åtgärder utom kombinationen med luftkylalösning med variabelt luftflöde istället för kylbaf-felkyla (*VAV bel*) och egen kylmaskin (*Kyla egen*).

Den största primärenergiminskningen erhålls i alternativet med genomförande av alla energieffektiviserande åtgärderna, det vill säga energieffektiv belysning, energieffektiva persondatorer, energieffektiv ventilation samt solskyddsglas (*Samtliga åtgärder*). Primärenergianvändningen minskar i detta fall med 40 kWh/m² BRA_t och år (16 %). Såväl åtgärderna frikyla (*Fri VÅ*), energieffektiv belysning (*Bel*), energieffektiv ventilation (*Effvent*) respektive högeffektiv ventilation (*Högeffvent*) ger också var för sig goda minskningar av primärenergianvändningen. Dessa åtgärder minskar primärenergianvändningen med 17 till 20 kWh/m² BRA_t och år, vilket motsvarar 3 till 7 %.



Figur 52: Beräknad primärenergianvändning då åtgärder vidtas i den aktuella kontorsbyggnaden. Värdena innefattar total energianvändning, det vill säga energi för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel, verksamhetsel och kyla. Diagrammet visar både total primärenergianvändning för de olika åtgärdscombinationerna och skillnader i förhållande till grundalternativet. Primärenergianvändningen är beräknad för grundalternativet för energitillförelse, prognos för fjärrvärmemix år 2010 med primärenergimetoden för allokering av kraftvärme.

Total primärenergianvändning och förändring vid genomförande av åtgärder i kontorsbyggnaden vid energitillförelsalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år

³⁴ Det totala primärenergibehovet för värme, tappvarmvatten, fastighetsel och verksamhetsel avses. I detta beräkningsfall ingår ingen klimatkylla.

2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion) illustreras i Figur 52. Minskningsar i primärenergianvändning tack vare åtgärder i kontorsbyggnaden kan jämföras med de minskningar som erhålls med ändrat tillförselalternativ till fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på naturgas (tillförselalternativ 3) men utan att genomföra några byggnadsåtgärder, där minskningen är 51 kWh per m² BRA_t och år. Att byta tillförselsystem till fjärrvärme baserad på naturgasproducerad kraftvärme ger vid en sådan jämförelse en något större primärenergiminskning än att genomföra samtliga de analyserade energieffektiva åtgärderna i byggnaden, och cirka tre gånger så stor primärenergiminskning som någon av åtgärderna enskilt ger.

4.6.2.3 Koldioxidutsläpp

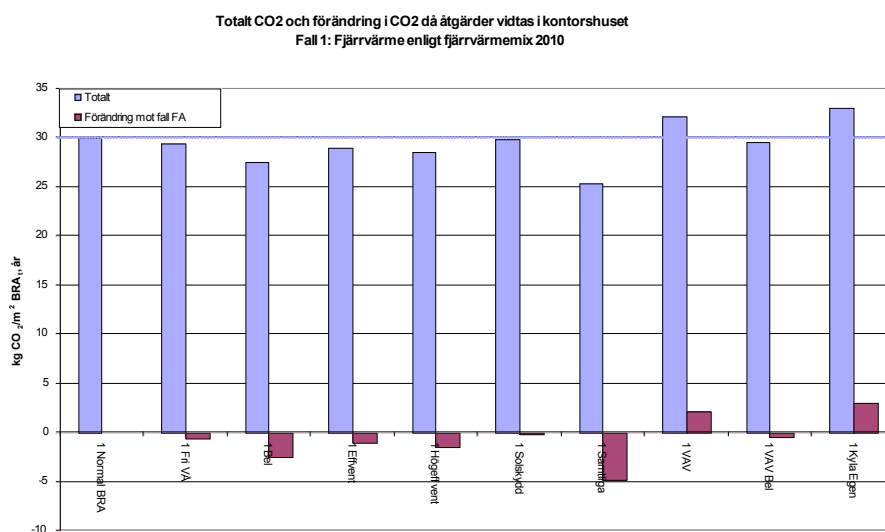
Med fjärrvärmemixprognosen för år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion blir förändringarna i koldioxidutsläpp positiva för effektiviseringsåtgärder i kontorsbyggnaden i alla analyserade fall utom beräkningsfallen med luftkylalösning med variabelt luftflöde istället för kylbaffelkyla (*VAV*) och egen kylmaskin (*Kyla egen*). Totala CO₂-utsläpp och förändringar i koldioxidutsläpp redovisas i Figur 53.

Den största minskningen av koldioxidutsläpp, 4,8 kg/m² BRA_t och år (24 %), fås på samma sätt som den största minskningen i primärenergianvändning i alternativet med genomförande av alla energieffektiviserande åtgärderna, det vill säga energieffektiv belysning, energieffektiva persondatorer, energieffektiv ventilation samt solskyddsglas (*Samtliga åtgärder*). Tre av de analyserade åtgärderna ger var för sig goda CO₂-minskningar, dessa är energieffektiv belysning (*Bel*), energieffektiv ventilation (*Eff vent*) respektive högeffektiv ventilation (*Högeff vent*). Dessa åtgärder ger en CO₂-reduktion på 1,1 till 2,5 kg/m² BRA_t och år, motsvarande 3 till 8 %.

Dessa minskningar av CO₂-utsläpp kan jämföras med dem som erhålls vid övergång från tillförselalternativ 1, fjärrvärmemix 2010, till fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på naturgas respektive biobränsle (tillförselalternativ 3 respektive 4). En sådan förändring av energitillförseln ger en beräknad minskning av koldioxidutsläppet utan åtgärder i byggnaden på 4 kg/m² och år (13 %)³⁵. Att byta tillförselsystem till fjärrvärme baserad på kraftvärme ger således nästan lika stor koldioxidreduktion som att genomföra samtliga här analyserade energieffektiva åtgärder i kontorsbyggnaden.

Sammantaget kan konstateras att samtliga de åtgärder i kontorsbyggnaden som har simulerats här leder till lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp än grundalternativet för kontorsbyggnaden, utom de två fallen med luftkylalösning med variabelt luftflöde (*VAV*) respektive egen kylmaskin (*Kyla egen*).

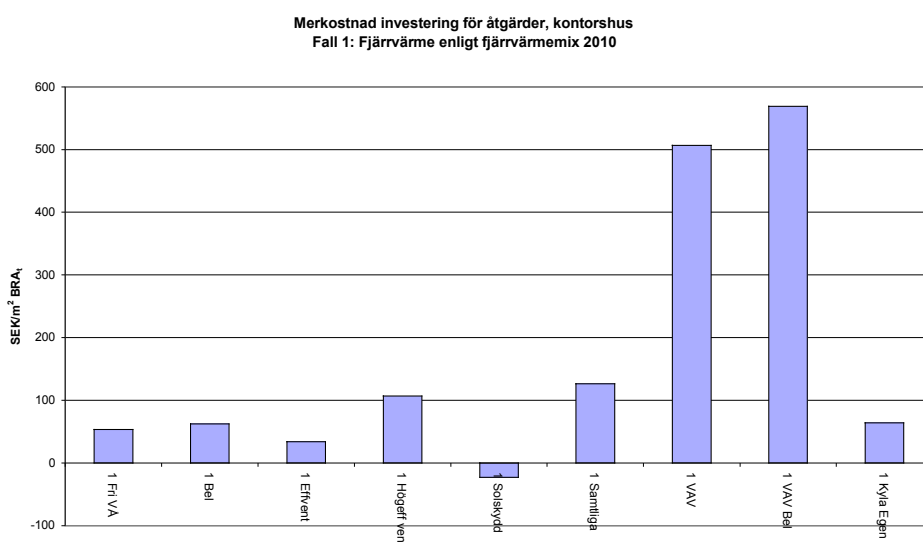
³⁵ Beräknat med primärenergimetoden som allokeringsprincip för kraftvärmern.



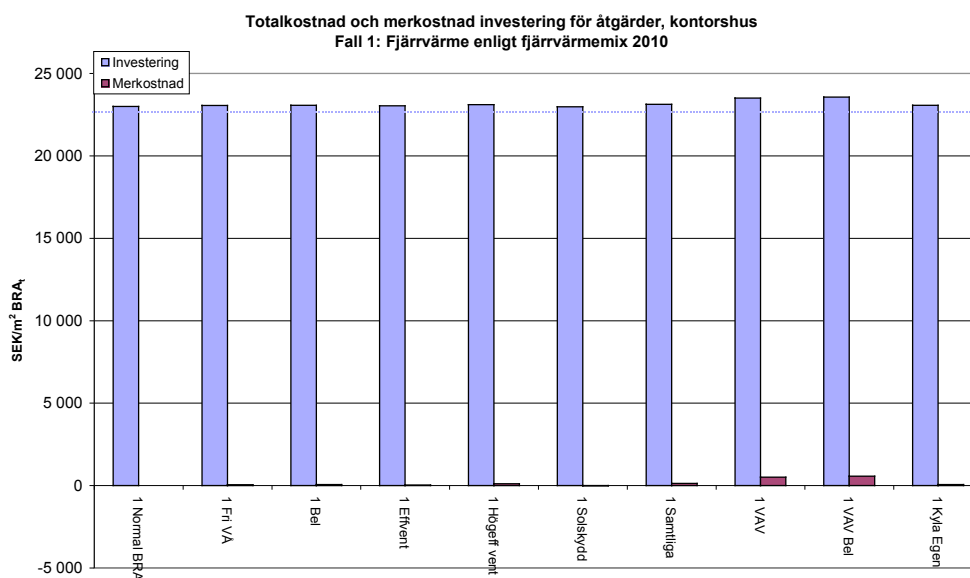
Figur 53: Beräknade koldioxidutsläpp då åtgärder vidtas i den aktuella kontorsbyggnaden. Diagrammet visar både totala värden och skillnader i CO₂-utsläpp per kvadratmeter BRA_t och år. Koldioxidutsläppen redovisas i förhållande till tillförselalternativ 1, prognos för fjärrvärmemix år 2010, med primärenergimetoden som allokeringssprincip och genomsnittlig europeisk elproduktion.

4.6.3 Investeringar för åtgärder i kontorsfallet

Grundinvesteringen för det aktuella kontorshuset är 23.000 SEK/m² tempererad bruksarea (BRA_t). Denna kostnad inkluderar moms och byggherreomkostnader. För åtgärder i byggnaden har merkostnader beräknats i förhållande till den ursprungliga byggnaden, även dessa kostnader uttrycks i förhållande till byggnadens tempererade bruksarea. Merkostnader för åtgärder redovisas i Figur 54 och Figur 55. I Figur 55 visas även de totala investeringskostnaderna per kvadratmeter BRA_t. Åtgärdernas investeringskostnader har beräknats för den aktuella byggnaden. Kostnaderna för de individuella åtgärderna i kontorsbyggnaden respektive i tillförselsystemet redovisas också i Bilaga 1.



Figur 54: Merkostnader för investering för åtgärder i kontorshuset. Kostnaderna uttrycks i SEK per m² BRA_t och år och inkluderar moms och byggherreomkostnader



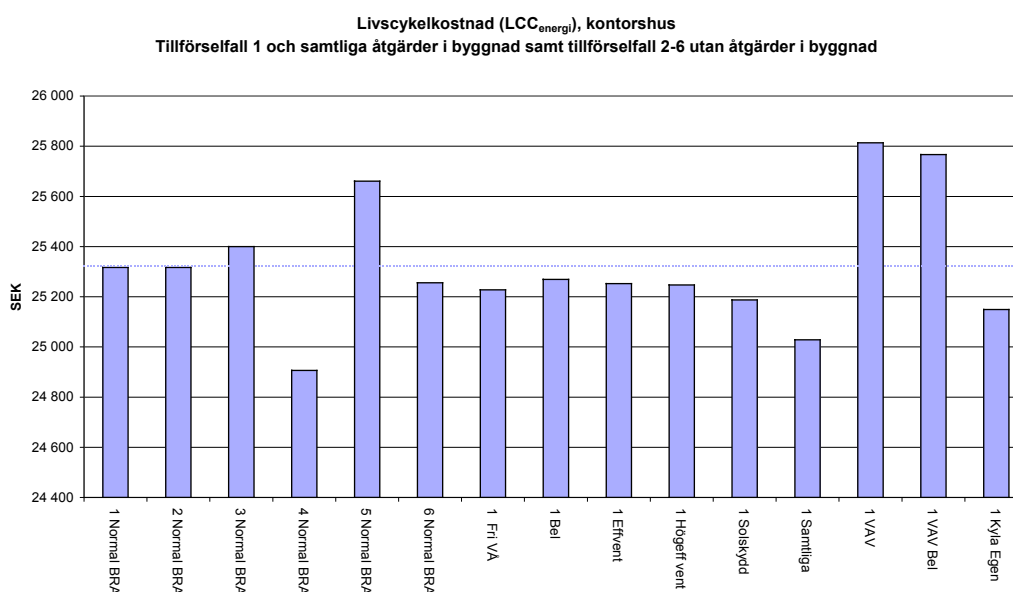
Figur 55: Investering för åtgärder och åtgärds kombinationer i byggnad och tillförselsystem. Kostnaderna uttrycks i SEK per m² BRA_t och år och inkluderar moms och byggherreomkostnader.

Vid investeringar i energitillförselsystemet har kostnaderna omsatts till förändring i energikostnad SEK/kWh i förhållande till den bedömda kostnaden per kWh för tillförselalternativ 1 för att kunna göra jämförelser avseende kostnadseffektivitet.

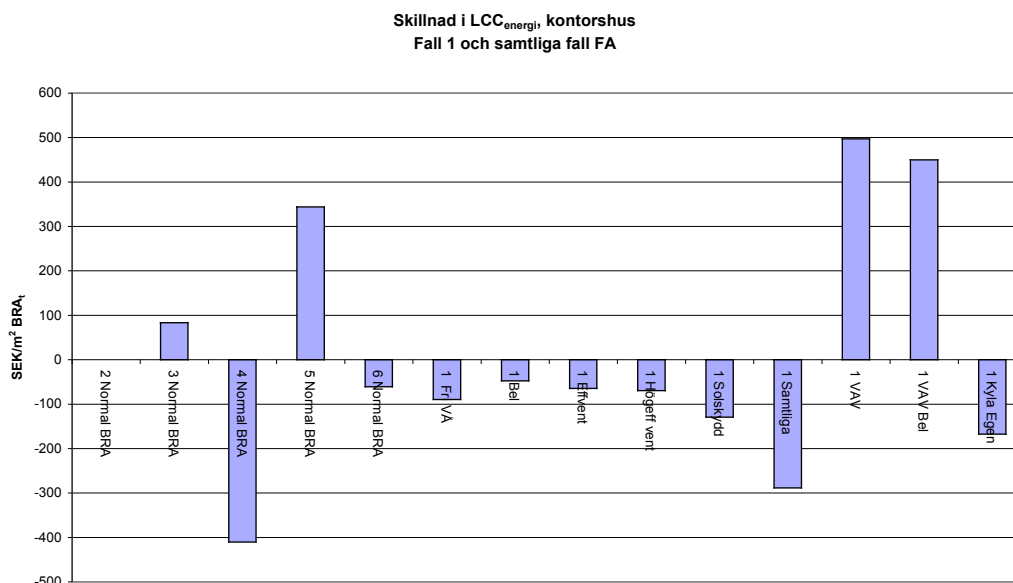
4.6.4 Livscykelkostnader för åtgärder i kontorsfallet

Livscykelkostnaderna som beräknats är LCC_{energi} -beräkningar och inkluderar investeringar och energikostnader under den bedömda brukstiden 25 år. Beräknade livscykelkostnader och skillnader i livscykelkostnader för den aktuella kontorsbyggnaden med energieffektiviserande åtgärder och åtgärdskombinationer framgår av Figur 56 och Figur 57. Skillnaden i livscykelkostnader mellan de olika beräkningsfallen för kontor är generellt mycket små.

Som framgår av figurerna ger samtliga åtgärder och åtgärdskombinationer i byggnaden utom de två VAV-alternativen lägre livscykelkostnader än grundalternativet. En slutsats som kan dras är att VAV-åtgärderna inte är kostnads-effektiva i förhållande till grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden och att VAV som ensam åtgärd heller inte ger någon minskad miljöpåverkan för energitillförsellfall 1. Den studerade luftkylalösningen med variabelt luftflöde istället för kylbaffelkyla i kombination med energieffektiv belysning (*VAV Bel*) leder till viss minskning av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp vid detta energitillförsellfall, men LCC-kostnaden bli högre än för grundberäkningsfallet.



Figur 56: Livscykelkostnader (LCC_{energi}) för genomförande av energieffektiviserande åtgärder i kontorsbyggnaden respektive byte av energitillförselsystem utan åtgärder i byggnaden. Brukstid 25 år, kalkylränta 5 % och årlig energiprisökning 2 % har antagits. Observera att skalan på Y-axeln inte utgår från 0.



Figur 57: Skillnad i livscykelkostnader (LCC_{energi}) för genomförande av energieffektiviserande åtgärder i kontorsbyggnaden respektive byte av energitillförselsystem utan åtgärder i byggnaden.

Vid byte av energitillförselsystem utan att genomföra några åtgärder i kontorsbyggnaden erhålls en lägre livscykelkostnad i fyra av de studerade fallen och samma LCC-kostnad i ett fall jämfört med prognosen för fjärrvärmemix för år 2010 (se Figur 56 och Figur 57). Det tillförselalternativ som baseras på biobränslekraftvärme (tillförselalternativ 4) ger mycket lägre LCC-kostnader. Tillförselalternativen baserade på naturgas-kraftvärme, bergvärmepump respektive lokal biobränsleeldning (tillförselalternativ 3, 5 respektive 6) ger också lägre LCC-kostnad, i dessa fall är LCC-kostnaderna lägre än för byggnaden med samtliga energieffektiviserande åtgärder i kombination med fjärrvärmemixen för år 2010. Slutligen ger fjärrvärme producerad med biobränsleeldad hetvattenpanna samma LCC-kostnad för byggnaden utan åtgärder som tillförselalternativ 1 (fjärrvärmemix 2010).

4.6.5 Korskorningar mellan åtgärder i kontorsbyggnaden och energitillförsel

Som konstaterats leder en rad åtgärder i såväl kontorsbyggnaden som i energitillförselsystemet till minskad primärenergianvändning och reducerat koldioxidutsläpp. För att undersöka vilken effekt samtidigt byte av energitillförsel och genomförande av åtgärder i den aktuella byggnaden ger på primärenergianvändning respektive koldioxidutsläpp, och för att se vilka de bästa kombinationerna är, har en korskorning av samtliga alternativ genomförts.

4.6.5.1 Primärenergianvändning

I Figur 58 visas samtliga beräkningsfall med åtgärder för den analyserade kontorsbyggnaden med de sex studerade energitillförselsystemen. I figuren visas de olika beräkningsfallen ordnade efter primärenergianvändning. Vid närmare studie av Figur 58 kan bland annat följande konstateras:

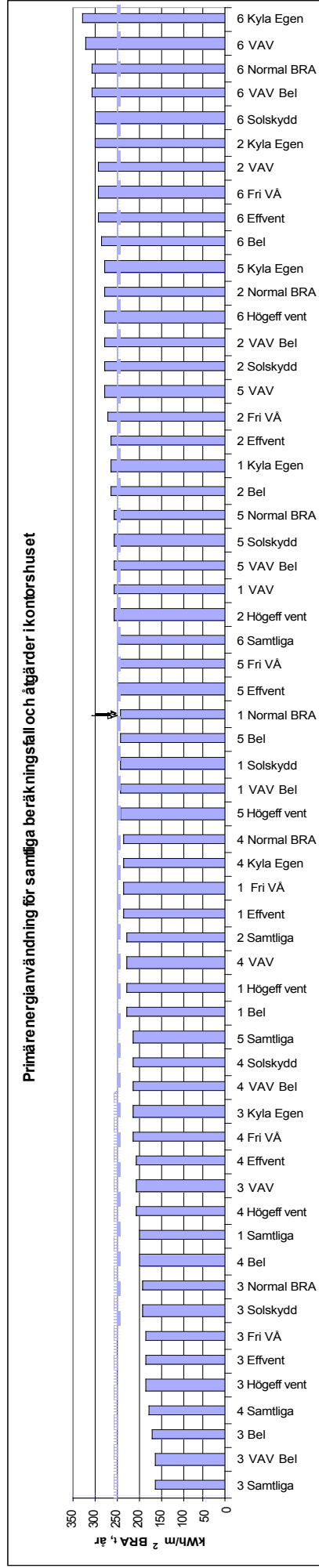
- Samtliga beräkningsfall med kraftvärmeproducerad fjärrvärme (tillförselalternativ 3 och 4) ger väsentligt lägre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall med tillförselalternativ 1 (fjärrvärmemix prognos för år 2010), utom den studerade luftkylalösningen med variabelt luftflöde istället för kylbaffelkyla (*VAV*) och egen kylmaskin (*Kyla egen*) ger lägre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall med lokal bibränsleeldning (tillförselalternativ 6), nästan samtliga beräkningsfall med biohetvattenpanna (tillförselalternativ 2)³⁶ och nästan alla fallen med bergvärmepump (tillförselalternativ 5) har lika hög eller högre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet.
- Om man vill minska primärenergianvändningen i den analyserade kontorsbyggnaden förefaller det ha större betydelse att byta energitillförselsystem (till alternativ 3 respektive 4) än vilka energieffektiviseringsåtgärder som väljs.
- Det är fördelaktigt ur primärenergianvändningssynpunkt att minska elanvändningen.

4.6.5.2 Primärenergianvändning och LCC-kostnader

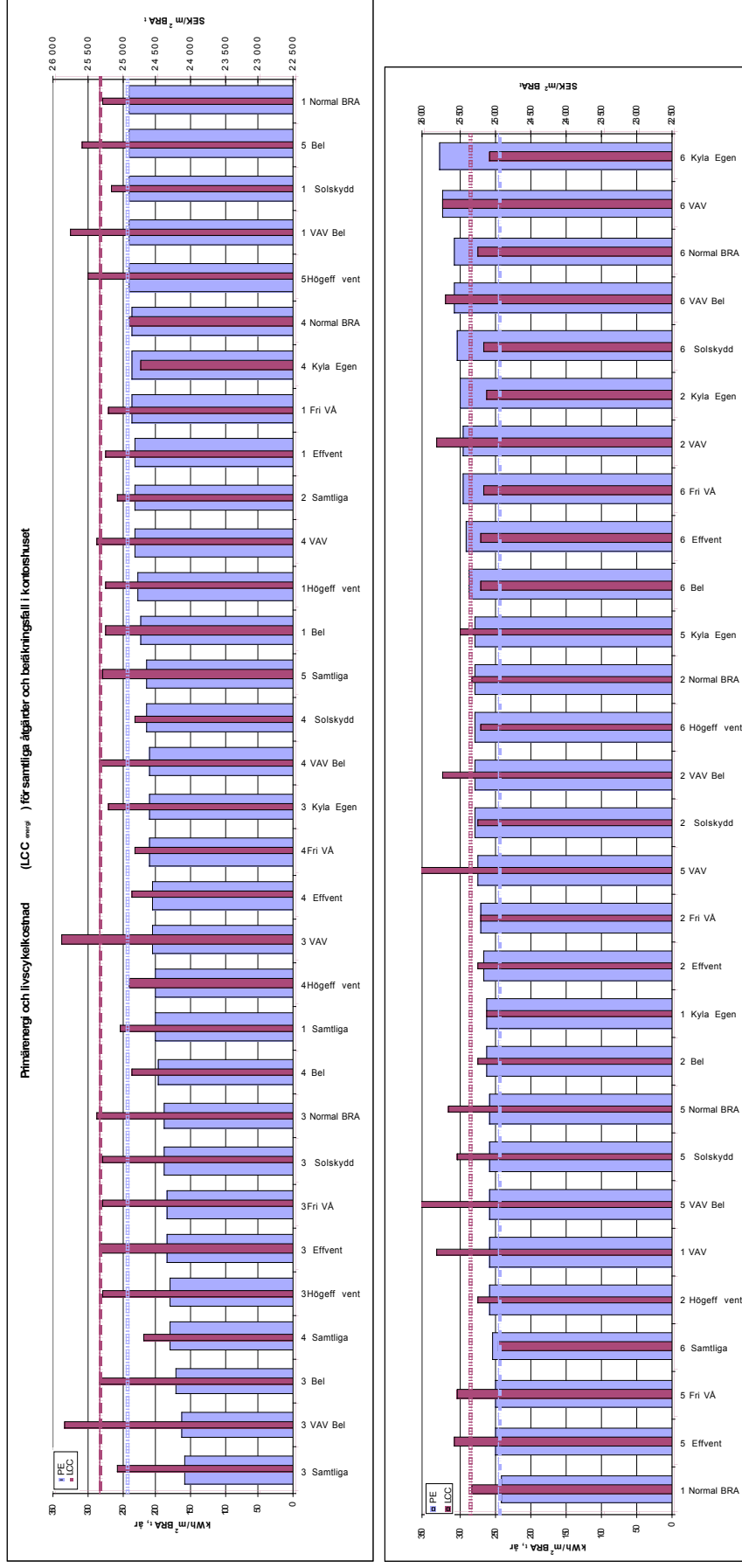
Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och primärenergianvändning kan följande observationer göras (Figur 59). Många beräkningsfall leder både till lägre primärenergianvändning och lägre LCC-kostnader. Samtliga åtgärder i kontorshuset i kombination med byte till kraftvärme (tillförselalternativ 3 respektive 4) utom beräkningsfallen med *VAV*, med respektive utan energieffektiv belysning, leder till väsentligt lägre livscykelkostnader. Även energieffektiviserande åtgärder och energieffektiv belysning ger för tillförselalternativ 1, fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, både lägre primärenergianvändning och lägre livscykelkostnader.

Ur Figur 59 kan också utläsas vilka kombinationer av åtgärder som har hög primärenergianvändning och höga livscykelkostnader och därmed inte bör rekommenderas ur miljösynpunkt. Ett antal beräkningsfall för kontorshuset leder till högre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet. De sämsta åtgärds kombinationerna med både hög primärenergianvändning och höga livscykelkostnader är beräkningsfall med bergvärmepump (tillförselalternativ 5)

³⁶ Undantaget är det beräkningsfall som innefattar samtliga effektiviseringsåtgärder.



Figur 58: Primärenergianvändning för alla uppvärmningssalternativ och byggnadsåtgärder i den analyserade kontorsbyggnaden. Pilen i figuren markerar grundfallet för beräkningarna, kontorsbyggnad utan åtgärder med fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion som energitillförsel.



Figur 59: Korskörning mellan olika energitillförselalternativ och åtgärder i kontorsbyggnaden avseende primärenergianvändning med samtidig illustration av LCC_{energ}-kostnader för respektive beräkningsfall. Beräkningsfallen är rangordnade efter primärenergianvändning. Den blåa linjen markerar primärenergianvändning och den rödila linjen markerar LCC_{energ}-kostnader för grundutförandet av byggnaden med användning av fjärrvärme enligt prognos för år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion.

Diagrammet är delat i två delar på grund av sin längd, grundberäkningsfallet markeras som slut i den övre delen av diagrammet och som start i den undre delen.

1 = Fjv mix prognos 2010; 2 = Fjv biotvattenvärme; 3 = Fjv naturgas-kraftvärme;
4 = Fjv bibränsle-kraftvärme; 5 = Bergvärmepump; 6 = Lokal biobränsleledning

i kombination med olika åtgärder i byggnaden, där beräkningsfallen med variabelt luftflöde (*VAV*) är de allra sämsta. Vidare ger för det analyserade kontorshuset beräkningsfallen med variabelt luftflöde (*VAV*) i kombination med tillförsellalternativ 1, 2 och 6 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna respektive lokal biobränsleeldning) både hög primärenergianvändning och höga LCC-kostnader.

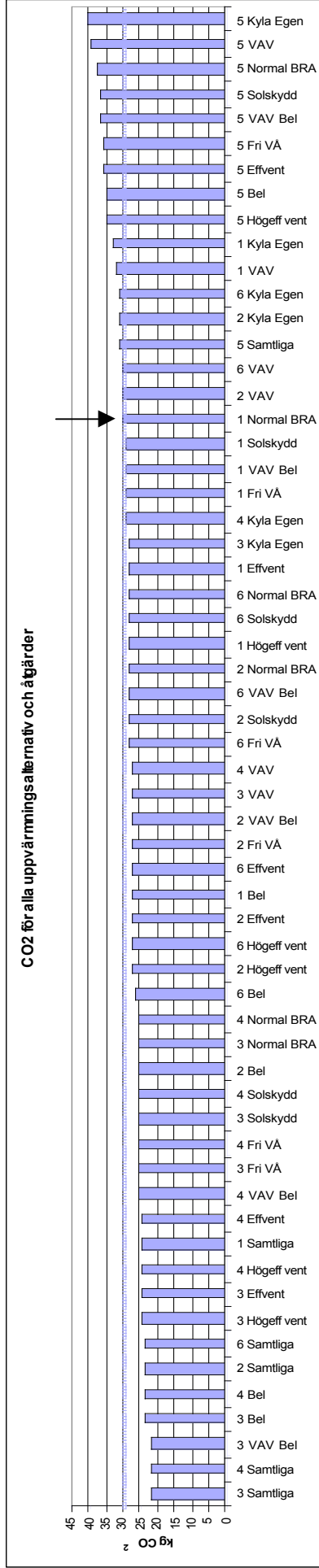
4.6.5.3 Koldioxidutsläpp

I Figur 60 visas samtliga beräkningsfall med åtgärder för det analyserade flerbostadshuset med de sex studerade energitillförselsystemen. I figuren visas de olika beräkningsfallen ordnade efter koldioxidutsläpp. Vid närmare studie av Figur 60 kan bland annat följande konstateras:

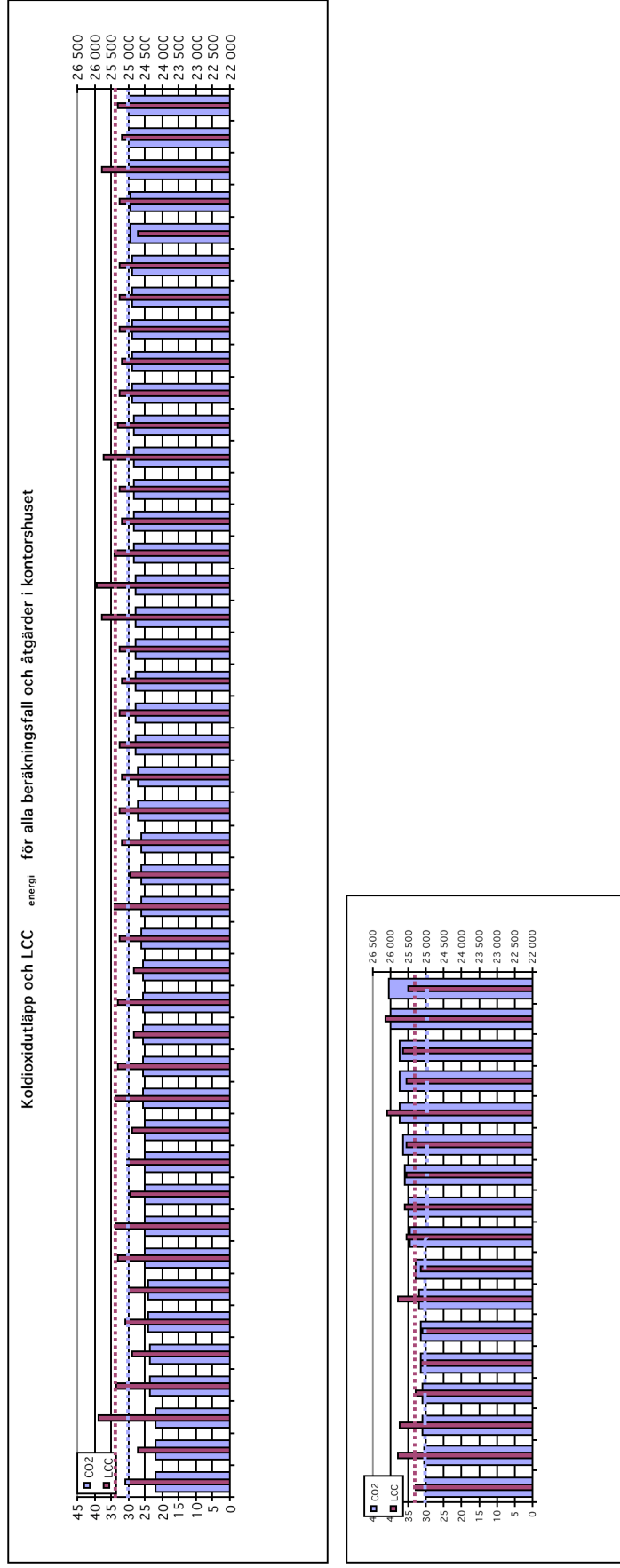
- Merparten av de analyserade beräkningsfallen leder till lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet, kontorsbyggnad utan åtgärder och energitillförsel med fjärrvärmemix prognos 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion.
- Samtliga beräkningsfall med bergvärmepump (tillförsellalternativ 5) leder till högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet. Detsamma gäller för *VAV*-beräkningsfallen och fallen med egen kylmaskin för fjärrvärmemix prognos 2010 (tillförsellalternativ 1), fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna (tillförsellalternativ 2) respektive lokal biobränsleeldning (tillförsellalternativ 6).
- Åtgärder som leder till lägre elanvändning är generellt mycket fördelaktiga när det gäller att minska CO₂-utsläppen i kontorsfallet. Åtgärds-kombinationerna med samtliga energieffektiviserande åtgärder i byggnaden är de mest fördelaktiga beräkningsfallen ur CO₂-perspektiv.
- Åtgärder och dito kombinationer tillsammans med kraftvärme (naturgas, tillförsellalternativ 3, respektive biobränsle, tillförsellalternativ 4) är de bästa.

4.6.5.4 Koldioxidutsläpp och LCC-kostnader

Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och koldioxidutsläppen kan följande observationer göras (Figur 61). De bästa åtgärderna, det vill säga åtgärder som både har låg livscykelkostnad och låga CO₂-utsläpp är följande:



Figur 60: Korskörning för koldioxidutsläpp mellan åtgärder i kontorsbyggnaden och byte av energitillförsel. Beräkningsfallen är rangordnade efter mängden koldioxidutsläpp. Pilen i figuren markerar grundfallet för kontorsbyggnaden med fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion som energitillförsel. Grundberäkningsfallets CO₂-utsläpp är markerat som jämförelse i form av en linje i diagrammet.



Figur 61: Korskörning mellan olika energitillförselalternativ och åtgärder i kontorsbyggnaden, med samtidig illustration av LCC_{energi}-kostnader för respektive beräkningsfall. Beräkningsfallen är rangordnade efter koldioxidutsläpp. Den blåa linjen markerar koldioxidutsläpp och den rödila linjen markerar LCC_{energi}-kostnader för grundutförandet av byggnaden med användning av fjärrvärme enligt prognos för år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion. Diagrammet är delat i två delar på grund av sin längd, grundberäkningsfallet markeras som slut i den övre delen av diagrammet och som start i den undre delen.

1 = Fjärrmix prognos 2010; 2 = Fjärr biotvättvattenpanna; 3 = Fjärr naturgas-kraftvärme;
4 = Fjärr biotvättvattenpanna; 5 = Bergvärmepump; 6 = Lokal biotvättvattenpanna

- De allra bästa åtgärdscombinationerna innefattar åtgärder som minskar elanvändningen. I den här studien representeras denna typ av åtgärd av energieffektiv belysning, ventilation och persondatorer. Beräkningsfall med combination av samtliga effektiviserande åtgärder och fjärrvärme baserad på kraftvärme (tillförselalternativ 3 respektive 4) är de allra bästa, men även tillförselalternativ 1, 2 och 6 i combination med åtgärder som minskar elanvändningen ger bättre värden än grundberäkningsfallet när det gäller CO₂-utsläpp och LCC-kostnader.
- Energieffektiv belysning är en bra combination för de flesta av tillförselfallen.
- Tillförsel i form av både naturgas- och biobränsleproducerad kraftvärme (tillförselalternativ 3 och 4) är de enda combinationer med VAV-åtgärder i byggnaden som är fördelaktiga ur koldioxidperspektiv, men de ger en högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Ett flertal åtgärdscombinationer med fjärrvärmemix prognos för 2010, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna och lokal biobränsleeldning (tillförselalternativ 1, 2 respektive 6) ger både låga koldioxidutsläpp och låg LCC-kostnad.

Ur Figur 61 kan också utläsas vilka combinationer av åtgärder som ger höga CO₂-utsläpp och höga livscykelkostnader och därmed inte bör rekommenderas ur miljösynpunkt. Samtliga åtgärdscombinationer med bergvärmepump som analyserats i denna studie ger höga koldioxidutsläpp, och höga livscykelkostnader. Om man väger samman koldioxidutsläpp och LCC-kostnad är de minst fördelaktiga alternativen beräkningsfallen som bygger på bergvärmepump och fallen med VAV och fjärrvärmemix enligt prognosen för 2010, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna samt lokal biobränsleeldning (tillförselalternativen 1, 2 respektive 6).

4.6.5.5 Samtidig minskning av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp

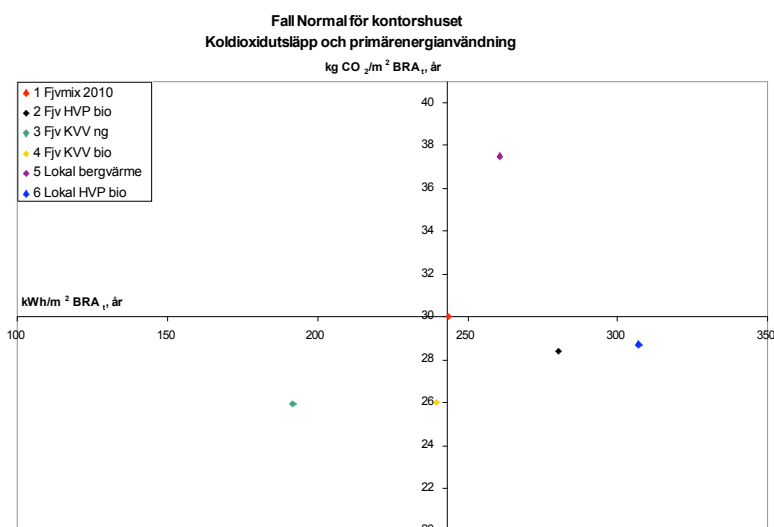
Genom att plotta de olika beräkningsfallens koldioxidutsläpp mot deras primärenergianvändning kan man visa hur de inbördes beräkningsfallen kan rangordnas ur resursanvändningsperspektiv. I Figur 62 till och med Figur 66 har sådana plottningar gjorts. Figur 62 innehåller en plottning av samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden som innefattar normalbyggnaden. I Figur 63 har motsvarande plottning gjorts för de beräkningsfall som innefattar energieffektiviserande åtgärder i kontorsbyggnaden. Figur 64 är en likadan plottning för de åtgärder som innefattar den studerade luftkylalösningen med variabelt luftflöde istället för kylbaffelkyla (VAV) med respektive utan energieffektiv belysning. I Figur 65 har motsvarande plottning gjorts för de beräkningsfall som har egen klimatkyla i kontorsbyggnaden. Slutligen har samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden plottats i Figur 66.

I de fem plottningarna har primärenergianvändning och koldioxidutsläpp för grundberäkningsfallet (byggnad utan åtgärder med energitillförsel med fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion) markerats som origo. Därmed bildas fyra rektanglar i varje figur som visar:

- Lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp (nedre vänstra rektangeln i figuren)
- Lägre primärenergianvändning och högre koldioxidutsläpp (övre vänstra rektangeln i figuren)
- Högre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp (nedre högra rektangeln i figuren)
- Högre primärenergianvändning och högre koldioxidutsläpp (övre högra rektangeln i figuren)

För de beräkningsfall som innefattar normalbyggnaden kan följande observationer göras (Figur 62):

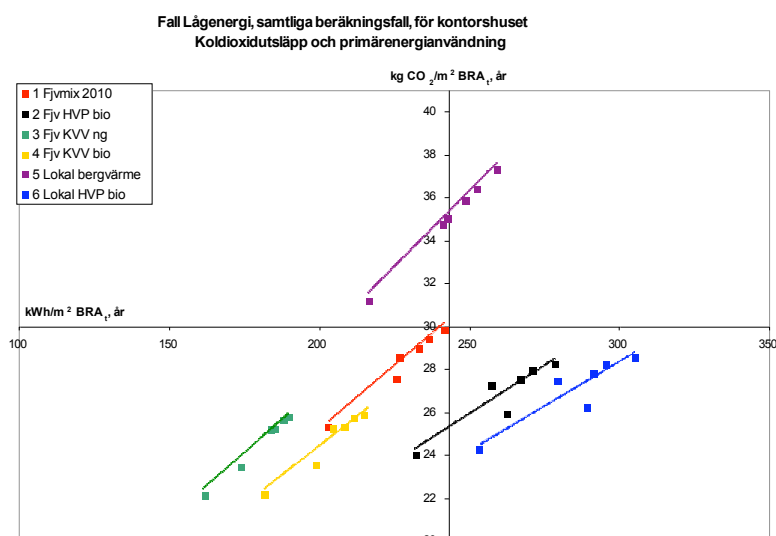
- Beräkningsfallet för kontorsbyggnaden med naturgas-kraftvärme (tillförselalternativ 3) ger både mycket lägre primärenergianvändning och mycket lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Beräkningsfallet för kontorsbyggnaden med biobränsle-kraftvärme (tillförselalternativ 4) ger både lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Både beräkningsfallet för kontorshuset i grundversion och fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna (tillförselalternativ 2) respektive lokal biobränsleeldning (tillförselalternativ 6) ger mycket högre primärenergianvändning men lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Beräkningsfall för grundbyggnaden för kontorsfallet och bergvärmepump (tillförselalternativ 5) ger både högre primärenergianvändning och mycket högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.



Figur 62: Plottning av koldioxidutsläpp mot primärenergianvändning för beräkningsfall normal för kontorshuset. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_i och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA_i och år på Y-axeln.

För de beräkningsfall som innefattar energieffektiviserande åtgärder i kontorshuset kan följande observationer göras (Figur 63):

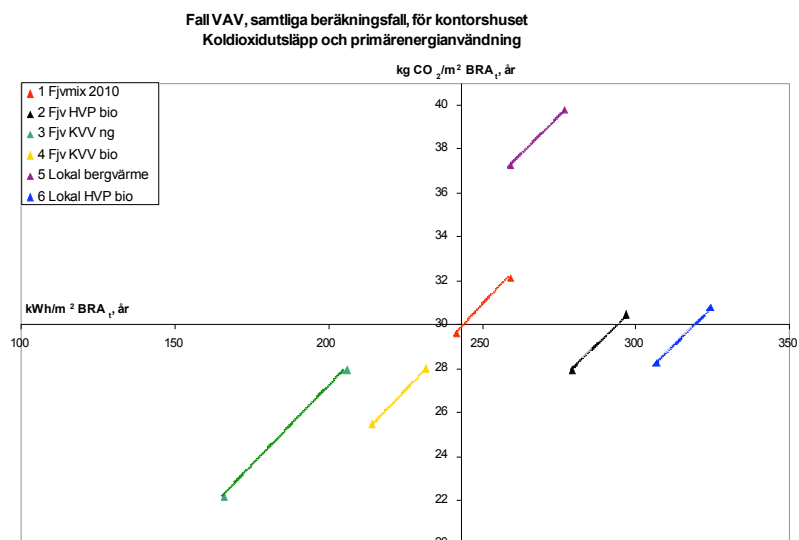
- Samtliga beräkningsfall för kontorshuset med kraftvärme (naturgas, tillförelsalternativ 3, och biobränsle, tillförelsalternativ 4) och energieffektiviserande åtgärder i byggnaden ger både mycket lägre primärenergianvändning och mycket lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för kontorshuset med fjärrvärmemix prognos för år 2010 (tillförelsalternativ 1) och energieffektiviserande åtgärder i byggnaden ger både lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall för kontorshuset med fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna (tillförelsalternativ 2) respektive lokal biobränsleeldning (tillförelsalternativ 6) och energieffektiviserande åtgärder i byggnaden ger högre primärenergianvändning men lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Beräkningsfall för kontorshuset med energieffektiviserande åtgärder och bergvärmepump (tillförelsalternativ 5) ger relativt oförändrad respektive något högre primärenergianvändning men mycket högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.



Figur 63: Plottning av koldioxidutsläpp mot primärenergianvändning för beräkningsfall lågenergi för kontorshuset. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t, år och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA_t, år och år.

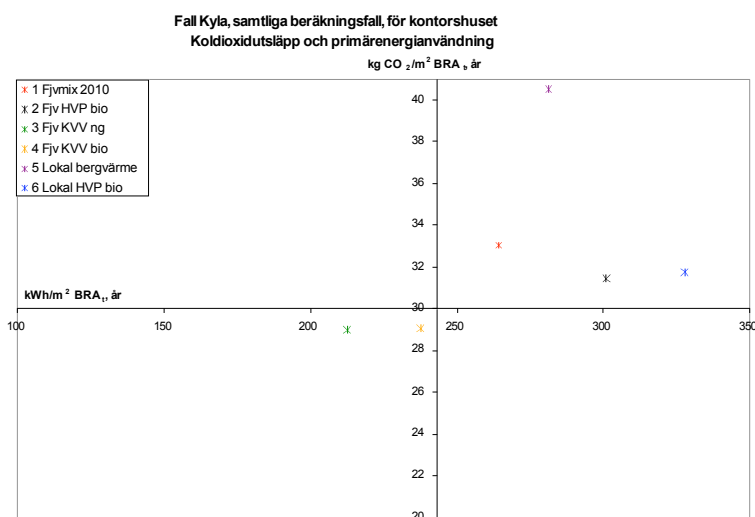
För de beräkningsfall som innefattar den studerade luftkylalösningen med variabelt luftflöde istället för kylbaffelkyla (VAV) med respektive utan energieffektiv belysning i kontorshuset kan följande observationer göras (Figur 64):

- VAV-lösningarna i kombination med naturgas-kraftvärme (tillförelsalternativ 3) ger både mycket lägre primärenergianvändning och mycket lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- VAV-lösningarna i kombination med biobränsle-kraftvärme (tillförelsalternativ 4) och kombinationen med energieffektiv belysning för fjärrvärmemix prognos för år 2010 (tillförelsalternativ 1) ger både lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga övriga beräkningsfall med VAV för kontorshuset ger högre primärenergianvändning och flera av dem ger dessutom högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.



Figur 64: Plottning av koldioxidutsläpp mot primärenergianvändning för beräkningsfall VAV för kontorshuset. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA_t och år på Y-axeln.

För de beräkningsfall som har egen klimatkyla i kontorshuset kan följande observationer göras (Figur 65):



Figur 65: Plottning av koldioxidutsläpp mot primärenergianvändning för beräkningsfall egen kyla för kontorshuset. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA_t och år på Y-axeln.

- Beräkningsfallet med egen klimatkyla för kontorsbyggnaden med kraftvärme (naturgasbaserad, tillförelalternativ 3, och biobränslebaserad, tillförelalternativ 4) ger både lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.
- Samtliga övriga beräkningsfall med egen klimatkyla för kontorsbyggnaden ger både mycket högre primärenergianvändning och mycket högre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet.

Samtliga ovan beskrivna observationer rörande förhållandet mellan koldioxidutsläpp och LCC-kostnad för beräkningsfallen för kontorsbyggnaden illustreras samlat i Figur 66.

De åtgärder och åtgärdscombinationer som samtidigt ger minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp innefattar huvudsakligen tillförelalternativ 1, 3 och 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme såväl naturgas som biobränslebaserad). För tillförelalternativen med kraftvärme (3 och 4) ger samtliga beräkningsfall en samtidig minskning av primärenergianvändning och koldioxidreduktion, medan för tillförelfall 1 är det endast de beräkningsfall som innefattar energieffektiverande åtgärder i byggnaden som leder till samtidig minskning av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp. De aktuella beräkningsfallen är plottade i den nedre vänstra rektangeln i Figur 66.

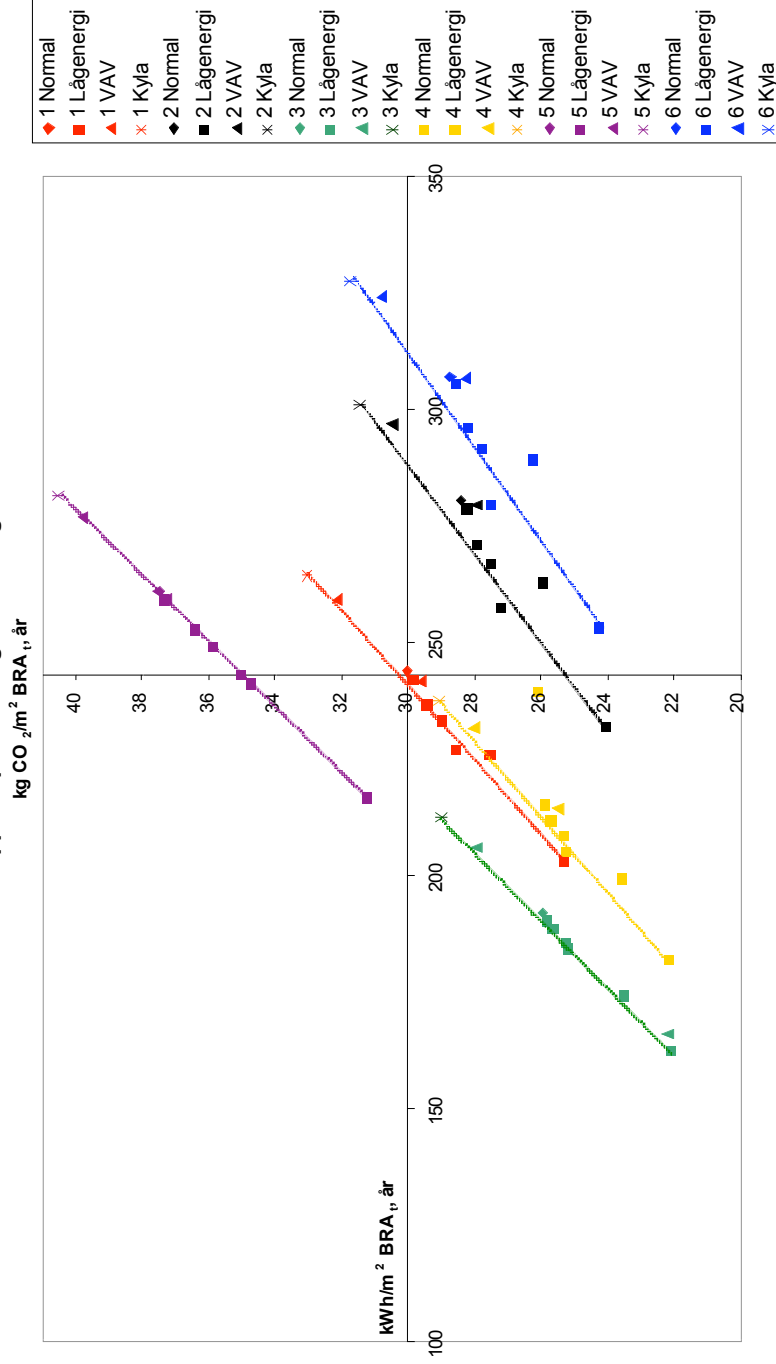
4.6.6 Kostnadseffektivitet för minskad miljöpåverkan för åtgärder

Den mest korrekta jämförelsen för kostnadseffektivitet baseras på livscykelkostnad. I denna rapport presenteras en analys av kostnadseffektivitet i förhållande till LCC_{energi} . LCC_{energi} -kostnaderna baseras på 5 % kalkylränta och 2 % årlig energiprisökning.

4.6.6.1 Kostnadseffektivitet för primärenergiminuskning och CO₂-reduktion i förhållande till LCC-kostnad

Genom att plotta de olika beräkningsfallens primärenergianvändning respektive koldioxidutsläpp mot skillnaden i livscykelkostnad kan man visa hur kostnadseffektiva de olika beräkningsfallen är ur resursanvändningsperspektiv. I Figur 67 till och med Figur 70 har sådana plottningar gjorts för primärenergianvändning och LCC-kostnad, och i Figur 71 till och med Figur 76 har motsvarande plottningar gjorts för CO₂-utsläpp och LCC-kostnad.

Fall Normal, Lågenergi, VAV och kyla, samtliga beräkningsfall, för kontorshuset
Koldioxidutsläpp och primärenergianvändning



Figur 66: Plottning av koldioxidutsläpp mot primärenergianvändning för samtliga beräkningsfall för kontorshuset. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_p och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA_p och år på Y-axeln.

För ett antal beräkningsfall, det vill säga åtgärder i byggnaden i kombination ändrad energitillförsel, fås en negativ livscykelkostnad per minskad primärenergianvändning eller koldioxidminskning. Det innebär att dessa beräkningsfall ger en samtidig kostnadsbesparing i form av minskad LCC-kostnad och minskad resursanvändning i form av minskad primärenergianvändning eller minskade koldioxidutsläpp.

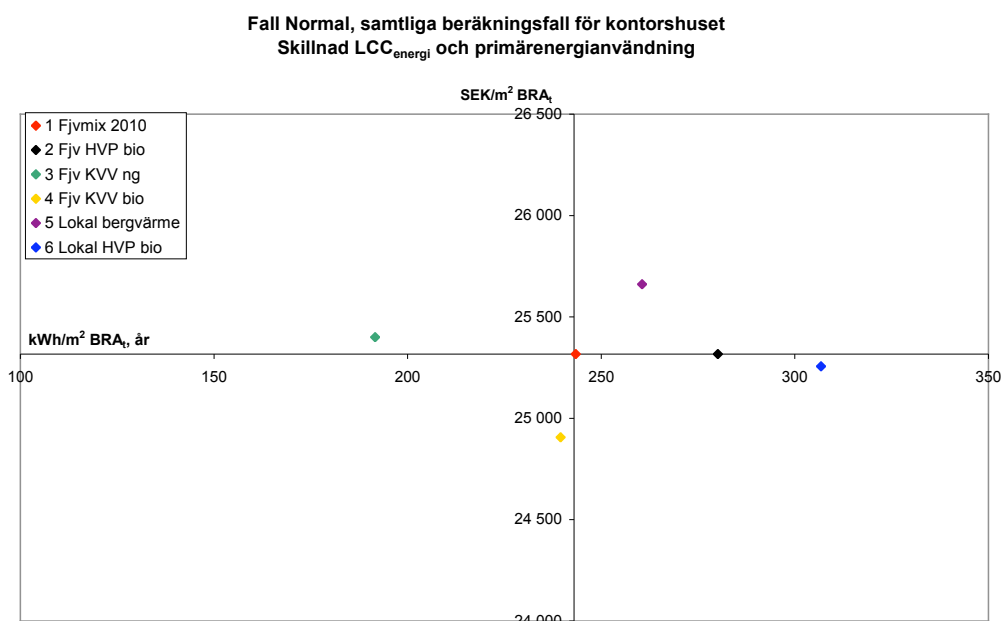
I plottningarna har primärenergianvändning respektive koldioxidutsläpp och LCC-kostnad för grundberäkningsfallet (grundversionen för kontorsbyggnaden utan åtgärder och energitillförselalternativ 1, fjärrvärme baserad på prognos för genomsnittlig mix år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion) markerats som origo. Därmed bildas fyra rektanglar i varje figur som visar:

- Lägre primärenergianvändning/koldioxidutsläpp och lägre LCC-kostnad (nedre vänstra rektangeln i figuren), det vill säga en besparing per kWh respektive $\text{kg/m}^2 \text{BRA}_t$ och år.
- Lägre primärenergianvändning/koldioxidutsläpp och högre LCC-kostnad (övre vänstra rektangeln i figuren), det vill säga en kostnad per kWh respektive $\text{kg/m}^2 \text{BRA}_t$ och år.
- Högre primärenergianvändning/koldioxidutsläpp och lägre LCC-kostnad (nedre högra rektangeln i figuren), det vill säga en besparing med samtidig ökning i kWh respektive $\text{kg/m}^2 \text{BRA}_t$ och år.
- Högre primärenergianvändning/koldioxidutsläpp och högre LCC-kostnad (övre högra rektangeln i figuren), de sämsta fallen av alla.

Primärenergianvändning i förhållande till LCC-kostnad

För de beräkningsfall som innefattar normalbyggnaden för olika tillförselalternativ kan följande observationer göras (Figur 67):

- Tillförselalternativ 4, biobränslebaserad kraftvärme, ger både lägre primärenergianvändning och mycket lägre total livscykelkostnad än grundberäkningsfallet med tillförselalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010).
- Tillförselalternativ 3, naturgasbaserad kraftvärme, ger mycket lägre primärenergianvändning men högre totala livscykelkostnader än grundberäkningsfallet med tillförselalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010).
- Tillförselalternativ 2, 5 och 6, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna, bergvärmepump respektive lokal biobränsleeldning, ger högre primärenergianvändning än grundberäkningsfallet med tillförselalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010). Tillförselalternativ 2 fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna ger samma livscykelkostnad, tillförselalternativ 6, lokal biobränsleeldning ger något lägre total livscykelkostnad, medan tillförselalternativ 5, bergvärmepump ger högre livscykelkostnad.



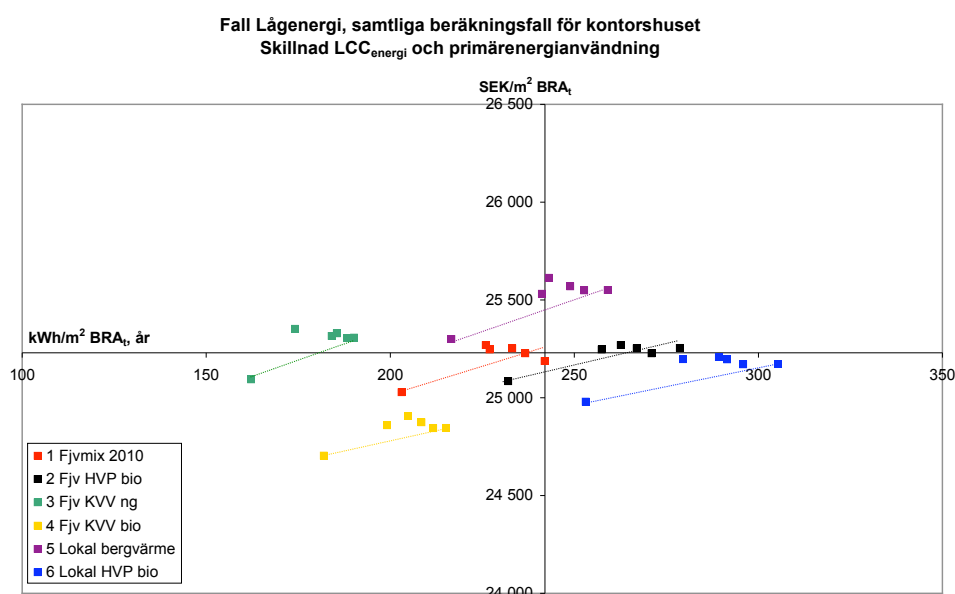
Figur 67: Plottning av primärenergianvändning mot LCC-kostnad för det normala beräkningsfallet för kontorshuset och olika tillförelalternativ. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln.

För de beräkningsfall som innefattar energieffektiviserande åtgärder i byggnaden kan följande observationer göras (Figur 68):

- Samtliga beräkningsfall med energieffektiviserande åtgärder i kontorshuset och biobränslebaserad kraftvärme (tillförelalternativ 4) ger både mycket lägre primärenergianvändning och lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet med tillförelalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010).
- Samtliga beräkningsfall med energieffektiviserande åtgärder i kontorshuset och naturgasbaserad kraftvärme (tillförelalternativ 3)³⁷ ger mycket lägre primärenergianvändning och oförändrad LCC-kostnad i jämförelse med grundberäkningsfallet med tillförelalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010).
- Samtliga beräkningsfall med energieffektiviserande åtgärder i kontorshuset och tillförelalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år

³⁷ Beräkningsfallet med samtliga energieffektiva åtgärder och tillförelalternativ 3 (naturgasbaserad kraftvärme) ger samtidigt mycket lägre primärenergianvändning och mycket lägre livscykelkostnad.

- 2010)³⁸ ger både något lägre primärenergianvändning och något lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Samtliga beräkningsfall med energieffektiviserande åtgärder i kontorsbyggnaden och fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna respektive lokal biobränsleeldning (tillförelalternativ 2 respektive 6)³⁹ ger mycket lägre primärenergianvändning och oförändrad LCC-kostnad i jämförelse med grundberäkningsfallet med tillförelalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010).
 - Merparten av beräkningsfallen med energieffektiviserande åtgärder i kontorsbyggnaden och tillförelalternativ 5 (bergvärmepump) ger något högre primärenergianvändning och högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.



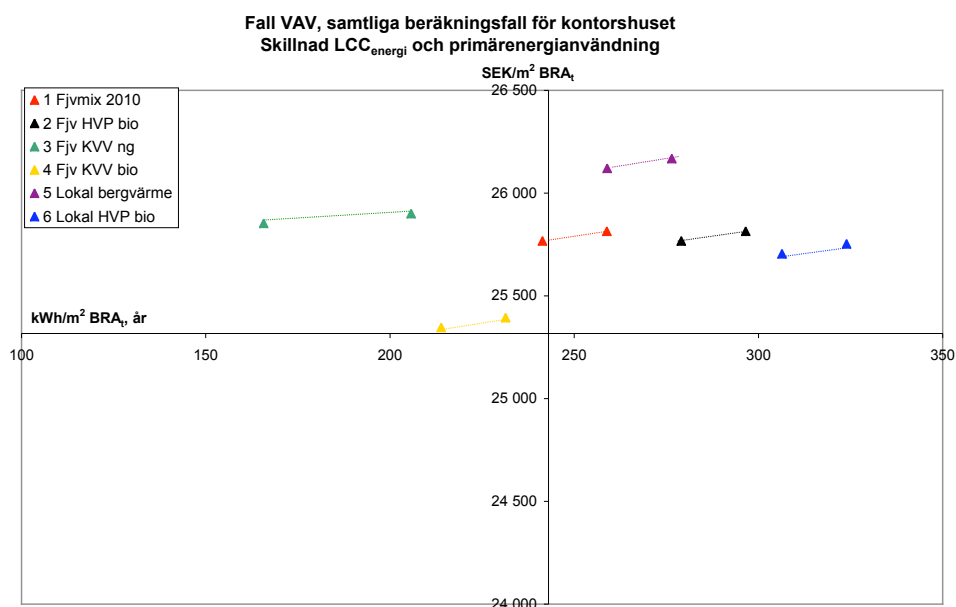
Figur 68: Plottning av primärenergianvändning mot LCC-kostnad för beräkningsfall för kontorshuset med energieffektiviserande åtgärder i byggnaden. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförelalternativ.

För de beräkningsfall för kontorshuset som innefattar variabelt luftflöde (VAV) kan följande observationer göras (Figur 69):

³⁸ Beräkningsfallet med samtliga energieffektiva åtgärder och tillförelalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010) ger samtidigt mycket lägre primärenergianvändning och mycket lägre livscykelkostnad.

³⁹ Beräkningsfallet med samtliga energieffektiva åtgärder och biohetvattenpanna (tillförelalternativ 2) ger samtidigt lägre primärenergianvändning och lägre livscykelkostnad.

- Samtliga beräkningsfall med fjärrvärme producerad med kraftvärme (tillförelalternativ 3 och 4) och beräkningsfallet VAV i kombination med energieffektiv belysning och fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 (tillförelalternativ 1) ger lägre primärenergianvändning men högre livscykelkostnad än grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden.
- Samtliga övriga beräkningsfall med VAV ger både mycket högre primärenergianvändning och högre livscykelkostnad än grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden.



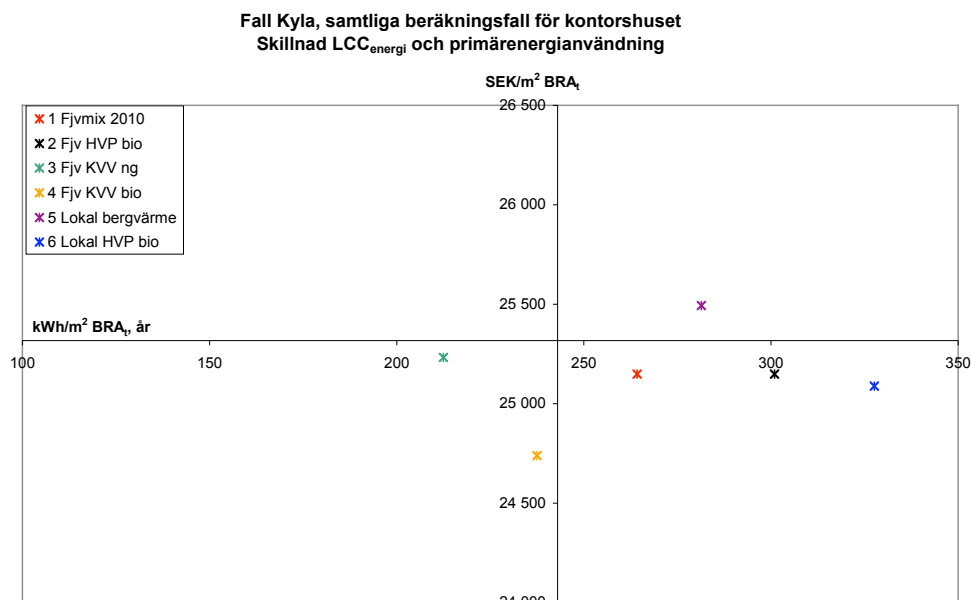
Figur 69: Plottning av primärenergianvändning mot LCC-kostnad för kontorshuset i beräkningsfallen med VAV i byggnaden. Primärenergianvändningen uttrycks i $\text{kWh/m}^2 \text{BRA}_t$ och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i $\text{SEK/m}^2 \text{BRA}_t$ på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförelalternativ.

För de beräkningsfall för kontorshuset som innefattar egen kylmaskin i byggnaden kan följande observationer göras (Figur 70):

- Två beräkningsfall, de båda fallen med fjärrvärme producerad med kraftvärme (tillförelalternativ 3 och 4) med egen kylmaskin ger både lägre primärenergianvändning och lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet med tillförelalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010).
- Tre beräkningsfall, 1, 2 respektive 6 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna respektive lokal biobränsleledning) med egen kylmaskin ger högre primärenergianvänd-

ning men lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet med tillförelalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010).

- Tillförelalternativ 5, bergvärmepump, ger både högre primärenergi-användning och högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.



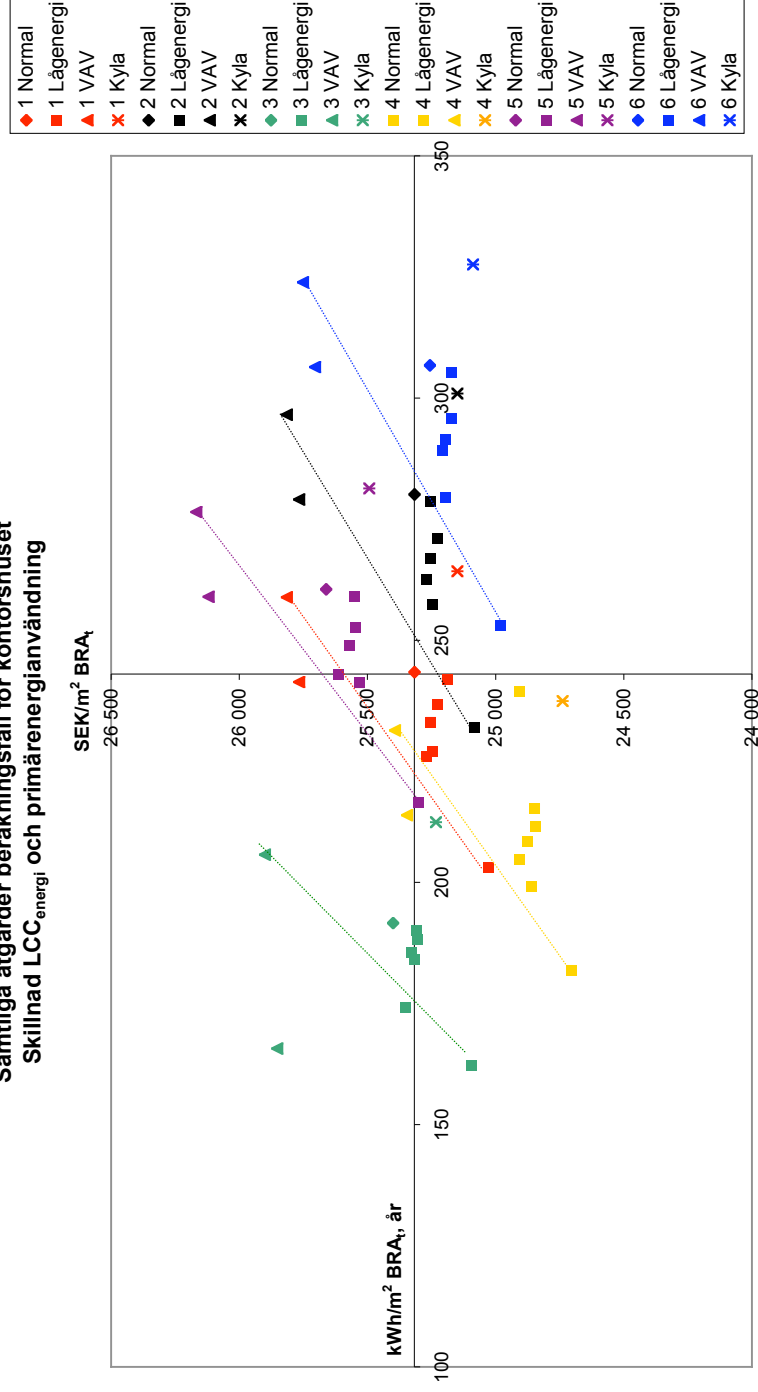
Figur 70: Plottning av primärenergi användning mot LCC-kostnad för beräkningsfallen med egen kyla i kontorsbyggnaden. Primärenergi användningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln.

Samtliga ovan beskrivna observationer för beräkningsfallen för kontorsbyggnaden illustreras samlat i Figur 71.

De åtgärder och åtgärds kombinationer i kontorsbyggnaden som samtidigt ger en minskad primärenergi användning och minskade LCC-kostnader innefattar huvudsakligen tillförelalternativ 1 och 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle), och beräkningsfall i kombination med minskad elanvändning. Dessa beräkningsfall innebär en kostnadsbesparing per kWh primärenergi per m² BRA_t och år. De aktuella beräkningsfallen är plottade i den nedre vänstra rektangeln i Figur 71.

En rad beräkningsfall baserat på tillförelalternativ 1 och 3 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas) ger väsentligt minskad primärenergi användning vid samma eller något högre LCC-kostnad än i grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden. Dessa beräkningsfall, som innebär en kostnad per kWh/m² och år, återfinns på

Samtliga åtgärder beräkningsfall för kontorshuset
Skillnad LCC_{energi} och primärenergianvändning



Figur 71: Plottning av primärenergianvändning mot LCC-kostnad för samtliga beräkningsfall i kontorsbyggnaden. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_i och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_i på Y-axeln.

1 = Fjvmix prognos 2010; 2 = Fjv biotvattenpanna; 3 = Fjv naturgas-kraftvärme;
4 = Fjv bibränsle-kraftvärme; 5 = Bergvärmepump; 6 = Lokal biobränsleledning

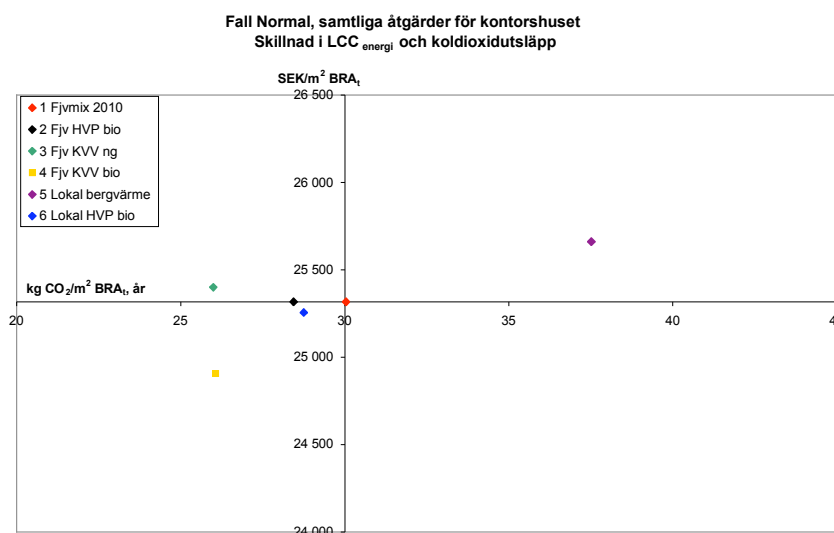
gränsen mellan den undre och övre rektangeln respektive i den övre vänstra rektangeln i Figur 71.

I samtliga tillförselalternativ är det åtgärds-kombinationen med minskad elanvändning med samtliga energieffektiva åtgärder som ger de överlägset bästa värdena ur resurshänseende.

Koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad

För de beräkningsfall som innefattar normalbyggnaden för kontor och olika tillförselalternativ kan följande observationer göras (Figur 72) med avseende på koldioxidutsläpp och livscykelkostnad:

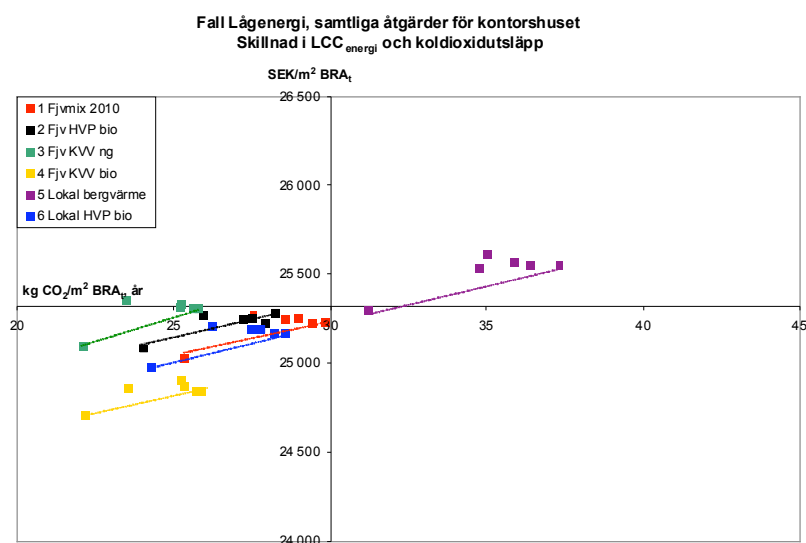
- Samtliga beräkningsfall i grundversionen av kontorsbyggnaden i kombination med annat energitillförselalternativ, utom tillförselalternativ 5 (bergvärmepump), ger lägre koldioxidutsläpp än tillförselalternativ 1 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010).
- Tillförselalternativ 4 och 6 (biobränsle-kraftvärme respektive lokal biobränsleeldning) för kontorsbyggnad utan åtgärd ger lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Tillförselalternativ 2 (fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna) för kontorsbyggnad utan åtgärd ger samma LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.
- Tillförselalternativ 3 och 5 (naturgas-kraftvärme respektive bergvärmepump) för kontorsbyggnad utan åtgärd ger högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.



Figur 72: Plottning av koldioxidutsläpp mot LCC-kostnad för det normala beräkningsfallet för kontorsbyggnaden och olika tillförselalternativ. Koldioxidutsläppet uttrycks i kg/m² BRA₁ och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA₁ på Y-axeln.

För de beräkningsfall som innefattar energieffektiviserande åtgärder i kontorsbyggnaden kan följande observationer göras (Figur 73) med avseende på koldioxidutsläpp och livscykelkostnad:

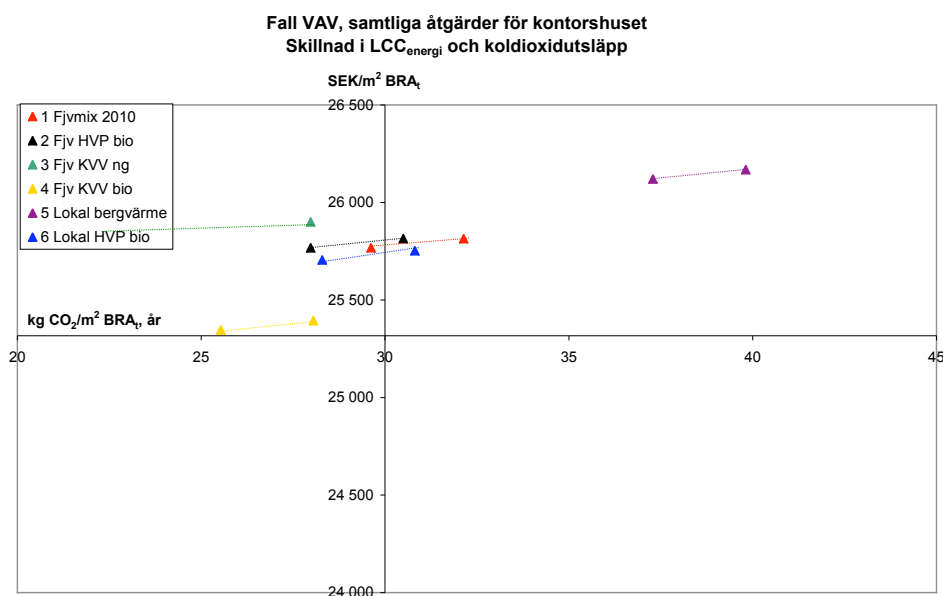
- Samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden med fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme (tillförelalternativ 4) leder till både mycket lägre koldioxidutsläpp och mycket lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet med fjärrvärme producerad enligt prognos för genomsnittlig mix år 2010 (tillförelalternativ 1).
- Samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden med fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna respektive lokal biobränsleeldning (tillförelalternativ 2 respektive 6) leder till både lägre koldioxidutsläpp och lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden med fjärrvärme producerad enligt prognos för genomsnittlig mix år 2010 (tillförelalternativ 1). Detsamma gäller för flertalet beräkningsfall med energieffektiviserande åtgärder utan byte av tillförelalternativ för kontorsbyggnaden.
- Samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden med fjärrvärme producerad med naturgasbaserad kraftvärme (tillförelalternativ 3) leder till mycket lägre koldioxidutsläpp och ungefär samma LCC-kostnad som grundberäkningsfallet med fjärrvärme producerad enligt prognos för genomsnittlig mix år 2010 (tillförelalternativ 1).
- Beräkningsfallen för kontorsbyggnaden med bergvärmepump (tillförelalternativ 5) leder till både mycket högre koldioxidutsläpp och högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet med fjärrvärme producerad enligt prognos för genomsnittlig mix år 2010 (tillförelalternativ 1).
- För samtliga tillförelalternativ gäller att det är mycket fördelaktigt att minska elanvändningen i kontorsbyggnaden, de bästa beräkningsfallen är för samtliga tillförelalternativ de fall som innefattar samtliga effektiviseringsåtgärder i byggnaden.



Figur 73: Plotting av koldioxidutsläpp mot LCC-kostnad för beräkningsfall för kontorsbyggnaden med energieffektiviserande åtgärder i byggnaden. Koldioxidutsläppet uttrycks i kg/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförelalternativ.

För de beräkningsfall som innefattar variabelt luftflöde (VAV) i kontorsbyggnaden kan följande observationer göras (Figur 74) med avseende på koldioxidutsläpp och livscykelkostnad:

- Samtliga beräkningsfall med variabelt luftflöde (såväl med som utan kombination med energieffektiv belysning) för kontorsbyggnaden leder till högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet med fjärrvärme producerad enligt prognos för genomsnittlig mix år 2010 (tillförelalternativ 1).
- Beräkningsfallen med VAV, med respektive utan energieffektiv belysning, och fjärrvärme producerad med kraftvärme (tillförelalternativ 3 och 4) leder till lägre koldioxidutsläpp än grundberäkningsfallet med fjärrvärme producerad enligt prognos för genomsnittlig mix år 2010 (tillförelalternativ 1). Detsamma gäller för beräkningsfallen med VAV i kombination med energieffektiv belysning för tillförelalternativ 1, 2 och 6.
- Beräkningsfallen med VAV utan energieffektiv belysning för tillförelalternativ 1, 2 och 6 och de båda fallen med tillförelalternativ 5 (bergvärmepump) leder till både högre koldioxidutsläpp och högre livscykelkostnad än grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden.

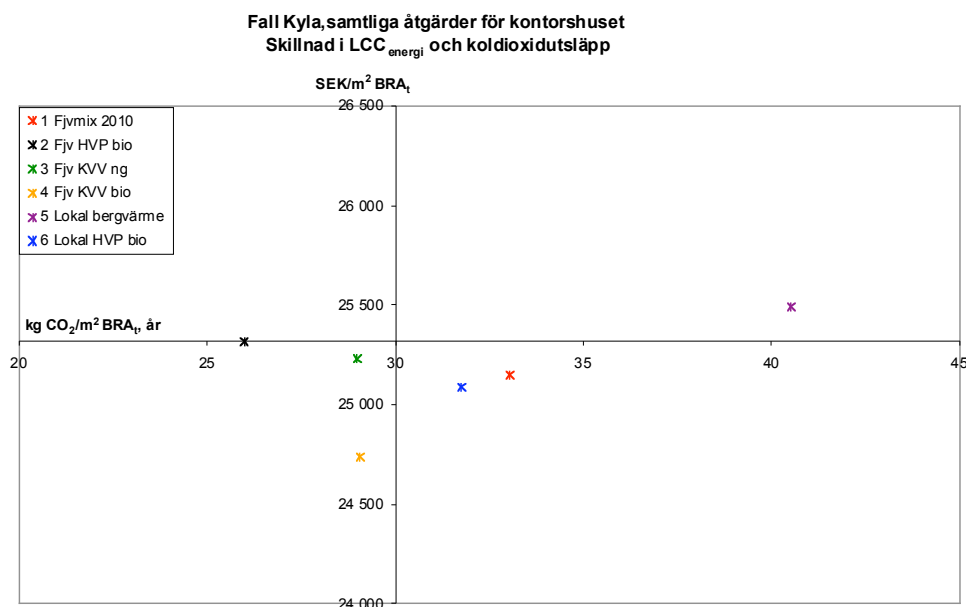


Figur 74: Plottning av koldioxidutsläpp mot LCC-kostnad för kontorsbyggnaden i beräkningsfallen med VAV i byggnaden. Koldioxidutsläppet uttrycks i kg/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln. De färgade linjerna i figuren binder samman de olika beräkningsfallen för respektive tillförselalternativ.

För de beräkningsfall för kontorshuset som innefattar egen kylmaskin i byggnaden kan följande observationer göras (Figur 74) med avseende på koldioxidutsläpp och livscykelkostnad:

- Två beräkningsfall, de båda fallen med fjärrvärme producerad med kraftvärme (tillförselalternativ 3 och 4) med egen kylmaskin ger både något lägre koldioxidutsläpp och lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden med tillförselalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010).
- Ett beräkningsfall, tillförselalternativ 2 (fjärrvärme producerad med biobehetvattenpanna) med egen kylmaskin ger mycket lägre koldioxidutsläpp och oförändrad LCC-kostnad i förhållande till grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden med tillförselalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010).
- Två beräkningsfall, tillförselalternativ 1 respektive 6 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och lokal biobränsleeldning) med egen kylmaskin ger högre koldioxidutsläpp men lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden med tillförselalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010).

- Tillförelalternativ 5, bergvärmepump, ger både mycket högre koldioxidutsläpp och högre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.



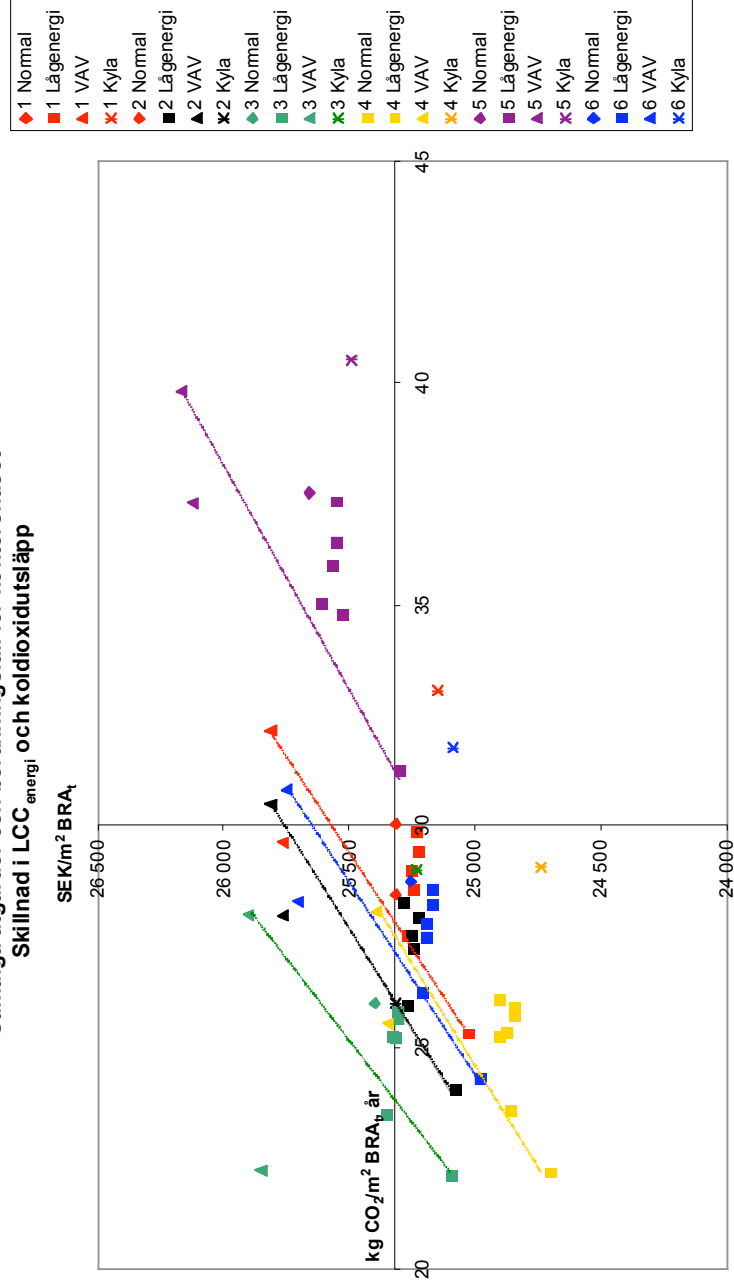
Figur 75: Plottning av koldioxidutsläpp mot LCC-kostnad för beräkningsfallen med egen kyla i kontorsbyggnaden. Koldioxidutsläppet uttrycks i kg/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln.

Samtliga ovan beskrivna observationer för beräkningsfallen för kontorsbyggnaden avseende koldioxidutsläpp och livscykelkostnad illustreras samlat i Figur 76.

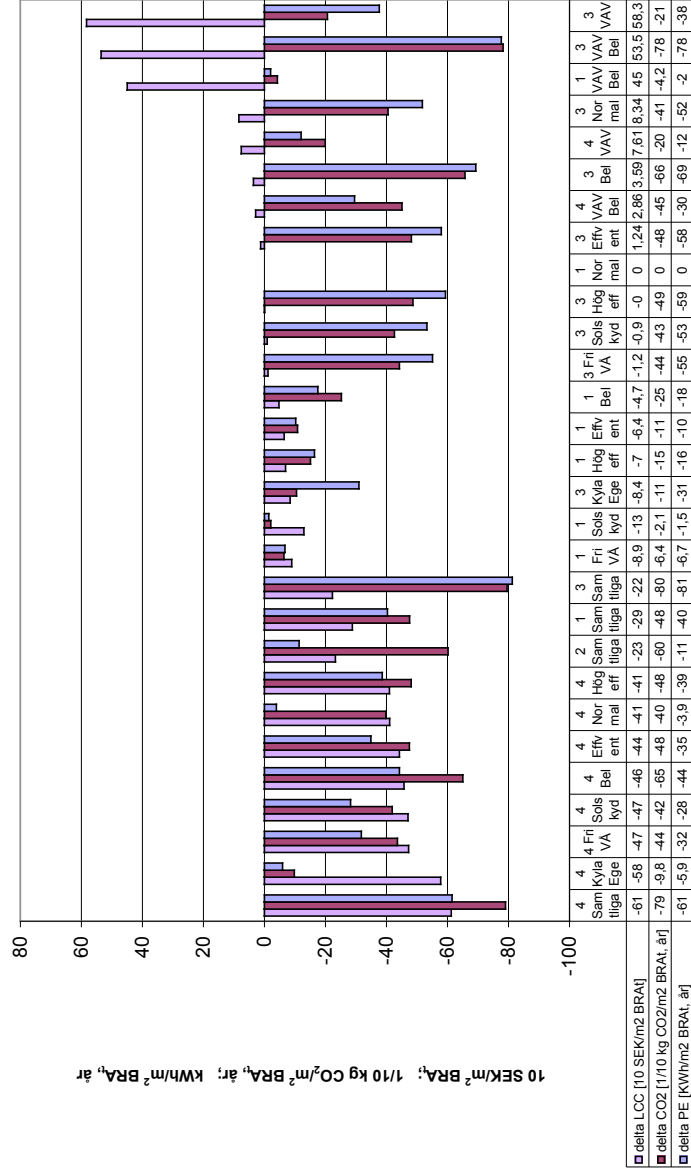
De åtgärder och åtgärdscombinationer som samtidigt ger minskade koldioxidutsläpp och minskad LCC-kostnad innefattar huvudsakligen beräkningsfall i kombination med tillförelalternativ 1, 2 och 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna respektive fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle) **och** minskad elanvändning. Dessa beräkningsfall innebär en kostnadsbesparing per minskat kg koldioxid/m² BRA_t och år. De aktuella beräkningsfallen är plottade i den nedre vänstra rektangeln i Figur 76.

En rad beräkningsfall baserat på tillförelalternativ 1 och 3 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas) ger väsentligt minskade koldioxidutsläpp vid samma eller något lägre LCC-kostnad än i grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden. Dessa beräkningsfall, som innebär en kostnadsneutral minskning av koldioxidutsläppet per kWh/m² och år, återfinns på gränsen mellan den undre och övre vänstra rektangeln respektive i den övre vänstra rektangeln i Figur 71.

Samtliga åtgärder och beräkningsfall för kontorshuset
Skiltnad i LCC_{energi} och koldioxidutsläpp



Figur 76: Plottning av koldioxidutsläpp mot LCC-kostnad för samtliga beräkningsfall i kontorshuset. Koldioxidutsläppen uttrycks i kg/m² BRA_t och år på X-axeln och LCC-kostnaden uttrycks i SEK/m² BRA_t på Y-axeln.



Figur 77: Samtidig redovisning av skillnad i primärenergianvändning, skillnad i koldioxidutsläpp och skillnad i LCC_{energi}-kostnad för olika beräkningsfall för kontorsbyggnaden (åtgärder i byggnaden och/eller byte av energitillförsel) i förhållande till grundberäkningsfallet. Endast sådana beräkningsfall som genererar både minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp har tagits med i figuren. Beräkningsfallen är rangordnade efter ökande LCC-kostnad. De första 20 beräkningsfallen från vänster ger en lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet.

Observera att skalan för skillnad i CO₂-utsläpp är i tiondels kg/m² BRA₁ och år och att skalan för skillnad i LCC_{energi}-kostnad är i tiotal SEK för att kunna visa samtliga tre parametrar i ett diagram.

I samtliga tillförselfall är det åtgärdscombinationen med minskad elanvändning som ger de överlägset bästa värdena ur resurshänseende.

Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad
Vid en samtidig jämförelse mellan primärenergianvändning, koldioxidutsläpp och LCC-kostnad visar det sig att de bästa beräkningsfallen avseende kombinationer som innefattar både stor minskning av primärenergianvändningen, stor sänkning av koldioxidutsläppen och lägre LCC-kostnad innefattar åtgärder som minskar elanvändningen. För kontorsbyggnaden är de bästa beräkningsfallen de fall som innefattar samtliga energieffektiviserande åtgärder. Allra bäst är minskad elanvändning i kombination med fjärrvärme producerad med kraftvärme (tillförselalternativ 3 och 4). Därefter följer kombinationerna energieffektiv belysning tillsammans med biobränsle-kraftvärme och samtliga energieffektiviserande åtgärder i byggnaden tillsammans med fjärrvärme producerad med biotvattenpanna.

Övriga beräkningsfall som kombinerar åtgärder med minskad elanvändning och biobränsle-kraftvärme samt kombinationen samtliga energieffektiviserande åtgärder i byggnaden och tillförselalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010) är också både mycket kostnadseffektiva och mycket fördelaktiga ur resursanvändningssynpunkt (såväl primärenergianvändning som koldioxidutsläpp). Samtliga dessa beräkningsfall leder till en kostnadsbesparing i form av minskad LCC-kostnad samtidigt som en stor minskad miljöpåverkan erhålls.

Samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden som leder till både minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp illustreras tillsammans med skillnader i livscykelkostnad i Figur 77.

4.6.6.2 Kostnadseffektivitet för primärenergiminskning och CO₂-reduktion i förhållande till investering

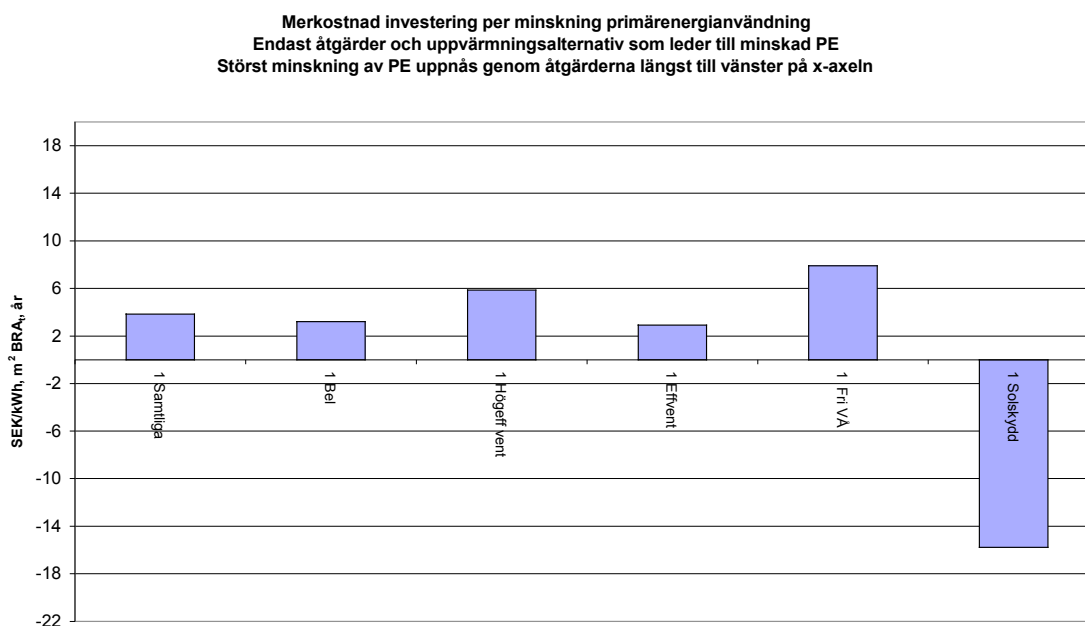
Den mest korrekta jämförelsen för kostnadseffektivitet baseras på livscykelkostnad. I denna rapport presenteras en analys av kostnadseffektivitet i förhållande till LCC_{energi}. Men val av åtgärder sker i praktiken ofta baserat på investeringen. En rättvisande jämförelse mellan investeringar i energiproduktionsanläggningar och investeringar i byggnader är emellertid mycket svår att göra. I denna rapport presenteras endast en begränsad analys av kostnadseffektiviteten i relation till investeringen.

Primärenergianvändning i förhållande till investering

En rad åtgärder ger beräkningsfall som leder till minskad primärenergianvändning. För dessa har en merkostnad per minskad primärenergianvändning beräknats. Resultatet av detta redovisas i Figur 78 (rangordnade efter beräknings-

fall⁴⁰). Observera att analysen av kostnadseffektivitet i förhållande till investering bygger endast på tillförsellfall 1 (fjärrvärme producerad enligt prognos för mix år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion).

Av de åtgärder som analyserats i denna studie fås de största minskningarna i primärenergianvändning i kontorsbyggnaden om samtliga energieffektiviserande åtgärder genomförs i byggnaden. Därefter följer energieffektiv belysning och högeffektiv ventilation.



Figur 78: Merkostnad (investering) per minskad primärenergianvändning för den analyserade kontorsbyggnaden för de beräkningsfall som leder till minskad primärenergianvändning. Merkostnaden uttrycks i SEK/kWh primärenergi per m² BRA_t. Beräkningsfallen är rangordnade efter minskad primärenergianvändning i figuren.

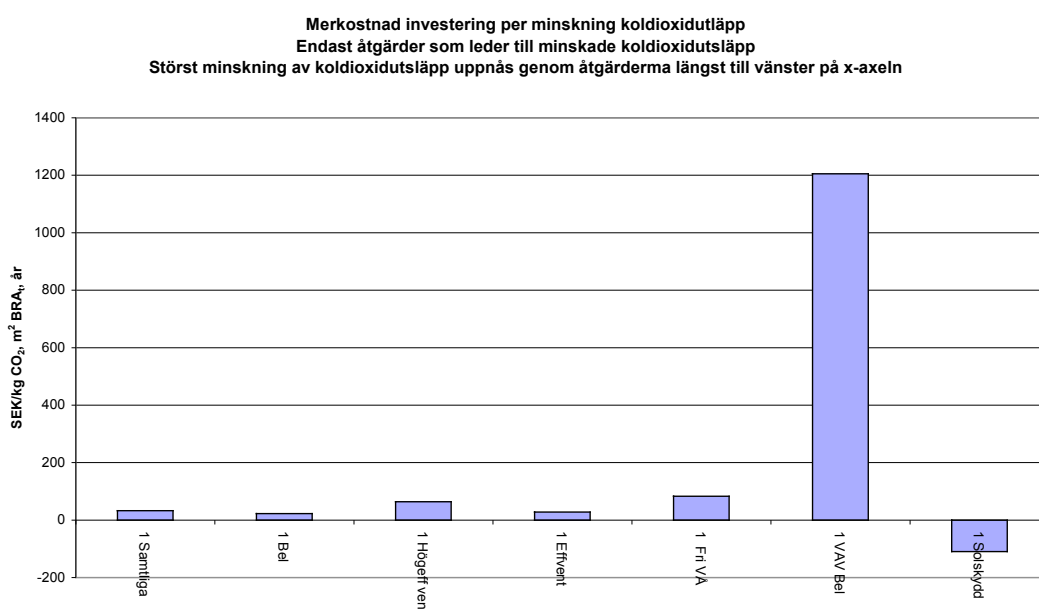
Den ur investeringsperspektiv mest kostnadseffektiva åtgärden är att installera solskydd. Denna åtgärd innebär faktiskt en minskning i investering med cirka 15 SEK per kilowattimme primärenergi och kvadratmeter BRA_t per år. Därefter följer åtgärder som innefattar energieffektiv ventilation, energieffektiv belysning respektive samtliga energieffektiviserande åtgärder. Merkostnaden i investering för dessa åtgärder har beräknats uppgå till mellan 3,2 och 4,3 SEK/kWh primärenergi. Därefter följer högeffektiv ventilation och frikyla, dessa åtgärder har en beräknad merkostnad mellan 6,5 och 7,9 SEK/kWh primärenergi.

⁴⁰ De beräkningsfall som leder till ökad primärenergianvändning ingår inte i beskrivningen i detta avsnitt.

Koldioxidutsläpp i förhållande till investering⁴¹

En rad åtgärder i kontorsbyggnaden ger beräkningsfall som ger minskade koldioxidutsläpp. För dessa har en merkostnad per minskade koldioxidutsläpp beräknats. Resultatet av detta redovisas i Figur 79, rangordnade efter storleken på koldioxidminskningen.

Av de åtgärder som analyserats i denna studie fås de största minskningarna i koldioxidutsläpp för samtliga energieffektiverande åtgärder, energieffektiv belysning och högeffektiv ventilation. Därefter följer energieffektiv ventilation och frikyla.



Figur 79: Merkostnad (investering) per minskade koldioxidutsläpp för den analyserade kontorsbyggnaden för de beräkningsfall som leder till minskade koldioxidutsläpp. Merkostnaden uttrycks i SEK/kg primärenergi per m² BRA_t. Beräkningsfallen är rangordnade efter minskad primärenergianvändning i figuren.

Kostnadseffektiviteten i förhållande till investeringen för de åtgärder som analyserats är för koldioxidutsläpp liksom för primärenergianvändning i kontorsbyggnaden bäst för solskydd, med en minskad investering på cirka 100 SEK per kg minskat koldioxidutsläpp, kvadratmeter BRA_t och år. Därefter följer energieffektiv belysning, energieffektiv ventilation respektive samtliga energieffektiverande åtgärder. Merkostnaden i investering för dessa åtgärder har beräknats uppgå till mellan 3,3 och 4,3 SEK/kg CO₂ per m² BRA_t och år. Därefter följer högeffektiv ventilation och frikyla med en beräknad merkostnad i investering på 71 respektive 83 SEK/kg CO₂ per m² BRA_t och år. Även beräkningsfallet

⁴¹ Denna jämförelse är begränsad eftersom investeringar i infrastruktur inte enkelt låter sig göras med investeringar i enskilda flerbostadshus. En utökad sådan analys är intressant att bearbeta vidare i ett fortsatt arbete.

med variabelt luftflöde i kombination med energieffektiv belysning leder till minskade koldioxidutsläpp, men här är merkostnaden mycket hög, nästan 1.400 SEK/kg CO₂ per m² BRA_t och år.

Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp i förhållande till investering
Några enklare slutsatser som dras från denna studie är att de ur investeringsperspektiv och sett från kontorsbyggnadens användares horisont mest kostnadseffektiva åtgärderna vid samtidigt betraktande av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp är:

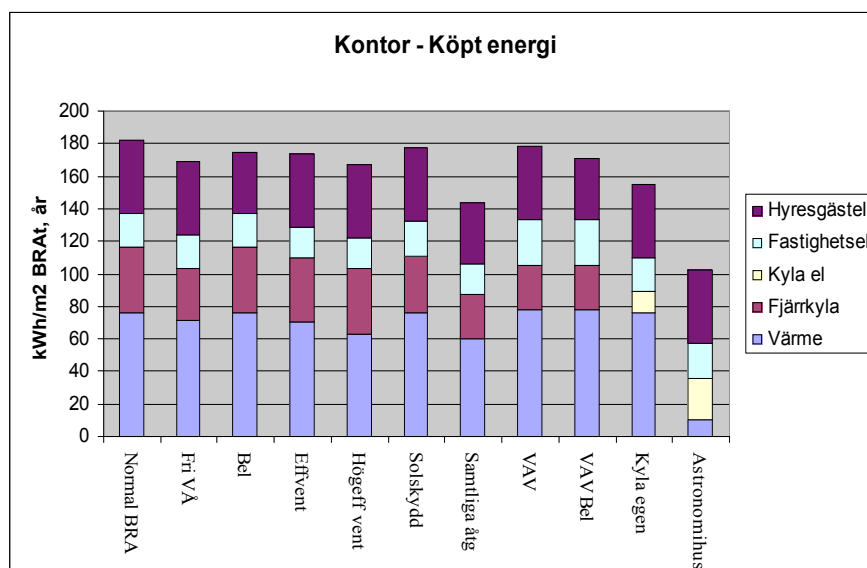
- Samtliga eleffektiviseringsåtgärder, ensamma eller i kombination, är mycket fördelaktiga.
- Frikyla är också en åtgärd för minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp med god kostnadseffektivitet.
- Solskyddsglas leder till god kostnadseffektivitet med avseende på minskade koldioxidutsläpp, men något sämre kostnadseffektivitet med avseende på primärenergianvändning.

4.7 Jämförelse med en känd energieffektiv kontorsbyggnad

Inom det här projektet har även en jämförelse med en känd byggnad gjorts avseende köpt energi, primärenergianvändning och koldioxidutsläpp. Denna byggnad är det så kallade Astronomihuset i Lund.

4.7.1 Köpt energi

I denna jämförelse har den verkliga användningen av energi för värme och klimatkyla använts för Astronomihuset i Lund. Till detta har lagts samma antagande om hyresgästel och fastighetsel som används i analysen i övrigt. Detta ger Astronomihuset en total köpt energi på 102 kWh/m² BRA_t och år medan den köpta energin för den kontorsbyggnad som analyserats i denna studie uppgår till 182 kWh/m² BRA_t och år. I det beräkningsfall som ger lägst köpt energi för den kontorsbyggnad som analyserats i denna studie är det beräknade behovet av köpt energi 144 kWh/m² BRA_t och år.



Figur 80: Köpt energi för ett antal beräkningsfall för den kontorsbyggnad som analyseras i denna studie samt Astronomihuset i Lund.

Den köpta energin är således cirka 80 % högre för den här analyserade kontorsbyggnaden i grundversionen jämfört med Astronomihuset, och cirka 40 % högre än det beräkningsfall som ger lägst behov av köpt energi. Den köpta energin redovisas i Figur 80 och Tabell 5.

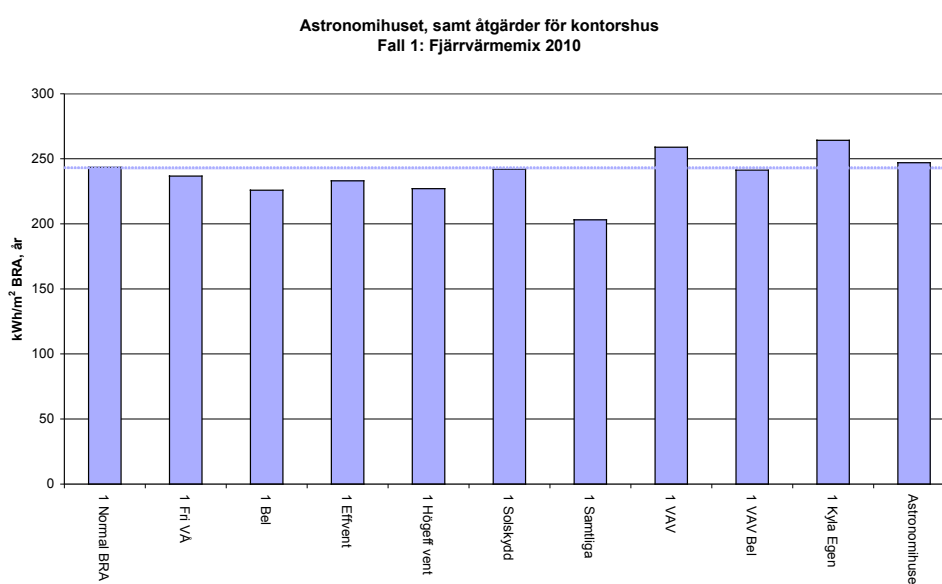
Tabell 5: Köpt energi för ett antal beräkningsfall för den kontorsbyggnad som analyseras i denna studie samt Astronomihuset i Lund.

	Normal BRA	Fri VÅ	Bel	Eff-vent	Högeff vent	Solskydd	Samtliga åtg	VAV	VAV Bel	Kyla egen	Astronomihuset
Värme	76	71	76	70	63	76	60	78	78	76	10
Fjärrkyla	40	32	40	40	40	35	27	27	27		
Kyla el										13	26
Fastighetsel	21	21	21	19	19	21	19	28	28	21	21
Hyresgästel	45	45	38	45	45	45	38	45	38	45	45
Summa	182	169	175	174	167	177	144	178	171	155	102

4.7.2 Primärenergianvändning

Primärenergianvändningen för den kontorsbyggnad som analyseras i denna studie är 240 kWh/m² BRA_t och år i grundberäkningsfallet och i det beräkningsfall med åtgärder som ger lägst primärenergianvändning är den 203 kWh/m² BRA_t och år med tillförelsalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion). Med samma förutsättningar

för energitillförseln ger det Astronomihuset en primärenergianvändning på 247 kWh/m² BRA_t och år. Det vill säga Astronomihuset och grundversionen av den kontorsbyggnad som studerats i denna studie leder till ungefär lika stor primärenergianvändning. Vid en jämförelse mellan Astronomihuset och beräkningsfallet med samtliga energieffektiviserande åtgärder i denna studies kontorsbyggnad faller jämförelsen ut till denna studies fördel. Astronomihusets primärenergianvändning är då drygt 20 % högre än kontorsbyggnaden i denna studie. Jämförelsen mellan primärenergianvändningen i ett antal beräkningsfall för den kontorsbyggnad som analyseras i denna studie och i Astronomihuset visas i Figur 81.



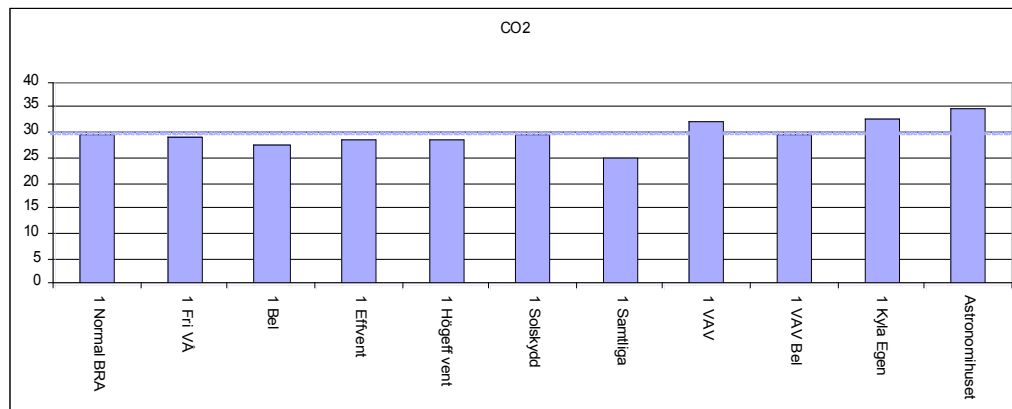
Figur 81: Primärenergianvändning för ett antal beräkningsfall för den kontorsbyggnad som analyseras i denna studie samt Astronomihuset i Lund.

4.7.3 Koldioxidutsläpp

En jämförelse av beräkningar av koldioxidutsläpp för den kontorsbyggnad som analyseras i denna studie och Astronomihuset visar på 30 kg CO₂/m² BRA_t och år i grundberäkningsfallet, och i det beräkningsfallet med samtliga energieffektiviserande åtgärder i kontorsbyggnaden är den 26 kg CO₂/m² BRA_t och år med tillförselalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion). Med samma förutsättningar för energitillförseln ger det Astronomihuset ett beräknat koldioxidutsläpp på 35 kg CO₂/m² BRA_t och år.

Det innebär att det beräknade koldioxidutsläppet är cirka 17 % högre för Astronomihuset än grundversionen av den kontorsbyggnad som analyserats i denna studie. Vid en jämförelse mellan Astronomihuset och beräkningsfallet med

samtliga energieffektiviserande åtgärder i denna studies kontorsbyggnad är Astronomihusets beräknade koldioxidutsläpp 35 % högre än kontorsbyggnaden i denna studie. Jämförelsen mellan koldioxidutsläpp för ett antal beräkningsfall för den kontorsbyggnad som analyseras i denna studie och för Astronomihuset visas i Figur 82.



Figur 82: Koldioxidutsläpp för ett antal beräkningsfall för den kontorsbyggnad som analyseras i denna studie samt Astronomihuset i Lund.

5 Parameterstudier och känslighetsanalys

5.1 Val av annan allokeringprincip för kraftvärme

5.1.1 Primärenergimetoden

Anledningen till att primärenergimetoden har valts som allokeringss metod för primärenergi- och koldioxidutsläpp för fjärrvärme från kraftvärmeproduktion är att metoden finns i de kommande europeiska CEN-standarderna för byggnaders energideklarationer. Dessa standarder är nu tillgängliga i preliminära versioner och ska enligt planerna fastställas under 2006-2007. CEN-standarderna skall tillämpas i hela EU vid upprättandet av energideklarationer för byggnader. Därför har tillämpning av denna metod valts i denna studie. Arbetsgruppens bedömning är också att primärenergimetoden bäst speglar den verkliga förändringen av energieffektivisering i hela energisystemet på årsbasis. Primärenergimetoden innebär att fjärrvärme producerad i effektiv kraftvärmeproduktion med hög elverkningsgrad, särskilt kraftvärme från gaskombiproduktion, får en mycket låg primärenergianvändning och även låga koldioxidutsläpp. Detta beror på att denna typ av produktion är mycket mer energieffektiv än den genomsnittliga elmixen i Europa, och därmed minskar andelen ineffektiv, kondensproducerad el i det europeiska elsystemet.

5.1.2 Alternativmetoden

Alternativproduktionsmetoden är en platspecifik metod att allokera energi och utsläpp från en produktionsanläggning. Metoden tillämpas inom EU i det så kallade kraftvärmedirektivet samt i vissa miljöbedömningar. Metoden beskriver dock inte systemförändringar uppnådda genom energieffektiviseringar, det vill säga det resulterande primärenergibehovet respektive koldioxidutsläppet i hela energisystemet. Då alternativmetoden idag är att betrakta som svensk branschpraxis redovisas här en känslighetsanalys med beräkningar gjorda med alternativproduktionsmetoden som grund.

5.1.3 Jämförelse av resultat för de olika allokeringss metoderna

Om alternativmetoden används som allokeringss metod för kraftvärme istället för primärenergimetoden fås ett annat resultat för såväl primärenergianvändning som för koldioxidutsläpp för de tillförelsalternativ som innefattar kraftvärme. Detta gäller de tre tillförelsalternativen 1, 3 och 4 i denna studie. I Figur 83 visas primärenergibehovet om primärenergimetoden används för den aktuella flerbostadsbyggnaden utan åtgärder i byggnaden för de sex olika energitillförelsalternativ som studeras i denna rapport och i Figur 84 visas motsvarande värden om alternativmetoden används.

Med alternativmetoden får flerbostadshuset (utan åtgärder) lägst primärenergi-användning med fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme. Det är värt att notera att med denna allokeringssmetod blir primärenergi-behovet väsentligt högre med fjärrvärme producerad på kraftvärme (i synnerhet för kraftvärme baserad på naturgas) till skillnad från primärenergi-metoden då primärenergi-behovet blir väsentligt lägre än basalalternativet (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010).

De beräknade koldioxidutsläppen blir annorlunda i två av fallen om man använder alternativmetoden som allokeringssprincip för kraftvärme i stället för primärenergi-metoden. Den mest drastiska förändringen sker för fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på naturgas, där koldioxidutsläppen blir mer än dubbelt så höga med alternativmetoden jämfört med primärenergi-metoden. Det beräknade koldioxidutsläppet är $46 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ BRA}_t$ och år med alternativprincipen respektive $21 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ BRA}_t$ och år med primärenergi-metoden. För tillförselalternativ 1, fjärrvärmemix 2010 blir koldioxidutsläppen knappt 10 % högre vid beräkning med alternativmetoden istället för primärenergi-metoden ($29 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ BRA}_t$ och år istället för $27 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ BRA}_t$ och år).

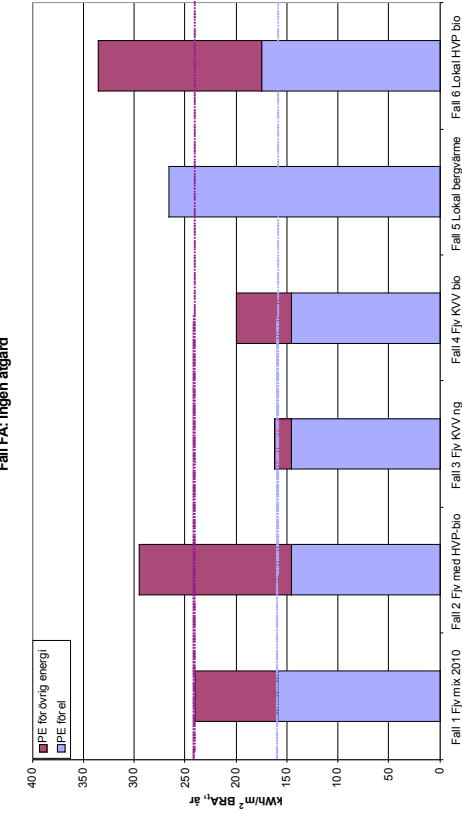
Ur resursanvändningssynpunkt blir det mest fördelaktiga av de studerade tillförselalternativen kraftvärme baserad på naturgas om man använder primärenergi-metoden. Om man istället använder alternativmetoden som allokeringssmetod blir tillförselalternativet fjärrvärme producerad med kraftvärme baserat på biobränsle i stället det bästa tillförselalternativet. Kraftvärme baserad på biobränsle ger lägst primärenergianvändning, hög andel förnybar energi samt lägst koldioxidutsläpp.

5.2 Andel förnybar energi

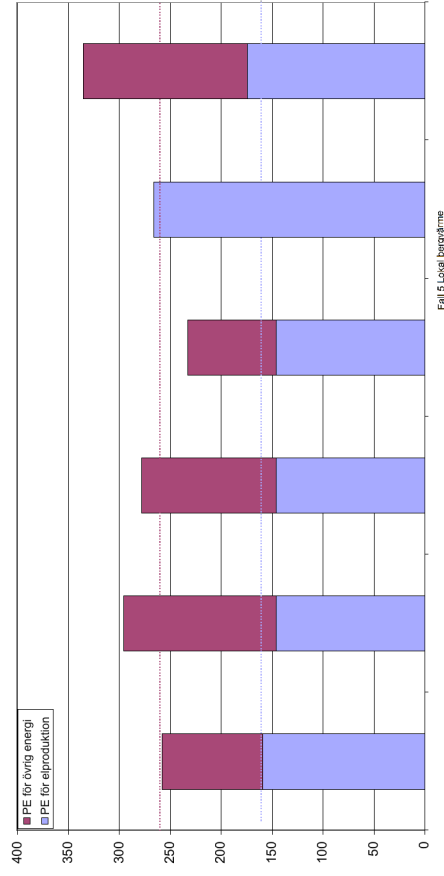
Andelen förnybar energi för det studerade flerbostadshuset framgår av Figur 87. Jämfört med prognosen för 2010 års fjärrvärmemix är den relativa andelen förnybar energi högre i fjärrvärme från biobränsleeldad hetvattenpanna (tillförselalternativ 2) och lokal eldning av biobränsle (tillförselalternativ 6). Andelen förnybar energi blir något lägre i det biobränsleproducerade kraftvärmealternativet (tillförselalternativ 4) och mycket lägre i det naturgaseldade kraftvärmealternativet och bergvärmepumpen (tillförselalternativ 3 respektive 5).

De förändringar i primärenergianvändning som fås i den studerade flerfamiljsbyggnaden vid byte av energitillförselsystem sammanställs även i Figur 88. I denna figur visas endast skillnaderna mellan de analyserade tillförselalternativen i förhållande till grundalternativet fjärrvärmemix prognos för år 2010.

Total primärenergianvändning och primärenergi för elproduktion för olika beräkningsfall, flerbostadshus
Fall FA: Ingen åtgärd

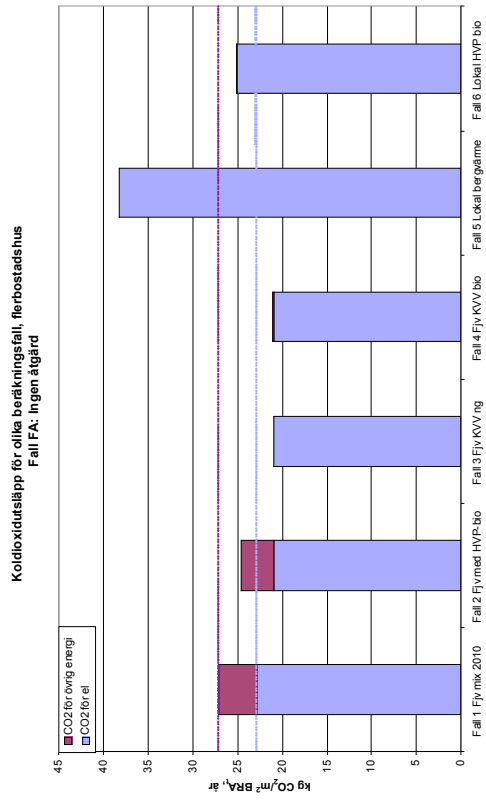


Fall FA: Ingen åtgärd i flerbostadshus
Total primärenergi och primärenergi för elproduktion

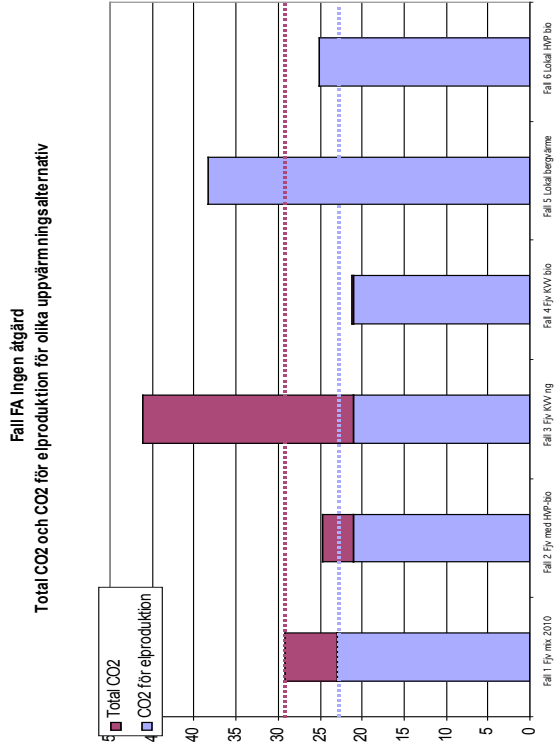


Figur 83: Total primärenergianvändning för det analyserade flerbostadshuset (energi för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel samt hushållsel för grundförslaget utan åtgärder i byggnaden) vid byte från studiens grundalternativ för tillförsel, fjärrvärme enligt prognos för genomsnitt år 2010. Figuren visar total primärenergianvändning fördelat på el respektive värme för tillförselalternativen i kWh/m² BRA, och år vid användning av **primärenergimetoden**. Rödlila linje markerar primärenergianvändning enligt primärenergimetoden för tillförselalternativ 1, prognos för fjärrvärmemix år 2010.

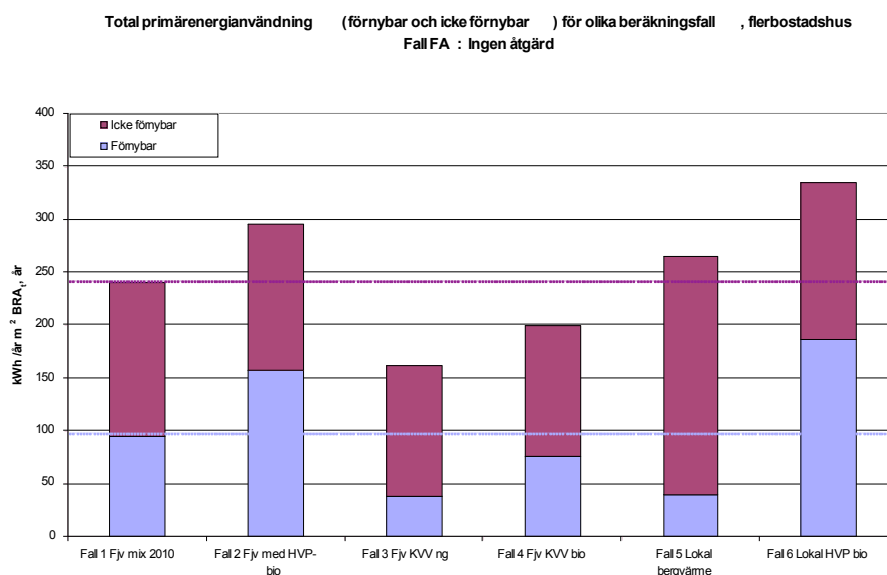
Figur 84: Primärenergianvändning för det analyserade flerbostadshuset (grundförslaget utan åtgärder i byggnaden) vid byte från studiens grundalternativ för tillförsel, fjärrvärme enligt prognos för genomsnitt år 2010. Figuren visar total primärenergianvändning fördelat på el respektive värme för tillförselalternativen i kWh/m² BRA, och år vid **alternativmetoden** som allokeringsprincip för kraftvärme. Den rödlila linjen markerar primärenergianvändning för tillförselalternativ 1 enligt alternativmetoden.



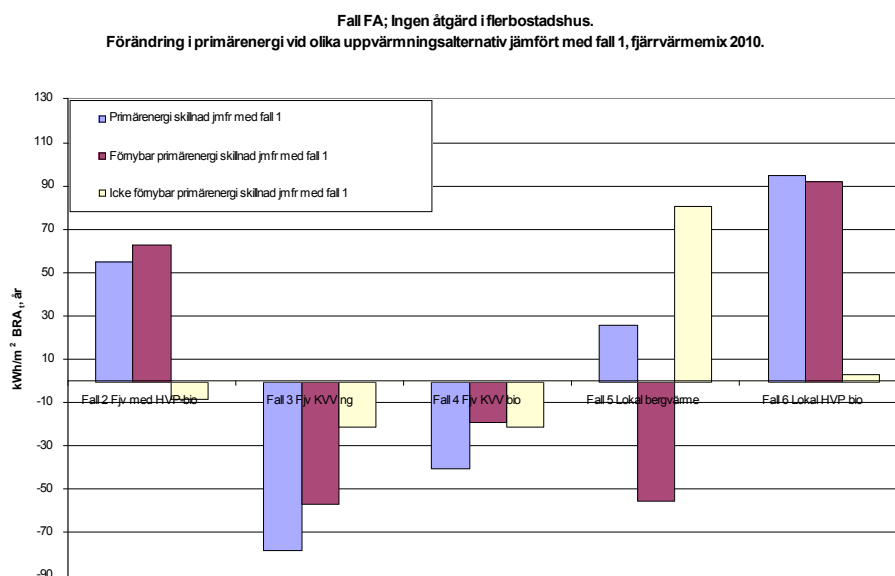
Figur 85: Koldioxidutsläpp för det analyserade flerbostadshuset för de analyserade tillförselalternativen (flerbostadshus i grundversion utan åtgärder i byggnaden). Figuren visar totala koldioxidutsläpp i kg CO₂/m² BRA_t och är med **primärenergimetoden**. Rödlila linje markerar koldioxidutsläpp för grundbyggnaden utan åtgärder och tillförselalternativ 1.



Figur 86: Koldioxidutsläpp för det analyserade flerbostadshuset för de analyserade tillförselalternativen (flerbostadshus i grundversion utan åtgärder i byggnaden). Figuren visar totala koldioxidutsläpp i kg CO₂/m² BRA_t och är med **alternativmetoden**. Rödlila linje markerar koldioxidutsläpp för grundbyggnaden utan åtgärder och tillförselalternativ 1 vid alternativmetoden.



Figur 87: Primärenergianvändning i det aktuella flerbostadshuset, fördelat mellan förnybar och icke-förnybar energi. Värdena gäller vid användning av primärenergimetoden som allokeringsprincip vid kraftvärme, och inkluderar energi för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel och hushållsel.

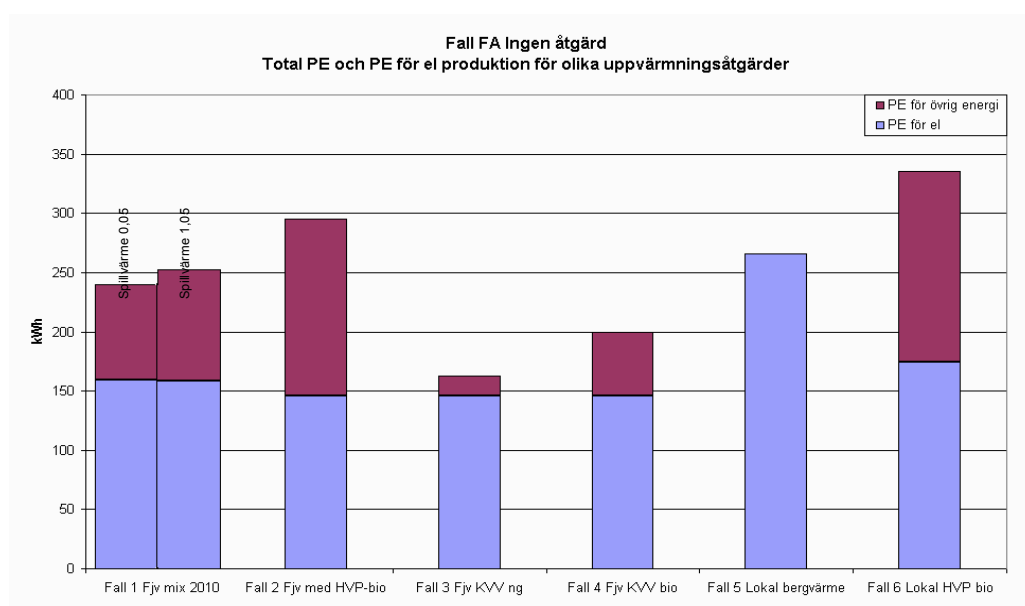


Figur 88: Förändring i primärenergianvändning samt förändring i förnybar och icke-förnybar energi vid byte från fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 till övriga analyserade tillförselalternativ för det aktuella flerbostadshusets grundalternativ (utan åtgärder i byggnaden). Figuren visar skillnad i primärenergianvändning mellan tillförselalternativen i kWh/m² BRA_t och år för det analyserade flerbostadshuset, värdena gäller total primärenergianvändning för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel och hushållsel med primärenergimetoden som allokeringsprincip.

5.3 Värdering av spillvärme

I beräkningarna har primärenergifaktorn för spillvärme ansatts till 0,05. Detta perspektiv baseras på antagandet att det inte finns någon alternativ användning för spillvärmens primärenergifaktor. Det råder olika meningar om detta perspektiv, där det i en del fall finns en alternativ användning och därmed en alternativ värdering av spillvärmens primärenergifaktor. Om $PEF_{\text{spillvärme}}$ istället ansätts till 1,05, vilket motsvarar det värde som anges i den preliminära CEN-standarden påverkas den beräknade primärenergianvändningen i ett av de sex tillförelalternativen. Förändringen sker i tillförelalternativ 1, prognos för fjärrvärmemix år 2010.

Primärenergianvändningen i det aktuella flerbostadshuset ökar från 240 till 253 kWh per kvadratmeter BRA_t och år om $PEF_{\text{spillvärme}}$ ändras från 0,05 till 1,05. Denna ökning av primärenergianvändning för tillförelfall 1 ändrar inte på den inbördes ordningen mellan de olika tillförelalternativen för primärenergianvändningen i det aktuella flerbostadshuset. Förändringen illustreras i Figur 89.



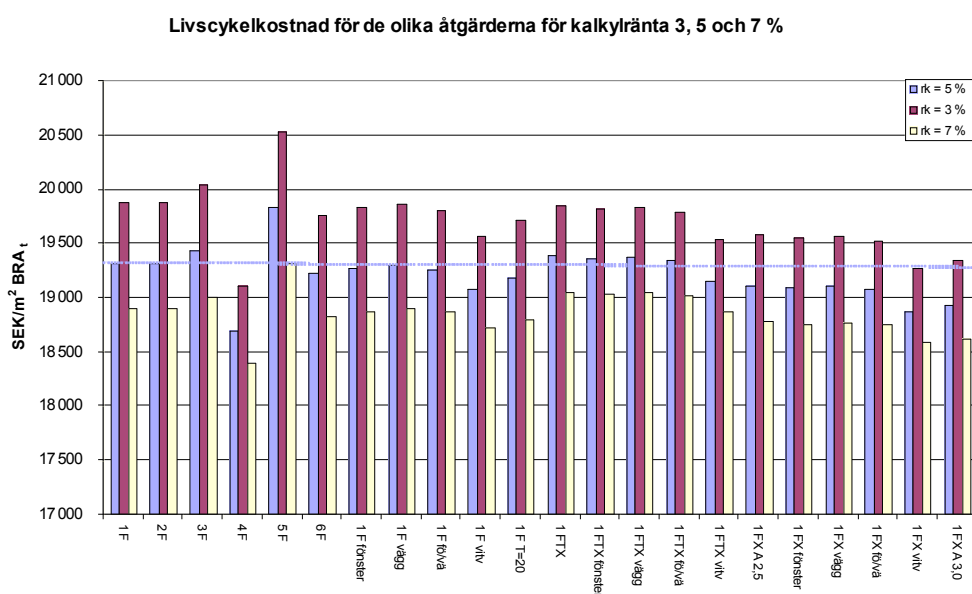
Figur 89: Förändring av primärenergianvändning för det studerade flerbostadshuset om primärenergifaktorn för spillvärme ansätts till 1,05 istället för 0,05. Observera att förändring endast sker för tillförelfall 1 eftersom detta är det enda alternativ som innefattar spillvärme.

5.4 LCC-kalkyl och kalkylränta

Vid beräkning av kostnadseffektiviteten för primärenergiminskning och minskade koldioxidutsläpp är valet av kalkylränta avgörande. I beräkningarna som genomförts har livscykelkostnader för de aktuella åtgärderna genomförts för 3

%, 5 % respektive 7 % kalkylränta. En högre kalkylränta leder till att driftkostnaderna får en minskad inverkan på den totala livscykelkostnaden.

I fallet flerbostadshus med 3 % kalkylränta är samtliga åtgärder i kombination med tillförselalternativ 1 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010) lönsamma ur ett livscykelkostnadsperspektiv. Vid 5 % kalkylränta har de analyserade kombinationerna med FTX och byggnadstekniska åtgärder en något högre LCC-kostnad än grundalternativet, medan alla de övriga analyserade åtgärderna eller åtgärds kombinationerna är ekonomiskt lönsamma med en lägre LCC-kostnad. Slutligen i beräkningsfallet med 7 % kalkylränta är ingen av åtgärds kombinationerna med FTX-ventilation lönsamma ur ekonomisk synpunkt om tillförselalternativ 1 antas, och inte heller åtgärderna i kombination med F-ventilation. Figur 90 visar merkostnaderna ur LCC-perspektiv för åtgärderna vid de olika antagna kalkylräntorna.



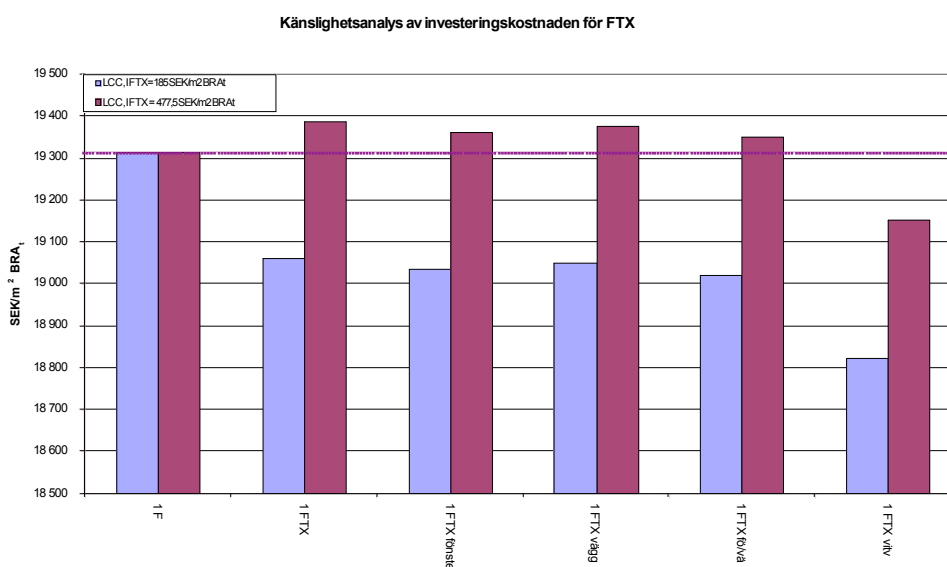
Figur 90: LCC_{energi}-kostnad för de olika beräkningsfallen för det analyserade flerbostadshuset vid tillförselalternativ 1 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010), samt byggnaden utan åtgärder i kombination med övriga tillförselalternativ.

5.5 Kostnader för FTX-system i flerbostadshus

Det finns ett flertal olika utföranden för FTX-system i flerbostadshus, från gemensamma för hela byggnaden till enskilda lägenhetslösningar. Vilken lösning man väljer beror på ett flertal olika parametrar. De olika lösningarna är mer eller mindre kostnadskrävande. Den variant som har valts som grundvariant för denna studies flerbostadsbyggnad är vanligt förekommande med en byggnadsgemensam lösning med merkostnader för schakt, fläktrum med mera. Denna lösning har en merkostnad på knappt 480 SEK/m² BRA_t. Det är viktigt att poängtera att det även förekommer lägre kostnader för FTX-lösningar. En alter-

nativ lösning som har installerats i ett flertal verkliga byggnader används här för jämförelse av kostnadseffektivitet. Merkostnaden för denna lösning är 185 SEK/m² BRA_t, det vill säga knappt 40 % av investeringskostnaden.

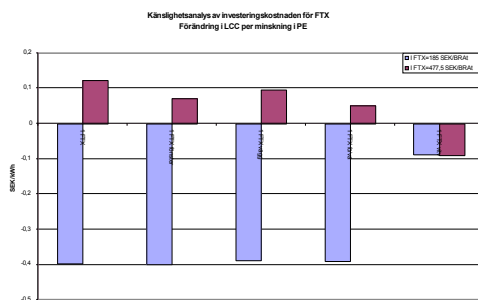
Den FTX-lösning som har valts för flerbostadshuset i huvudanalysen ger en marginellt ökad LCC-kostnad jämfört med grundutförandet av byggnaden med F-ventilation. Skulle istället den alternativa FTX-kostnaden ha valts skulle LCC-kostnaden istället ha blivit lägre än grundbyggnadens med F-ventilation för samtliga åtgärds kombinationer med FTX, se Figur 91. Jämfört med den här studiens huvudalternativ för merkostnader för FTX-ventilation finns således utrymme för kostnadseffektivisering. För att nå en ”neutral” LCC-kostnad i förhållande till flerfamiljshusets grundutförande med F-ventilation räcker det med att merkostnaden för den dyrare FTX-lösningen minskar med 16 % (vilket motsvarar en kostnadsminskning med 76 SEK/m² BRA_t).



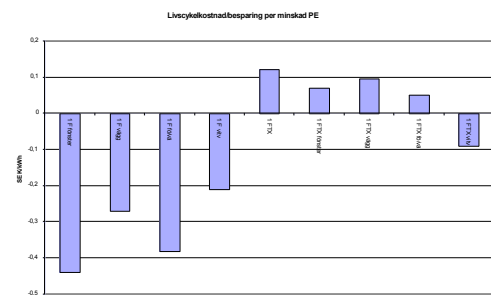
Figur 91: Känslighetsanalys för LCC-kostnad för FTX-ventilation. Verkliga merkostnader för två olika lösningar för FTX i flerbostadshus, den ena bygger på ett gemensamt ventilationssystem för hela byggnaden och den andra bygger på lägenhetsvisa installationer.

Eftersom de analyserade åtgärderna i kombination med FTX-ventilation alla leder till minskad primärenergianvändning och minskade utsläpp av koldioxid innebär det att man får samtidig LCC-besparing och minskning av miljöpåverkan om det billigare FTX-alternativet installeras. Kostnadseffektiviteten uttryckt som LCC-kostnad i förhållande till primärenergiminskningen blir här lika god som den som erhålls för åtgärderna i byggnaden i kombination med F-ventilation. I det fallet är FTX-ventilation en bättre åtgärd än åtgärder i byggnadens klimatskal i kombination med F-ventilation eftersom FTX-åtgärderna uppnår en större total primärenergiminskning och en större total LCC-besparing per åtgärd. Se Figur 92 och Figur 93 för kostnadseffektivitet för primärenergianvändning för denna analys.

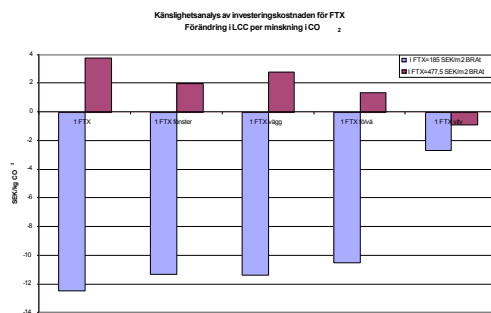
Detsamma gäller för koldioxidreduktion i förhållande till kostnader för FTX-ventilation, med det billigare alternativet för FTX-ventilation erhålls en samtidig LCC-besparing och minskning av koldioxidutsläppen. Denna samtidigt besparing och CO₂-reduktion är faktiskt större för FTX-kombinationerna än för åtgärderna i byggnad i kombination med F-ventilation. Man uppnår alltså för FTX-åtgärderna en väsentligt större total koldioxidminskning och en större total LCC-besparing per åtgärd. Se Figur 94 och Figur 95 för kostnadseffektivitet för koldioxidutsläpp.



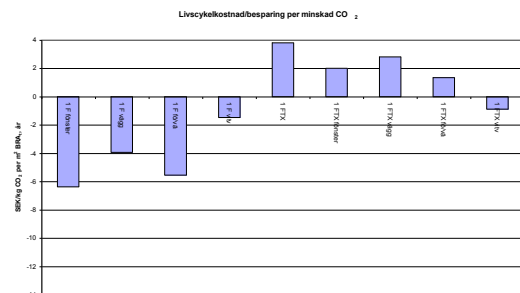
Figur 92: Kostnadseffektivitet för primärenergiminskning vid olika kostnader för FTX-ventilation. Den högre FTX-kostnaden leder till primärenergiminskning med en ökning av LCC-kostnaden, den lägre FTX-kostnaden ger istället en samtidig LCC-besparing och minskad primärenergianvändning.



Figur 93: LCC-kostnad alternativt LCC-besparing per minskad primärenergianvändning för åtgärder i den aktuella flerfamiljsbyggnaden, uttryckt i SEK/kWh, m² BRA. FTX-åtgärderna är här beräknade med den högre merkostnaden.



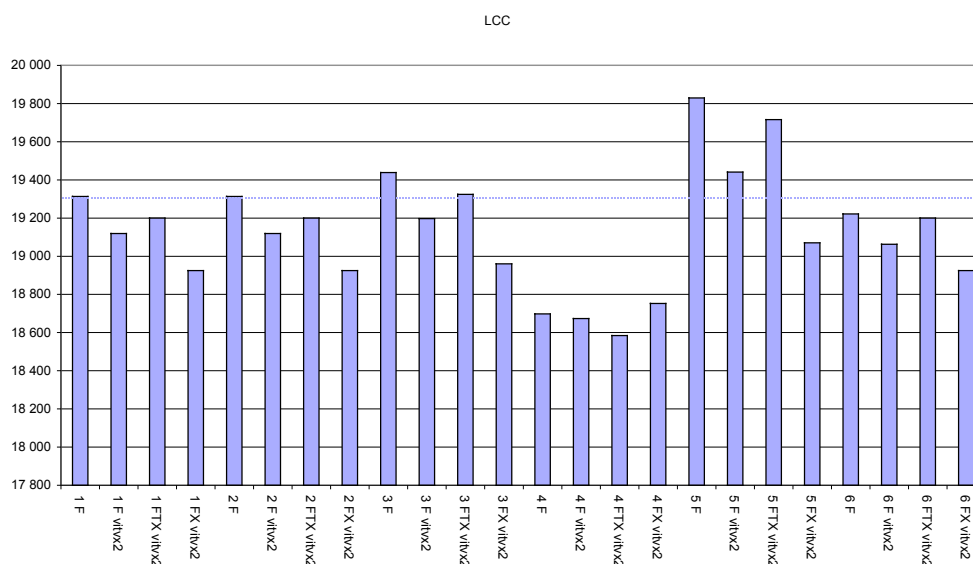
Figur 94: Kostnadseffektivitet för CO₂-reduktion vid olika kostnader för FTX-ventilation. Den högre FTX-kostnaden leder till CO₂-minskning med en ökning av LCC-kostnaden, den lägre FTX-kostnaden ger istället en samtidig LCC-besparing och minskade CO₂-utsläpp.



Figur 95: Livscykelkostnad alternativt - besparing per minskat CO₂-utsläpp för åtgärder i den aktuella flerfamiljsbyggnaden, uttryckt i SEK/kg, m² BRA. FTX-åtgärderna är här beräknade med den högre merkostnaden.

5.6 Brukstim för vitvaror

Samtliga beräkningsfall i analyserna i kapitel 4 baseras på en brukstim på 25 år. En sådan jämförelse blir av naturliga skäl inte helt rättvisande eftersom vissa åtgärder eller investeringar har en längre brukstim eller teknisk livslängd och andra kortare. För de åtgärder eller beräkningsfall som i verkligheten har en längre teknisk livslängd än 25 år betyder det att investeringen överskattas i förhållande till driftkostnaderna i en livscykelkostnadsberäkning och jämförelse med andra åtgärder, detta gäller till exempel energieffektiva fönster och ökad isolering av fasaden. För åtgärder eller beräkningsfall med kortare teknisk livslängd än 25 år innebär det att investeringskostnaden underskattas i förhållande till driftkostnader och åtgärder med längre teknisk brukstim.



Figur 96: Livscykelkostnader för beräkningsfallen i det analyserade flerbostadshuset med reinvestering i energieffektiva vitvaror. Observera att Y-axeln inte utgår från 0.

Av de åtgärder som har analyserats i denna studie bedöms den största avvikel- sen från verkligheten med avseende på livscykelkostnad med brukstim 25 år uppstå för energieffektiva vitvaror. Dessa ansätts normalt en teknisk livslängd på 10 till 15 år. För att undersöka hur mycket denna avvikelse påverkar resul- tatet med avseende på livscykelkostnad har en beräkning med reinvestering i energieffektiva vitvaror i flerbostadshuset gjorts. Resultatet av denna visas i Figur 96. Beräkningen visar att även om reinvestering i energieffektiva vitvaror inkluderas i LCC-kalkylen blir denna åtgärd den som ger lägst LCC-kostnad för det analyserade flerbostadshuset. Ingen av de analyserade åtgärder i flerbostads- huset leder till lägre LCC-kostnad än energieffektiva vitvaror, om man inte samtidigt byter energitillförsel till tillförselalternativ 4, fjärrvärme producerad med bibränslebaserad kraftvärme.

6 Slutsatser

I denna studie har energiresurser och miljöpåverkan i form av primärenergi-användning och koldioxidutsläpp beräknats för ett flerbostadshus och en kontorsbyggnad med verklig bakgrund. Ett antal beräkningsfall med olika åtgärder i byggnaderna och förändringar i infrastrukturen i form av byte av energitillförselsystem har simulerats. Beräkningarna har begränsats till ett urval av åtgärder för vardera byggnadstyp och ett urval av sex olika energitillförselsystem för att inte göra analysen alltför komplex. Det finns en rad andra åtgärder, såväl i byggnad, tillförselsystem som i brukarbeteende som kan ha lika stor eller större effekt på miljöpåverkan som de åtgärder som ingår i denna analys.

Vidare har beräkningar av livscykelkostnader och kostnadseffektivitet för de olika åtgärderna och beräkningsfallen med avseende på minskad miljöpåverkan genomförts för att undersöka vilka investeringar som är de bästa i strävan att nå en hållbar energianvändning i bebyggelsen. Det bör poängteras att analysen bygger på endast två byggnader med verklig bakgrund, en flerbostadshusbyggnad och ett kontorshus. I både fallet med flerbostadshuset och kontorshuset har dessutom en jämförelse av miljöpåverkan i form av primärenergi-användning och koldioxidutsläpp med ett urval nationellt välkända byggnader genomförts.

6.1 Åtgärds kombinationer för flerbostadshus och energitillförsel

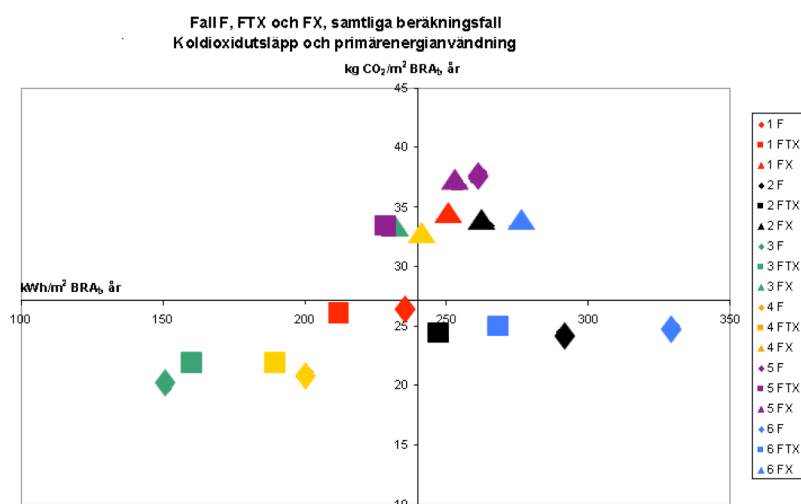
6.1.1 Minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp i flerbostadshuset

Grundscenariot för flerbostadshuset är en frånluftsventilerad byggnad som uppfördes i södra Stockholm år 2004. I fallet flerbostadshus har beräkningsfall skapats med frånluftsventilation (F), från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning (FTX) respektive frånluftsvärmepump (FX) i kombination med åtgärder i byggnadens klimatskal och energieffektiva vitvaror av klass A+ respektive A++. Dessa beräkningsfall har analyserats för de valda sex energitillförselalternativen.

Sammantaget kan konstateras att åtgärder som minskar elanvändningen i flerbostadshuset ger den bästa minskningen av såväl primärenergianvändning som koldioxidutsläpp. Vid studiens basenergitillförsel, fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, ger åtgärder i byggnaden i kombination med frånluftsventilation respektive med FTX-ventilation också en minskad miljöpåverkan, där FTX-ventilation såväl med som utan byggnadstekniska åtgärder ger en större minskning av miljöpåverkan än åtgärderna i klimatskalet i kombination med frånluftsventilation. Däremot ger beräkningsfall med frånluftsvärmepump och åtgärder i kombination med en sådan ökad primärenergianvändning för samtliga

simulerade åtgärder i byggnaden, utom fallet hög årsvärmefaktor (3,0). Vidare leder frånluftsvärmepump till ökade koldioxidutsläpp oavsett vilka av de analyserade effektiviseringsåtgärderna som genomförs i byggnaden.

Om investeringar görs i energitillförselsystemet istället för i byggnaden leder två av de analyserade tillförselsystemen till minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp jämfört med fjärrvärmemix för år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion (tillförselalternativ 1). Dessa två tillförselalternativ bygger båda på fjärrvärme producerad med kraftvärme⁴², i det ena fallet baserad på naturgas och i det andra fallet baserad på biobränsle, samt genomsnittlig europeisk elproduktion (tillförselalternativ 3 respektive 4). De tre övriga analyserade tillförselalternativen, fjärrvärme producerad med biohetvat-tenpanna, bergvärmepump respektive lokal biobränsleledning, leder i flerbostadshuset utan effektiviseringsåtgärder till ökad miljöpåverkan.



Figur 97: Schematisk plottning av koldioxidutsläpp mot primärenergianvändning för beräkningsfall för flerbostadshuset. Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA₀ och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA₀ och år på Y-axeln. Värdena innefattar byggnadens totala energianvändning med energi för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel och hushållsel.

I studien har en rad beräkningsfall skapats genom kombinationer av åtgärder i byggnaden och byte av energitillförselsystem. Genom att plotta de olika beräkningsfallens koldioxidutsläpp mot deras primärenergianvändning kan man konstatera hur de inbördes beräkningsfallen kan rangordnas ur resursanvänd-

⁴² Med användning av primärenergimetoden som allokeringssprincip.

ningsperspektiv. Sammantaget kan för flerbostadshuset konstateras att de åtgärder och åtgärds kombinationer som både ger en minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp huvudsakligen innefattar tillförselalternativ 1, 3 respektive 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas respektive fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle) i kombination med F- respektive FTX-ventilation och åtgärder för att minska behovet av köpt el och värme i byggnaden. En schematisk plottning av samtliga beräkningsfall för flerbostadshuset visas i Figur 97.

6.1.2 Kostnadseffektivitet för minskad miljöpåverkan i flerfamiljsbyggnaden

När det gäller kostnadseffektivitet för de analyserade beräkningsfallen i flerbostadshuset kan konstateras att effektiviseringsåtgärder i kombination med frånluftsventilation både ger minskad primärenergianvändning, minskade koldioxidutsläpp och lägre livscykelkostnad jämfört med grundberäkningsfallet. För beräkningsfallen med FTX-ventilation erhålls med de indata som använts för huvuddelen av beräkningarna i studien lägre primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp men högre livscykelkostnad.

Det finns emellertid olika typer av utföranden och kostnader när det gäller FTX-ventilation, och om man i stället ansätter de kostnader för FTX-ventilation som visas i känslighetsanalysen (kapitel 5.5) leder även beräkningsfallen med FTX-ventilation till en samtidig minskad miljöpåverkan och kostnadsbesparing i form av minskade LCC-kostnader. Det kan konstateras att det räcker med en liten minskning i investeringskostnad för att LCC-kostnaden för FTX-ventilation ska bli neutral i förhållande till grundbyggnaden med F-ventilation. Båda uppgifterna om investeringskostnader för FTX-ventilation som används i denna studie bygger på investeringar från verkliga genomförda byggnadsprojekt.

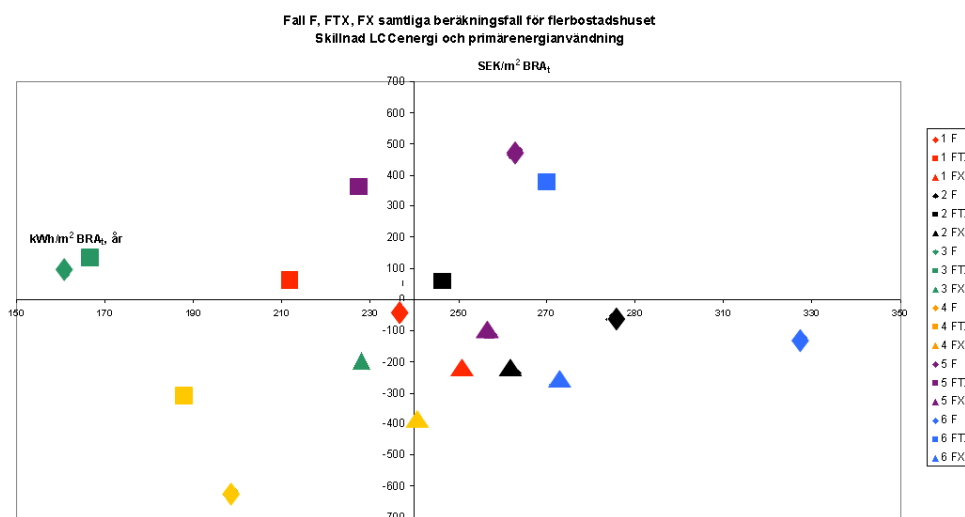
Vidare kan konstateras att installation av frånluftsvärmepump i samtliga beräkningsfall som analyserats i studien i den aktuella flerfamiljsbyggnaden leder till lägre livscykelkostnad än grundutförandet. Frånluftsvärmepumpar med god årsvärmefaktor är således kostnadseffektiva i förhållande till den frånluftsventilerade byggnaden utan energieffektiviserande åtgärder. Men de ger en negativ miljöpåverkan i form av högre primärenergianvändning i samtliga tillförselalternativ utom de rena kraftvärmefallen, och ökade utsläpp av koldioxid i samtliga tillförselalternativ som har analyserats om de jämförs med prognosen för fjärrvärmemix 2010 och är således mindre lämpliga om syftet är att nå en hållbar energianvändning.

Vid byte av energitillförselsystem utan genomförande av energieffektiviserande åtgärder i flerbostadshuset fås en lägre livscykelkostnad i två av de studerade tillförselalternativen jämfört med att använda fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010. Dessa två fall är fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på bio-

bränsle (tillförelalternativ 4) och lokal bibränslepanna (tillförelalternativ 6). Det bör dock betonas att minskade livscykelkostnader vid övergång till kraftvärmeproducerad fjärrvärme ska ses med viss försiktighet, de förutsättningar som använts för beräkningarna gäller i samband med nya, ej allt för små, fjärrvärmenät.

Primärenergiminskning i förhållande till LCC-kostnad

Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och primärenergianvändning för samtliga beräkningsfall kan följande observationer göras. De bästa åtgärds-kombinationerna, det vill säga åtgärder som både har låg livscykelkostnad och låg primärenergianvändning bygger på fjärrvärme producerad med bibränsle-baserad kraftvärme. Därefter följer åtgärds-kombinationer med naturgasproducerad kraftvärme och frånluftsvärmepump. Åtgärds-kombinationer med minskad elanvändning visar också goda resultat. I denna studie representeras denna typ av åtgärd av energieffektiva vitvaror. Även beräkningsfall som kombinerar åtgärder i byggnadens klimatskal med F-ventilation ger låg primärenergianvändning och låga livscykelkostnader för tillförelalternativ 1 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010). Likaså ger åtgärder som minskar värmeanvändningen utan kostnader, till exempel lägre inomhustemperatur mycket fördelaktiga resultat. Den sammantaget bästa av de studerade åtgärds-kombinationerna är bibränsle-kraftvärme (tillförelalternativ 4) i kombination med energieffektiva vitvaror och F-ventilation. Därefter följer bibränsle-kraftvärme i kombination med F-ventilation och energieffektiva fönster.



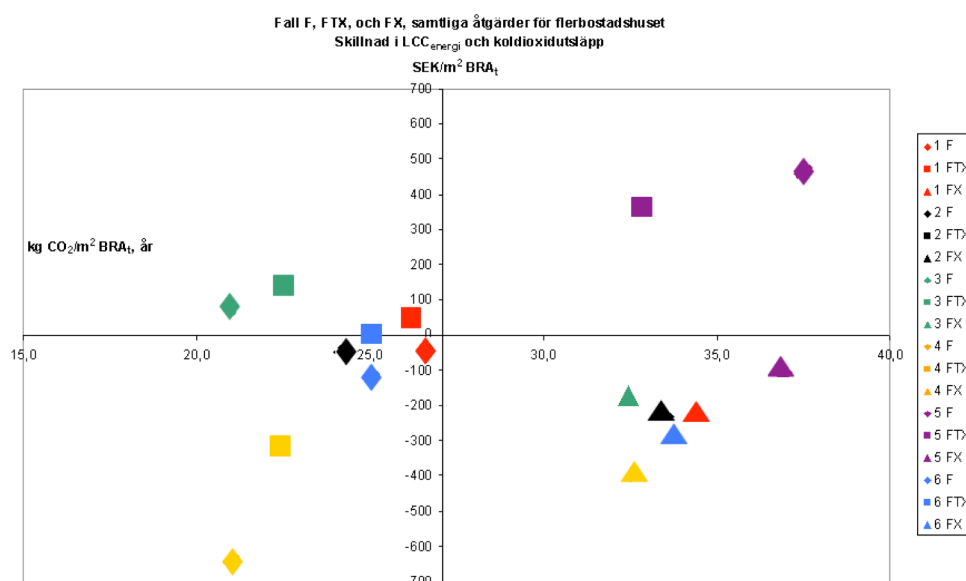
Figur 98: Sammanfattande plottning av beräkningsfallens totala primärenergianvändning i förhållande till livscykelkostnader i flerbostadsbyggnaden. Primärenergianvändningen innefattar både energi för uppvärmning och tappvarmvatten och fastighetsel och hushållsel. Färgerna representerar olika energitillförelalternativ och de geometriska figurerna representerar olika grupperingar av åtgärder i flerbostadsbyggnaden.

Analysen pekar också tydligt på kombinationer av åtgärder som har hög primärenergianvändning och höga livscykelkostnader. Åtgärds kombinationer med frånluftsvärmepump leder till hög primärenergianvändning för tillförelsalternativ 1, 2 och 6 (fjärrvärmemix prognos för år 2010, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna och egen biobränsleledning), medan livscykelkostnaderna för dessa åtgärds kombinationer ofta är relativt fördelaktiga. Om man väger samman primärenergianvändning och LCC-kostnad är de minst fördelaktiga alternativen kombinationen med bergvärmepump och frånluftsvärmepump samt bergvärmepump med F-ventilation utan åtgärder i byggnaden.

Koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad

Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och koldioxidutsläpp för samtliga beräkningsfall kan följande observationer göras. De bästa åtgärds kombinationerna, det vill säga åtgärder som både har låg livscykelkostnad och låga koldioxidutsläpp bygger på fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme. Därefter följer åtgärds kombinationer med minskad elanvändning. I denna studie representeras denna typ av åtgärd av energieffektiva vitvaror. Även beräkningsfall som kombinerar åtgärder i byggnadens klimatskal med F-ventilation ger låga koldioxidutsläpp och låga livscykelkostnader för tre tillförelsalternativ 1, 2 och 6 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme baserad på biohetvattenpanna samt egen biobränsleledning). Likaså ger åtgärder som minskar värmeanvändningen utan kostnader, till exempel lägre inomhus-temperatur mycket fördelaktiga resultat. Den sammantaget bästa av de studerade åtgärds kombinationerna är biobränsle-kraftvärme (tillförelsalternativ 4) i kombination med energieffektiva vitvaror och F-ventilation. Därefter följer biobränsle-kraftvärme i kombination med F-ventilation och energieffektiva fönster. Samtliga åtgärder i klimatskalet ger ett positivt resultat.

Resultatet av analysen pekar också på kombinationer av åtgärder som leder till höga CO₂-utsläpp och höga livscykelkostnader. Alla åtgärds kombinationer med frånluftsvärmepump ger höga koldioxidutsläpp, medan livscykelkostnaderna för dessa åtgärds kombinationer ofta är relativt fördelaktiga. Om man väger samman koldioxidutsläpp och LCC-kostnad är de minst fördelaktiga alternativen fallen med bergvärmepump (tillförelsalternativ 5) i kombination med F-ventilation.



Figur 99: Sammanfattande plottning av beräkningsfallens totala koldioxidutsläpp (såväl värme och tappvarmvatten som fastighetsel och hushållsel) i förhållande till livscykelkostnader i flerbostadsbyggnaden. Färgerna representerar olika energitillförselalternativ och de geometriska figurerna representerar olika grupperingar av åtgärder i flerbostadsbyggnaden.

Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad
Vid en samtidig jämförelse mellan primärenergianvändning, koldioxidutsläpp och LCC-kostnad visar det sig att de bästa beräkningsfallen med kombinationer som innefattar både stor minskning av primärenergianvändningen, stor sänkning av koldioxidutsläppen och lägre LCC-kostnad innefattar byte till biobränslebaserad kraftvärme följt av åtgärder som minskar elanvändningen (Figur 100).

Vidare ger åtgärder i byggnaden i kombination med både F-ventilation och FTX-ventilation mycket goda resultat i kombination med kraftvärme, men även för andra tillförselalternativ leder dessa åtgärder till minskad miljöpåverkan. Det bör noteras att FTX-åtgärderna generellt blir mycket högre rankade vid endast en liten minskning av investeringskostnaden, detta gäller för såväl minskad primärenergianvändning som minskade koldioxidutsläpp.

6.2 Åtgärdskombinationer för kontorsbyggnad och energitillförsel

6.2.1 Minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp i kontorsbyggnaden

Grundscenariot för den studerade kontorsbyggnaden utgår ifrån driftstatistik för nya verkliga kontorsbyggnader med god isolerstandard och med fönster med lågt värmegenomgångstal och mellanglaspersienner för att minimera värme- och kylbehov. Vidare har antagits att byggnaden har utvändiga solskydd i utsatta lägen för att begränsa solvärmeinläckning och kylbehov. Basfallet har balanserad ventilation med värmeåtervinning med god temperaturverkningsgrad. Kontorsbyggnaden har en klimatkylanläggning baserad på kylbafflar, toppkyld tilluft och fjärrkyla.

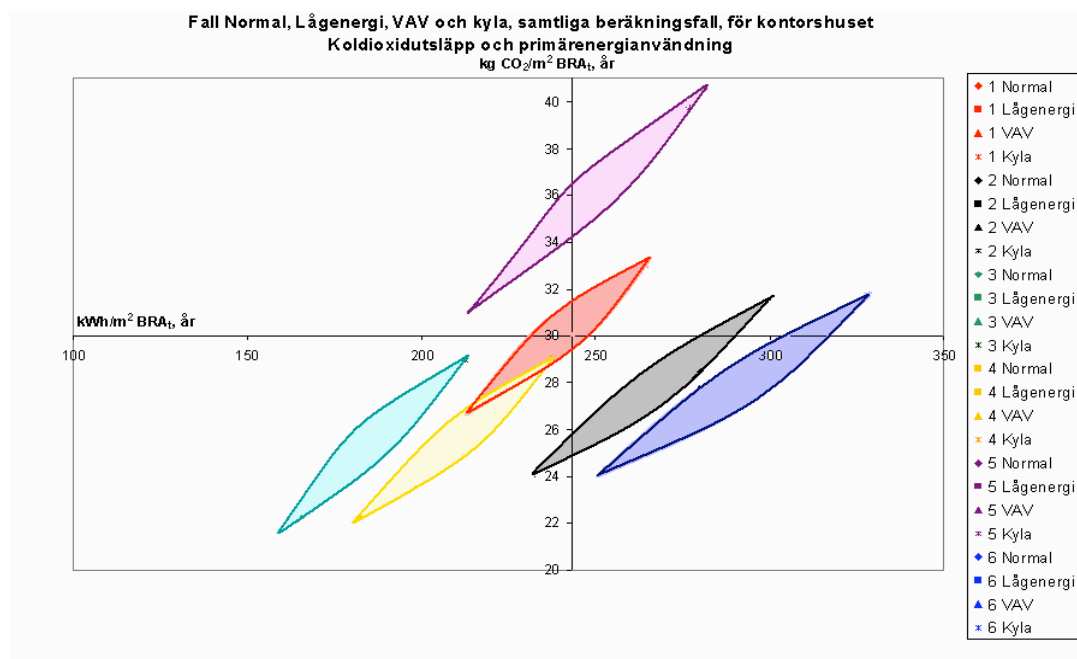
Sammantaget kan konstateras att åtgärder som minskar elanvändningen i kontorsbyggnaden ger den bästa minskningen av såväl primärenergianvändning som koldioxidutsläpp. Vid studiens energitillförselalternativ 1, fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 samt genomsnittlig europeisk elproduktion, ger samtliga energieffektiviserande åtgärder i byggnaden minskad miljöpåverkan i form av minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp. Beräkningsfallen med variabelt luftflöde och egen kylmaskin ger däremot högre primärenergianvändning och koldioxidutsläpp.

Om investeringar i energitillförseln görs istället för i kontorsbygganden leder två av de analyserade tillförselalternativen till minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp jämfört med prognosen för fjärrvärmemix för år 2010 och genomsnittlig europeisk elproduktion (tillförselalternativ 1). Dessa två tillförselalternativ bygger båda på fjärrvärme producerad med kraftvärme⁴³. I kraftvärmefallet baserat på naturgas och genomsnittlig europeisk elproduktion fås en relativt stor minskning av primärenergianvändning och koldioxidutsläpp, medan det andra kraftvärmefallet baserat på biobränsle och genomsnittlig europeisk elproduktion endast ger en marginell minskning (tillförselalternativ 3 respektive 4). De tre andra analyserade tillförselalternativen, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna, bergvärmepump respektive lokal biobränsleeldning, leder i kontorsbyggnaden precis som i fallet med flerbostadshuset utan effektiviseringsåtgärder i byggnaden till ökad miljöpåverkan.

Vid en plottning av de olika beräkningsfallens koldioxidutsläpp mot deras primärenergianvändning konstateras för kontorsbyggnaden att de åtgärder och åtgärds kombinationer som både ger minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp innefattar huvudsakligen tillförselalternativ 1, 3 respektive 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas respektive fjärrvärme baserad på kraft-

⁴³ Med användning av primärenergimetoden som allokeringsprincip.

värme producerad med biobränsle), i kombination energieffektiviserande åtgärder i byggnaden. Även i kontorsfallet är det i samtliga tillförsellfall åtgärds-kombinationer med minskad elanvändning som ger de överlägset bästa värdena ur resurshänseende. En schematisk plottning av samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden visas i Figur 101.



Figur 101: Schematisk plottning av totala koldioxidutsläpp mot total primärenergianvändning för beräkningsfall för kontorsbyggnaden (innefattande energi för uppvärmning, tappvarmvatten, fastighetsel, verksamhetsel samt kyla). Primärenergianvändningen uttrycks i kWh/m² BRA_t och år på X-axeln och CO₂-utsläppen uttrycks i kg/m² BRA_t och år på Y-axeln. Färgerna representerar olika energitillförsellalternativ.

6.2.2 Kostnadseffektivitet för minskad miljöpåverkan i kontorsbyggnaden

När det gäller kostnadseffektivitet för de analyserade beräkningsfallen i kontorsbyggnaden kan det konstateras att alla effektiviseringsåtgärder i byggnaden ger minskad primärenergianvändning, minskade koldioxidutsläpp och lägre livscykelkostnad än grundberäkningsfallet.

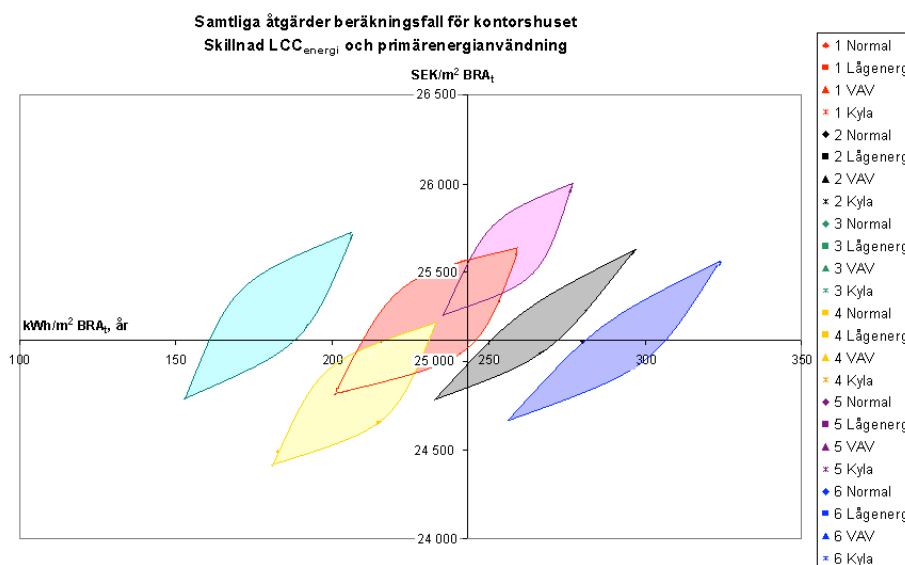
Samtliga energieffektiviserande åtgärder och åtgärds-kombinationer i kontorsbyggnaden, utom de två VAV-alternativen, leder till lägre livscykelkostnader än grundalternativet. En slutsats som kan dras för VAV-åtgärderna är att dessa inte är kostnadseffektiva i förhållande till grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden och att de heller inte ger någon minskad miljöpåverkan. Beräkningsfallen med egen kyla leder liksom VAV-lösningarna till högre miljöpåverkan än grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden.

Vid byte av energitillförselsystem utan genomförande av energieffektiviserande åtgärder i kontorsbyggnaden fås en lägre livscykelkostnad i två av de studerade tillförselfallen jämfört med att använda fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010. Dessa två fall är fjärrvärme producerad med kraftvärme baserad på bio-bränsle (tillförselalternativ 4) och lokal biobränslepanna (tillförselalternativ 6). Det bör dock betonas att minskade livscykelkostnader vid övergång till kraftvärme producerad fjärrvärme ska ses med viss försiktighet, de förutsättningar som använts för beräkningarna gäller i samband med nya, ej allt för små, fjärrvärmenät.

Primärenergiminskning i förhållande till LCC-kostnad

Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och primärenergianvändning för samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden kan följande observationer göras. De åtgärder och åtgärds kombinationer som samtidigt ger en minskad primärenergianvändning och minskade LCC-kostnader innefattar huvudsakligen tillförselalternativ 1 och 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle), och beräkningsfall i kombination med minskad elanvändning. Dessa beräkningsfall innebär en kostnadsbesparing per kWh primärenergi/m² BRA_t och år.

En rad beräkningsfall baserat på tillförselalternativ 1 och 3 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas) ger väsentligt minskad primärenergianvändning vid samma eller något mindre LCC-kostnad än i grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden.



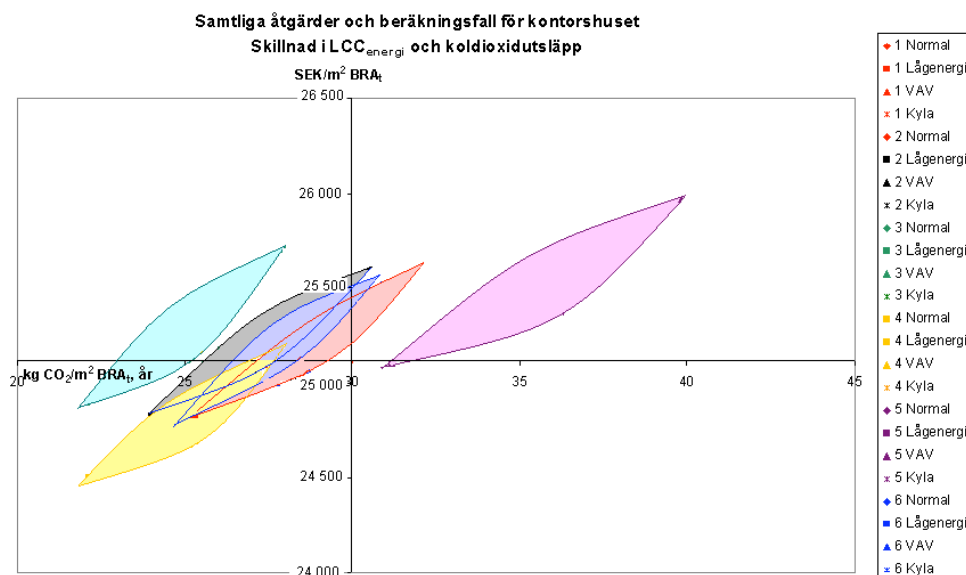
Figur 102: Sammanfattande plottning av beräkningsfallens totala primärenergianvändning i förhållande till livscykelkostnader i kontorsbyggnaden. Färgerna representerar olika energitillförselalternativ.

I samtliga tillförselalternativ är det åtgärds-kombinationer med minskad elanvändning som ger de överlägset bästa värdena ur resurshänseende för kontorsbyggnaden.

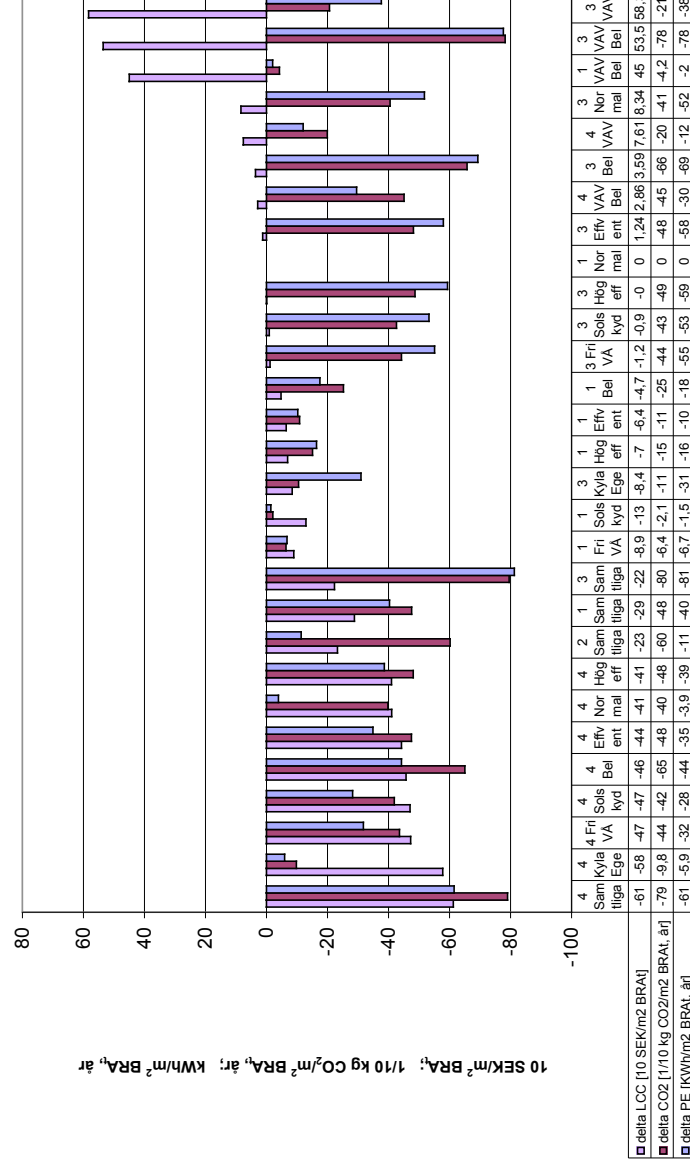
Koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad

Om man samtidigt betraktar livscykelkostnader och koldioxidutsläpp kan konstateras att de bästa åtgärderna, det vill säga åtgärder som både har låg livscykelkostnad och låga CO₂-utsläpp är de åtgärds-kombinationer som innefattar åtgärder som minskar elanvändningen. De åtgärder och åtgärds-kombinationer som samtidigt ger minskade koldioxidutsläpp och minskad LCC-kostnad innefattar huvudsakligen beräkningsfall i kombination med tillförselalternativ 1, 2 och 4 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna respektive fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med biobränsle) och minskad elanvändning. Dessa beräkningsfall innebär en kostnadsbesparing per kg koldioxid/m² BRA_t och år.

En rad beräkningsfall baserat på tillförselalternativ 1 och 3 (fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010 och fjärrvärme baserad på kraftvärme producerad med naturgas) och energieffektiva åtgärder i kontorsbyggnaden ger väsentligt minskade koldioxidutsläpp vid samma eller något lägre LCC-kostnad än i grundberäkningsfallet för kontorsbyggnaden. I samtliga tillförselalternativ är det åtgärds-kombinationen med minskad elanvändning som ger de överlägset bästa värdena ur resurshänseende.



Figur 103: Sammanfattande plottning av beräkningsfallens koldioxidutsläpp i förhållande till livscykelkostnader i kontorsbyggnaden. Färgerna representerar olika energitillförselalternativ.



Figur 104: Samtidig redovisning av skillnad i primärenergianvändning, skillnad i koldioxidutsläpp och skillnad i LCC_{energi}-kostnad för olika beräkningsfall för kontorsbyggnaden (åtgärder i byggnaden och/eller byte av energitillförsel) i förhållande till grundberäkningsfallet. Endast sådana beräkningsfall som genererar både minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp har tagits med i figuren. Beräkningsfallen är rangordnade efter ökande LCC-kostnad. De första 20 beräkningsfallen från vänster ger en lägre LCC-kostnad än grundberäkningsfallet. Observera att skalan för skillnad i CO₂-utsläpp är i tiondels kg/m² BRA_i, och år och att skalan för skillnad i LCC_{energi}-kostnad är i tiotal SEK för att kunna visa samtliga tre parametrar i ett diagram.

1 = Fjvmix prognos 2010; 2 = Fjv biohetvattenpanna; 3 = Fjv naturgas-kraftvärme;
4 = Fjv biobrännstle-kraftvärme; 5 = Bergvärmepump; 6 = Lokal biobrännstleledning

Primärenergianvändning och koldioxidutsläpp i förhållande till LCC-kostnad

Vid en samtidig jämförelse mellan primärenergianvändning, koldioxidutsläpp och LCC-kostnad visar det sig att de bästa beräkningsfallen innefattar åtgärder som minskar elanvändningen. För kontorsbyggnaden är de bästa beräkningsfallen de fall som innefattar samtliga energieffektiviserande åtgärder. Allra bäst resultat fås för minskad elanvändning i kombination med fjärrvärme producerad med kraftvärme (tillförelsalternativ 3 och 4). Därefter följer kombinationerna energieffektiv belysning tillsammans med biobränsle-kraftvärme och samtliga energieffektiviserande åtgärder i byggnaden tillsammans med fjärrvärme producerad med biohetvattenpanna. De andra beräkningsfallen som kombinerar åtgärder som minskar elanvändningen med biobränsle-kraftvärme samt kombinationen samtliga energieffektiviserande åtgärder i byggnaden och tillförelsalternativ 1 (prognos för fjärrvärmemix år 2010) är också både mycket kostnadseffektiva och mycket fördelaktiga ur resursanvändningssynpunkt (såväl primärenergianvändning som koldioxidutsläpp). Samtliga dessa beräkningsfall leder till en kostnadsbesparing i form av minskad LCC-kostnad samtidigt som en stor minskad miljöpåverkan erhålls.

Samtliga beräkningsfall för kontorsbyggnaden som leder till både minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp illustreras tillsammans med skillnader i livscykelkostnad i Figur 104.

6.3 Kostnadseffektiva åtgärder som minskar miljöpåverkan

För att nå de nationella miljömålen krävs bland annat att primärenergianvändningen och koldioxidutsläppen i bebyggelsen minskar. För att åstadkomma detta erfordras en mångfald insatser. Slutsatserna från denna studie inkluderar en rad kostnadseffektiva åtgärder i såväl energitillförelsesystemet som i byggnaderna. De åtgärder som presenteras i detta avsnitt leder till både minskad miljöpåverkan och minskad kostnad i form av livscykelkostnad, alternativt har en god potential att ge minska livscykelkostnad vid en fortsatt teknisk och/eller ekonomisk utveckling av åtgärderna. Åtgärderna presenteras rangordnat efter beräknad kostnadseffektivitet. Det ska dock betonas att studiens analyser bygger på simuleringar och beräkningar för endast två byggnader.

1. Minska elbehovet

Åtgärder som minskar elanvändningen i bostäder, som till exempel att undvika elvärme och komfortelvärm, att installera energieffektiva vitvaror eller låg-energilampor leder till störst minskning av miljöpåverkan och är de mest kostnadseffektiva av de åtgärder som ingår i denna studie. Åtgärder som minskar elbehovet kan leda till en viss ökning av värmebehovet. Undersökningar visar dock att den värmemängd från elapparater som kan tas till vara i bostäder är liten. Den största delen av apparaternas värmetillskott leder till övertemperaturer som ventileras eller vädras bort, alternativt uppkommer på ställen där den inte kan nyttiggöras. Vidare gör el större nytta i andra energianvändningsområ-

den än uppvärmning. Trots att värmebehovet kan öka vid minskad elanvändning i bostäder bedöms dessa åtgärder bidra starkt till minskad primärenergieanvändning och minskade koldioxidutsläpp och samtidigt vara mycket kostnadseffektiva.

I fallet med kontorsbyggnader är eleffektiviserande åtgärder ofta dubbelt effektiva genom att tillskottsvärme från apparater och belysning vanligen kräver extra ventilation och dessutom bedömer brukarna även på våra breddgrader allt oftare att klimatkyla erfordras för att få en önskad inomhustemperatur och för att inomhusklimatet ska upplevas som bra. Samtliga elbesparande åtgärder som analyserats i denna studie bedöms både vara kostnadseffektiva och leda till minskad miljöpåverkan i form av minskad primärenergieanvändning och minskade koldioxidutsläpp.

Att undvika behov av klimatkyla leder till minskad miljöpåverkan. I de fall klimatkyla erfordras är frikyla/fjärrkyla att föredra. Egen eldriven kylmaskin är sämre alternativ med avseende på primärenergieanvändning och koldioxidutsläpp.

2. Gå över till kraftvärmeproducerad fjärrvärme

Som andra åtgärd rekommenderas övergång till uppvärmning med fjärrvärme baserad på kraftvärme, där biobränslebaserad kraftvärme är mer kostnadseffektiv än naturgasbaserad kraftvärme. Dock bör två påpekande göras här. För det första är de uppgifter om kostnader för fjärrvärme producerad med kraftvärme som använts i denna studie inte med nödvändighet det fjärrvärmepris som den enskilda fastighetsägaren eller -brukaren får ta del av. Det möjliga förhandlingsutrymmet kan dock öka. För det andra har den enskilda brukaren av en fastighet inte rådighet över den lokala fjärrvärmeleverantörens val rörande produktionen.

3. Minska energibehovet för uppvärmning

Som tredje åtgärd rekommenderas åtgärder som minskar energianvändningen för uppvärmning. Åtgärder som minskar energianvändningen till en liten merkostnad, som till exempel mer energieffektiva fönster i flerbostadshus, är mycket kostnadseffektiva.

4. Minskat uppvärmningsbehov med liten insats av el

Som fjärde punkt rekommenderas åtgärder som kraftigt minskar energianvändningen för uppvärmning till en liten insats av el. Som exempel på denna typ av åtgärd kan installation av FTX-ventilation nämnas. Denna åtgärd bidrar till mycket större minskning av primärenergieanvändning och koldioxidutsläpp än de åtgärder som beskrivs under punkt 3 ”Minska energibehovet för uppvärmning”, och ska prioriteras mycket högre vid en endast något lägre investeringskostnad än den som använts för huvuddelen av analysen i denna studie.

En rad olika varianter och kostnadslägen finns för FTX-ventilation. En känslighetsanalys utförd i kapitel 5.5 som bygger på verkliga kostnader visar på fall

med lägre investeringskostnad än den kostnad som huvuddelen av denna studie bygger på. Med denna alternativa investeringskostnad blir FTX-installation en mycket kostnadseffektiv åtgärd. I studiens tillförselalternativ 1, fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010, blir LCC-kalkylen i denna studie kostnadsneutral redan vid en minskning i FTX-ventilationens merkostnad med 16 %.

Hur mycket värme måste sparas för varje kilowattimme el?

Hur många kWh värme som måste sparas för varje uppförd kWh el beror på vilket energitillförselalternativ som används. Med de primärenergifaktorer och koldioxidfaktorer som används i denna studie (se Bilaga 2 Primärenergifaktorer och koldioxidutsläpp) och prognosen för fjärrvärmemix år 2010 måste 3 kWh värme sparas för varje kWh el som används om primärenergianvändningen ska minska, och 5,6 kWh värme sparas för varje kWh el som används om koldioxidutsläppen ska minska⁴⁴. Om i stället enbart fjärrvärme producerad med naturgasbaserad kraftvärme används blir resultatet att cirka 15 kWh värme måste sparas för varje kWh el som används om primärenergianvändningen ska minska respektive 50 kWh värme sparas för varje kWh el som används om koldioxidutsläppet ska minska⁴⁴. Med det tillförselalternativ som leder till de flesta kostnadseffektiva beräkningsfallen i studien, fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme, måste knappt 5 kWh värme sparas för varje kWh el som används om primärenergianvändningen ska minska respektive 45 kWh värme sparas för varje kWh el som används om koldioxidutsläppet ska minska⁴⁴.

För en applikation i verkligheten i det relativt korta perspektivet är det rimligt att anta att det är miljömässigt riktigt att satsa på åtgärder som minskar uppvärmningsbehovet med en eluppföring i enlighet med prognosen för fjärrvärmemixen för år 2010, det vill säga för minskad primärenergianvändning 3:1 och för minskade koldioxidutsläpp knappt 6:1. I ett längre tidsperspektiv måste en ny prognos för sammansättningen av fjärrvärmemixen göras, det kan antas troligt att en sådan prognos innehåller mer biobränslebaserad kraftvärme än den prognos som föreligger för år 2010.

6.4 Kostnadseffektiva åtgärder som ökar miljöpåverkan

I studien har även framkommit en rad beräkningsfall och åtgärder som kan vara kostnadseffektiva ur ett livscykelkostnadsperspektiv, men som leder till ökad miljöpåverkan i form av ökad primärenergianvändning och/eller ökade koldioxidutsläpp. Följande åtgärder leder till ökad miljöpåverkan i merparten av de beräkningsfall som de sex energitillförselalternativ som analyseras i denna studie genererar jämfört med de analyserade byggnaderna i grundversion med tillförselalternativet fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010.

⁴⁴ Baserat på underlag i bilaga 2.

1. Frånluftsvärmepump

I analysen av flerbostadshuset visar de flesta beräkningsfall med frånluftsvärmepump att denna åtgärd är kostnadseffektiv, men åtgärden leder till både ökad primärenergianvändning vid fyra av de sex analyserade energitillförselalternativen och ökade koldioxidutsläpp vid samtliga analyserade energitillförselalternativ.

2. Bergvärmepump

I såväl flerbostadsfallet som i fallet med kontorsbyggnaden leder samtliga beräkningsfall till ökade koldioxidutsläpp och merparten av beräkningsfallen även till ökad primärenergianvändning. I flerbostadsbyggnaden leder beräkningsfallen med bergvärmepump ofta till lägre LCC-kostnad, medan beräkningsfallen för kontorsbyggnaden ofta leder till ökad LCC-kostnad.

Det bör dock noteras att det i studien inte har beaktats möjligheten att utnyttja värmepumpen för kyla under sommaren. Ett sådant beräkningsfall kan leda till ett mer fördelaktigt resultat för värmepumpen.

3. Luftbehandling/komfortkyla

Vid luftbehandling, såväl med luftkyla som med vattenburen kyla, är det viktigt att eftersträva låga SFP-tal för att hålla ner elanvändningen och därmed både LCC-kostnader, och primärenergianvändning och koldioxidutsläpp.

7 Förutsättningar och avgränsningar

7.1 Ekonomiska förutsättningar

I de beräkningar som ligger till grund för analyser i denna rapport har ett livscykelkostnadsperspektiv antagits som utgångspunkt. Skälet till detta är att livscykelkostnader ger en mer övergripande bild och en mer rättvisande ekonomisk redovisning för åtgärder som strävar mot en ekologisk hållbar utveckling i samhället. Men vissa beräkningar och analyser redovisas även för investeringskostnader för de analyserade effektiviseringsåtgärderna.

Investeringsperspektivet är i denna studie hela tiden brukarens kostnader. Detta innebär till exempel att åtgärder för att minska energianvändningen i byggnaderna utöver nuvarande standard beräknas inklusive moms och pålagor som byggherreomkostnader och liknande.

För livscykelkostnadsberäkningarna har antagits att den årliga energiprisökningen är 2 % och beräkningar har gjorts för 5 % kalkylränta. För flerfamiljsbyggnaden har en känslighetsanalys av LCC-beräkningarna gjorts för 3 % respektive 7 % kalkylränta.

7.2 Klimatförhållanden

Beräkningar av energianvändning i de fall som presenteras i analysen baseras på klimatförhållanden i Mälardalsregionen. Det innebär att resultatet i vissa beräkningar skulle kunna vara något annorlunda för byggnader i norra respektive södra Sverige.

7.3 Typbyggnader som används för beräkningar

7.3.1 Flerbostadshus

Typbyggnaden för flerbostadshus i den här studien är en verklig byggnad med normal nybyggnadsstandard. Det valda flerbostadshuset innefattar 15 lägenheter och har en total uppvärmd bruksarea (BRA_t) på drygt 1.300 m^2 . Inomhus-temperaturen är $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Huset är välisolerat och fönstren har ett lågt värmegenomgångstal ($1,2 \text{ W/m}^2, \text{K}$). Vidare är huset försett med frånluftsventilation utan värmeåtervinning. Genom att en verklig byggnad har valts kan jämförelser mellan beräknad och verklig energianvändning göras.

7.3.2 Kontor

Den typbyggnad för kontor som har använts i beräkningarna utgår ifrån driftstatistik för nya verkliga kontorsbyggnader med god isolerstandard och med fönster med lågt värmegenomgångstal ($1,3 \text{ W/m}^2, \text{K}$) och mellanglaspersienner

för att minimera värme- och kylbehov. Vidare har antagits att byggnaden har utvändiga solskydd i utsatta lägen för att begränsa solvärmeinläckning och kylbehov.

Basfallet har balanserad ventilation (från- och tilluft med värmeåtervinning) med 1,5 l/s m² BRA. Basfallet inkluderar värmeåtervinning med batterivärmeväxling med god temperaturverkningsgrad (62 %). Överluft från kontorsytorna ventilerar och värmer garaget. Kontorsbyggnaden har en klimatkyllanläggning baserad på kylbafflar, toppkyld tilluft och fjärrkyla.

7.4 Förhållandet mellan verklig och beräknad energianvändning

För den flerfamiljsbyggnad som analyseras i denna studie har den verkliga användningen i form av levererad energi använts för grundberäkningsfallet. Behovet av köpt energi i övriga beräkningsfall bygger på simuleringar med hjälp av mjukvaruprogrammet Enorm. Behovet av köpt energi i den kontorsbyggnad som analyseras i studien bygger också på verkligheten. I kontorsfallet har behovet av köpt energi simulerats med hjälp av ABB Ventac i övriga beräkningsfall.

I praktiken skiljer sig alltid beräknad energianvändning från verklig energianvändning. Det finns en rad orsaker till detta. En anledning är att de beräkningsprogram som används bara är modeller av verkligheten, och i ett antal stycken endast utgör mer eller mindre goda approximationer av verkligheten. En annan anledning kan vara att utfallet i form av verklig byggnad blev ett annat än det man ursprungligen planerade. Ett tredje skäl kan vara att effekten av köldbryggor och solfaktorer är bristfällig i de beräkningsprogram som används. Ett fjärde skäl är att man ofta beräknar behovet av köpt energi för en byggnad med 20 °C med perfekt drift av installations- och värmesystemet, medan verkligheten i den färdiga byggnaden vanligen är flera grader högre inomhustemperatur och en inte helt perfekt fel avhjälpning, drift och injustering. Som ett femte skäl kan nämnas att energibehovet för tappvarmvattenvärmning kan vara svårt att bedöma i samband med beräkning av en byggnads energianvändning, avvikelsen mellan beräknat och verkligt tappvattenbehov är ofta stor. Som ett sjätte och sista skäl till avvikelse mellan beräknad och verklig energianvändning i denna uppräkningslista kan nämnas prestanda för värmepumpar och värmeväxlare, där uppgifter från tillverkare och leverantörer ofta avviker ganska avsevärt från faktiskt erhållna värden i verkligheten.

Sammanfattningsvis konstateras att avvikelsen mellan beräknad och verklig energianvändning kan vara stor, ända upp till 30-50 % utan att något fel i beräkningarna kan påtalas och detta oberoende av viken programvara som används.

Tabell 6: Använda typfall för infrastruktur i studien.

Tillförelalternativ	Driftfall	Förekommer
1. Fjärrvärmemix baserat på prognos för 2010	Svensk Fjärrvärme specificerad.	Prognos för den genomsnittliga fjärrvärmemixen år 2010 ⁴⁵ .
2. Fjärrvärme baserat på biohetvattenpanna	Fjärrvärmeproduktionen sker baserat på flis (90 %). För spetslast och del av sommarlasten används olja (8 %), driftel (2 %).	”Standardutseende” på fjärrvärme i dagsläget, står för 10-20 % av dagens fjärrvärmeleveranser i Sverige och är det i antal nät vanligaste fjärrvärmealternativet. Förekommer främst i små och medelstora fjärrvärmenät. Även vanligt förekommande i större ”färdig-värme”-lösningar samt blockcentraler.
3. Fjärrvärme baserat på kraftvärme, naturgasbaserat ⁴⁶	Kraftvärmeproduktionen baseras till 90 % på naturgas med biobränslen (till exempel pellets eller bioolja) som spets (10 %). Driftel produceras internt.	Står för cirka 10 % i dagsläget. Konvertering från fossil spets till biobränsle har påbörjats i många fjärrvärmenät.
4. Fjärrvärme baserat på kraftvärme, biobränslebaserat	Kraftvärmeproduktionen baseras till 90 % på biobränslen och med biobränslen (till exempel pellets eller bioolja) som spets (10 %). Driftel produceras internt.	Står för cirka 30 % av all fjärrvärme i Sverige i dagsläget, spås öka till cirka 50 % år 2010. Konvertering från fossil spets till biobränsle har påbörjats i många fjärrvärmenät.
5. Lokal värmeproduktion, bergvärmepump	90 % av värmebehovet täcks av värmepumpen, resterande värmebehov täcks med el ⁴⁷ . Elen inkluderar även driftel.	Årsvärmefaktorn för bergvärmepumpen har ansatts till 2,8 i beräkningarna.
6. Lokal värmeproduktion, biobränsle	90 % av värmebehovet täcks med biobränsle (här exemplifierat med träpelletsspanna). Spetslasten täcks i beräkningarna med el ⁴⁸ . Elen inkluderar även driftel.	

⁴⁵ Tillförelalternativ 1, Fjärrvärmemix baserat på prognos för 2010, baseras en mix enligt Tabell 7.

⁴⁶ Avfallseldade kraftvärmeverk ligger mellan de här beskrivna driftfallen 3 och 4.

⁴⁷ Spetsbehovet skulle även kunna täckas med olja.

⁴⁸ Spetsbehovet skulle även kunna täckas med olja.

7.5 Infrastruktur

7.5.1 Uppvärmning

I beräkningarna har sex olika typer av energitillförsel för uppvärmning och varmvatten använts för att göra jämförande beräkningar av primärenergiebehov och utsläpp av koldioxid, samt för att göra jämförelser i vilka fall åtgärder i tillförselsystemet är mer resurseffektiva än åtgärder i byggnaderna. De sex typfallen beskrivs i Tabell 6 ovan. Av Tabell 7 framgår prognosen för den genomsnittliga fjärrvärmemixen för år 2010.

Tabell 7: Fördelning för prognos för fjärrvärmemix år 2010.

Energikälla	Andel %
Biobränsle flis	16,35
Biobränsle pellets	16,35
Avfall	0,5
Stenkol	0,3
Naturgas	0,1
Olja	4,9
Kraftvärme:	
Biobränsle (ny) med rökgaskondensering	18,5
Avfall (ny)	14,8
Stenkol (ny)	1,6
Kombicykel:	
Naturgas	5,1
Värmepump (el)	11,3
Omgivningsvärme till värmepump	
Elpanna	0,4
Spillvärme	9,7

Det ska poängteras att det finns en mängd andra de sex tillförselalternativ än de sex som valts för denna studie, de sex valda utgör endast ett mindre urval. Utvecklingen kommer dessutom att leda till nya tillförselalternativ som vi inte idag kan överblicka. Dessa kommer till exempel att inbegripa andra samproduktionsmöjligheter som samtidig produktion av el och drivmedel för transporter, och nya råvaror och energikombinat för energiproduktion.

De energikostnader som används i beräkningarna är i basfallet 0,64 SEK/kWh för uppvärmning⁴⁹, 0,90 SEK/kWh för el respektive 0,62 SEK/kWh för fjärrkyla. Samtliga dessa energikostnader inkluderar moms. Kostnaden för energin för de övriga fjärrvärmealternativen har beräknats med utgångspunkt från basfallet och investeringar, kostnader för drift och underhåll med mera (underlag för energikostnadsberäkning presenteras i Bilaga 1). För bergvärmepumpsalternativet har en energikostnad inklusive investering och underhåll ansatts till 0,90 SEK/kWh. Denna kostnad kan möjligen tyckas vara ganska hög, men med in-

⁴⁹ Baserat på det genomsnittsvärde för 2005 som presenteras i Sveriges Fastighetsägares årliga Nils Holgersson-studie.

vestering och och underhåll har arbetsgruppen funnit den rimlig. Slutligen har för det tillförelalternativ som innefattar egen biobränsleledning ansatts till 0,59 SEK/kWh, baserat på Statens energimyndighets rapport uppgift i Värme i Sverige, 2005. De energikostnader som använts i analysen finns sammanställda i Tabell 8.

Tabell 8: Studiens energikostnader.

Energislag/tillförelalternativ	Använd kostnad [SEK/kWh]
Tillförelalternativ 1 Fjärrvärmemix enligt prognos för år 2010	0,64
Tillförelalternativ 2 Fjärrvärme baserat på biohetvattenpanna	0,64
Tillförelalternativ 3 Fjärrvärme producerad med naturgasbaserad kraftvärme	0,70
Tillförelalternativ 4 Fjärrvärme producerad med biobränslebaserad kraftvärme	0,33
Tillförelalternativ 5 Lokal värmeproduktion, bergvärmepump	0,90
Tillförelalternativ 6 Lokal värmeproduktion, biobränsleledning	0,59
El	0,90
Fjärrkyla	0,62

7.5.2 Allokeringmetod för kraftvärme

Primärenergimetoden har valts som allokeringmetod för fördelning mellan el och värme vid kraftvärme. I kapitel 5.1 redovisas i en känslighetsanalys vilket resultatet av beräkningarna skulle ha blivit om i stället alternativmetoden hade använts som allokeringprincip.

7.5.3 El

För elanvändning i beräkningarna och analyserna har antagits genomsnittlig europeisk elproduktion och en framtida marginalproduktion baserad på naturgaskombikondens vilket bedöms motsvara den ökade respektive minskade elproduktionen på årsbasis. Detta är möjligt då primärenergifaktorn och CO₂-faktorn för dessa båda synsätt är mycket snarlika. I beräkningarna har primärenergifaktorn för el ansatts till 2,5 och CO₂-faktorn till 360 g/kWh.

Det valda perspektivet innebär att en minskad elanvändning i Sverige minskar andelen el producerad med naturgaskombikondens, på årsbasis.

7.5.4 Kyla

Många fjärrkylasystem har värmepumpsbaserad basproduktion, där fjärrvärme och fjärrkyla samproduceras i värmepumpar. Dessa värmepumpar använder främst omgivningsvärme från sjövattnen eller avloppsvattnen. En del av fjärrkylaproduktionen i dessa värmepumpar kan definieras som frikyla. För vissa driftfall blir värmepumpsdriften försämrad på grund av kylproduktionen. Som spetslast används ofta kylmaskiner. Vissa system har också ren frikyla, där sjövattnen värmeväxlas direkt mot fjärrkylanätet.

I denna studie antas att 80 % av fjärrkylan är spillkyla/frikylbaserad och 20 % kylmaskinbaserad. Den värmepumpsbaserade delen antas kosta i el endast den fördyring av värmepumpsdriften som fås på grund av fjärrkylaproduktionen (fjärrkylan betraktas i övrigt som en "biprodukt" som fås eftersom värmepumpsbaserad fjärrvärme här förutsätts vara efterfrågad året om). Hur mycket värmepumpsdriften försämras på grund av fjärrkylan är svårt att säga generellt eftersom det beror på lokala förutsättningar vad gäller temperaturer och systemutformning. Dessutom kan systemet utformas så att värmepumparna vissa delar av året får förbättrat driftläge tack vare fjärrkylaproduktionen. Med överslagsmässiga beräkningar och antaganden har ett COP om 15 för värmepumpsbaserad alternativt frikylbaserad fjärrkyla antagits.

7.6 Åtgärder

För att jämföra kostnadseffektivitet för minskad primärenergianvändning och minskade koldioxidutsläpp har en rad åtgärder i såväl byggnaderna som byte av tillförselalternativet för värme och varmvatten bedömts. De åtgärder som analyserats beskrivs i respektive kapitel om de analyserade byggnaderna (se kapitel 4.4 respektive 4.6). På tillförselsidan har betydelsen av ändrat tillförselsystem analyserats.

Det ska poängteras att endast ett begränsat antal åtgärder har kunnat analyseras inom ramen för denna studie, antalet parametrar att ta hänsyn till hade annars blivit allt för stort. Det finns en lång rad andra åtgärder som skulle ha varit möjliga att ta med i studien. Till exempel skulle åtgärder som inreglering och injustering av värme- och ventilationssystem och ökad lufttäthet kunnat ingå på byggnadssidan. På infrastrukturuområdet finns en rad åtgärder som komplettering av tillförseln med andra dellösningar, nya mer effektiva värmeväxlare, lågtemperatursystem för fjärrvärme, solenergikomplement med mera kunnat inkluderas i studien om mer tid och utrymme hade funnits i projektet.

8 Referenser

European Standard, Draft prEN 15315:2005:E, Heating systems in buildings – Energy performance of buildings – Overall energy use, primary energy and CO₂ emissions, 2005

Persson A et al, Allt eller inget – Systemgränser för byggnaders uppvärmning, ÅF, 2005 (på uppdrag av Energimyndigheten)

Fjärrvärme och kraftvärme i framtiden – prognoser och potentialer, Svensk Fjärrvärme, Art nr 041110, ISSN 1401-9264, 2004

Marginal elproduktion och CO₂-utsläpp i Sverige, Energimyndigheten ER 14 2002

Nationalencyklopedin

Naturvårdsverket, Energieffektivisering i byggnader – översiktliga miljökonsekvenser av förslag, 2006

Statens energimyndighet, Värme i Sverige, 2005.

Wahlström, Olsson-Jonsson, Ekberg (2001) Miljöpåverkan från byggnaders uppvärmningssystem, EFFEKTIV. ISBN 91-7848-824-9.

Referenser för andra byggnader är hämtade från:

Astronomihuset: Föredrag Energi & Drift 2005, Göran Hellström, LTH

Kvarteret Jöns Ols: Jöns Ols i Lund, Energisnålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik, Catarina Warfvinge, LTH

Lindås Park: SP Rapport 2004:31, Svein Ruud

Solhus1, Gårdsten: Jan-Olof Dalenbäck, CTH

8 Referenser

European Standard, Draft prEN 15315:2005:E, Heating systems in buildings – Energy performance of buildings – Overall energy use, primary energy and CO₂ emissions, 2005

Persson A et al, Allt eller inget – Systemgränser för byggnaders uppvärmning, ÅF, 2005 (på uppdrag av Energimyndigheten)

Fjärrvärme och kraftvärme i framtiden – prognoser och potentialer, Svensk Fjärrvärme, Art nr 041110, ISSN 1401-9264, 2004

Marginal elproduktion och CO₂-utsläpp i Sverige, Energimyndigheten ER 14 2002

Nationalencyklopedin

Naturvårdsverket, Energieffektivisering i byggnader – översiktliga miljökonsekvenser av förslag, 2006

Statens energimyndighet, Värme i Sverige, 2005.

Wahlström, Olsson-Jonsson, Ekberg (2001) Miljöpåverkan från byggnaders uppvärmningssystem, EFFEKTIV. ISBN 91-7848-824-9.

9 Definitioner

Bruksarea (tempererad), BRA_t

Med tempererad bruksarea avses golvarean i temperaturreglerade utrymmen som avses värmas till mer än 10 °C.

Brukstid/Teknisk livslängd

Den tidsperiod för vilken byggnaden med normalt underhåll uppfyller avsedd funktion. I den här studien är brukstiden satt till 25 år.

F-ventilation

Frånluftsventilation

FTX-ventilation

Från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning

FX

Frånluftsvärmepump

Köpt energi

Köpt energi anses i studien vara levererad energi.

Livscykelkostnad, LCC

Livscykelkostnaden som beräknats i studien inkluderar investeringar och energikostnader under den bedömda brukstiden 25 år. Beräkningarna har gjorts med ett antagande om 5 % kalkylränta och en årlig energiprisökning om 2 %.

Primärenergi

Med primärenergi avses den energimängd som förbrukas för att framställa en energienhet omvandlad nyttig energi hos användaren (Från presentation, Mikael Gustafsson)

Primärenergifaktor

Med primärenergifaktorer avses samtliga omvandlingsförluster i hela kedjan tillbaka till den orörda energikällan. (Från presentation, Mikael Gustafsson)

VAV

Variable Air Volume: variabelt luftflöde, det vill säga luftkyla i stället för vattenburen kyla.

Bilaga 1 Kostnader för åtgärder i byggnad och energitillförselsystem

A Kostnader för åtgärder i flerbostadsbyggnaden

De angivna kostnaderna inkluderar moms och byggherreomkostnader. De angivna kostnaderna är investeringar respektive merkostnader och avser en byggnad med 15 lägenheter utan källare. Den totala tempererade bruksarean är 1.311 m². Byggnaden är uppförd i södra Stockholm. Fläktrum är placerat på vinden och undercentral i bottenvåningen. Referenskostnad utgörs av ett F-system.

Ventilation: F, FTX eller FX

Kostnader för F-ventilation

F-ventilation (referens) 257 SEK/m² BRA_t

FTX-system alternativ 1

Kostnad per m² 740 SEK/m² BRA_t

Merkostnad per m² 478 SEK/m² BRA_t

Kostnader för FTX-system alternativ 2

Kostnad per m² 458 SEK/m² BRA_t

Merkostnad 188 SEK/m² BRA_t

Kostnader för FX-system

Kostnad per m² 442 SEK/m² BRA_t

Merkostnad 185 SEK/m² BRA_t

Fönsterbyte från 1,2 till 1,0 W/m² K

Merkostnad för fönster 34,5 SEK/M² BRA_t

Kostnader för utökad isolering av vägg från 50 mm till 80 mm fasadskiva

Merkostnad 10,4 SEK/m² BRA_t

Kostnad för energieffektiva vitvaror

Merkostnad 45 SEK/m² BRA_t

B Kostnader för åtgärder i kontorsbyggnaden

Frikyla

Merkostnad 43 SEK/m² BRA_t

Energieffektiv belysning

Merkostnad 51 SEK/m² BRA_t

Energieffektiv ventilationMerkostnad 27 SEK/m² BRA_t**Högeffektiv ventilation**Merkostnad 86 SEK/m² BRA_t**Solskyddsglas**Merkostnad -19 SEK/m² BRA_t**Luftkylalösning med variabelt luftflöde (VAV)**VAV, merkostnad 410 SEK/m² BRA_tVAV och energieffektiv belysning, merkostnad 461 SEK/m² BRA_t**Egen kylmaskin**Merkostnad 51 SEK/m² BRA_t**C Kostnader för åtgärder i tillförselsystem**

Hetvattenpanna biobränsle: Investering 3.900 SEK/kW(värme). Bränsle 0,14 SEK/kWh

Fjärrvärmemix (alla produktionsanläggningar inklusive spets med mera): Investering 4.000 SEK/kW, bränsle 0,24 SEK/kWh

Kraftvärme, naturgasbaserad: Investering 8.600 SEK/kW, bränsle 0,29 SEK/kWh

Kraftvärme, biobränslebaserad: Investering 8.400 SEK/kW, bränsle 0,14 SEK/kWh

Konvertera spetsspannans fossila olja till bioolja: Marginell investering, bränsle cirka 0,36 SEK/kWh

Bilaga 2 Primärenergifaktorer och koldioxidutsläpp

Bakgrund till faktorer använda i denna studie

Primärenergifaktorerna (PEF) i denna studie beräknas med hjälp av ett antal delverkningsgrader som hämtats från studien ”Allt eller inget - systemgränser för byggnaders uppvärmning” oktober 2004 (reviderad version januari 2005)⁵⁰.

De olika delverkningsgrader som används representerar följande förluster:

- förluster vid utvinning och förädling under framtagningssfasen av respektive bränsle
- omvandlingsförluster i centrala produktionsanläggningar för el, fjärrvärme och fjärrkyla
- distributionsförluster för el, fjärrvärme och fjärrkyla
- omvandlingsförluster i enskilda produktionsanläggningar för värme och kyla
- omvandlingsförluster i undercentraler för fjärrvärme och fjärrkyla

Beroende på slutprodukt (el, värme eller kyla) och produktionssätt (till exempel enskild värmeanläggning eller fjärrvärme) används olika kombinationer av ovan nämnda delverkningsgrader för att få fram värdena för primärenergifaktorerna, PEF. Primärenergifaktorerna beräknas med hjälp av följande formel:

$$PEF = 1 / (\eta_{\text{utvinning och förädling}} * \eta_{\text{omvandling}} * \eta_{\text{... osv}})$$

För kraftvärme beräknas dock primärenergifaktorn på ett annorlunda sätt, med primärenergimetoden. Metoden ger en hög värdering av elproduktionen jämfört med värmedelen. PEF för värmedelen beräknas enligt följande formel:

⁵⁰ ”Allt eller inget”-studien bygger i sin tur på bland annat:

Methodological guidelines. Final Report. ECLIPSE Environmental and Ecological Life Cycle Inventories for present and future Power Systems in Europe. Vattenfall (2004).

Bärring, M, Nyström, O Nilsson, P-A, Olsson, F, Egard, M, Jonsson, P, El från nya anläggningar 2003, Elforsk rapportnummer: 03:14.

IVL (2003), Miljöanpassade byggnader: Generella inventeringsregler för produkter och processer. i syfte att erhålla naturvetenskapligt adderbara miljödata med hänsyn till krav i ISO 14041 Miljöanpassade byggnader. B1507.

ISO 13601 Technical energy systems - Structure for analysis -- Energyware supply and demand sectors.

ISO 13602-1 Technical energy systems - Methods for analysis.

Marginal elproduktion och CO₂-utsläpp i Sverige, ER14:2002, Statens energimyndighet.

Energy-Related Environmental Impact of Buildings (2001). Environmental framework, Annex 31.

Wahlström, Olsson-Jonsson, Ekberg (2001) Miljöpåverkan från byggnaders uppvärmningssystem, EFFEKTIV. ISBN 91-7848-824-9.

Wahlström, Olsson-Jonsson, (2001) Miljöpåverkan från byggnaders uppvärmningssystem Etapp 2, EFFEKTIV. ISBN 91-7848-902-4.

$PEF = (\sum \text{använt bränsle} * PEF \text{ för bränslet} - \text{tillverkad el} * PEF \text{ för genomsnittlig europeisk el}) / \text{levererad värme till kund.}$

Kraftvärmebaserad el anses vara lika mycket värd som den genomsnittliga europeiska elproduktionen.

Hjälpel beräknas som en procentsats av producerad el, värme respektive kyla. Den primärenergi som åtgår för att producera hjälpelen räknas ut med PEF för el (genomsnittlig europeisk el i denna studie). Primärenergin och bidraget till koldioxidutsläpp för hjälpel bakas sedan in i respektive PEF- och CO₂-faktor för värme- och kylproduktion. I de totala primärenergifaktorerna och CO₂-faktorerna ingår även energibehov och utsläpp från transporter.

Faktorerna för koldioxidutsläpp för olika bränsleslag är hämtade från Svensk fjärrvärmes rapport ETs 6324 "Underlag för Fjärrvärmeföreningens program för insamling av energi- och miljöstatistik och dess sammankoppling med miljöbelastningsprogrammet EFFem", 2004-03-17. Koldioxidfaktorerna [mgCO₂/MJ_{bränsle}] tillsammans med den uträknade primärenergin ger sedan koldioxidutsläpp för olika produktionssätt av el, värme och kyla.

Faktorer för förluster vid utvinning och förädling av olika bränslen

De verkningsgrader som används för framtagning av olika typer av bränslen är också hämtade från "Allt eller inget" rapporten och redovisas nedan:

- Flis 0,96
- Pellets 0,85
- Avfall 1,0⁵¹
- Olja 0,86
- Naturgas 0,86
- Kol 0,85

⁵¹ För avfall har faktorn 1 antagits

Använda primärenergi- och CO₂-faktorer för olika energilag

	PEF*	CO ₂ -faktor**		
		[g/kWh]		
Fjärrvärme				
Hetvattenpanna;				
Biobränsle flis	1,35	11		
Biobränsle pellets	1,52	8		
Avfall	1,30	168		
Stenkol	1,52	503		
Naturgas	1,50	322		
Olja	1,50	439		
Hetvattenpanna med rökgaskondensering;				
Biobränsle flis	1,11	10		
Avfall	1,17	152		
Naturgas	1,29	277		
Kraftvärme;				
Biobränsle med rökgaskondensering	0,42	8	alfa (el/värme)	Verkningsgrad
Avfall	0,72	92	0,40	1,10
Stenkol	0,69	222	0,32	0,95
Naturgas	0,01	0 (-2)	0,62	0,89
			1,10	0,90
Värmepump (el)	0,99	142		
Elpanna	2,86	411		
Spillvärme	0,05	7		
Enskild värme				
Solenergi	0,05	7		
Bergvärme/el	0,94	136		
Pellets	1,62	8	0	
EI	2,55	367		
EI				
EI****	2,50	360	144	
Fjärrkyla				
Fjärrkyla- vp med fjv/fjkprod	0,18	26		
Fjärrkyla-vattenkyld kylmaskin	0,62	90		
Fjärrkyla-kylmaskin med kyltorn	0,76	110		
Enskild kylmaskin	0,81	116		

Använda primärenergi- och CO₂-faktorer för studiens tillförelalternativ

	PEF*		CO ₂ -faktor**	
	Primärenergi- metoden	Alternativ- metoden	Primärenergi- metoden [g/kWh]***	Alternativ- metoden
Olika tillförelalternativ				
1; Svensk fjärrvärmemix 2010	0,84	0,99	64	83
2; Fjärrvärme med biohetvattenpanna som bas (92 %) och oljehetvattenpanna som spets (8 %)	1,14	1,14	44	44
3; Fjärrvärme med naturgasbaserad kraftvärme som bas (90 %) och biobaserad hetvattenpanna som spets (10 %)	0,17	1,21	0 (-0,8)	227
4; Fjärrvärme med biobaserad kraftvärme som bas (90 %) och biobaserad hetvattenpanna som spets (10 %)	0,53	0,81	8	9
5; Lokal bergvärmepump som bas (90 %) och elpanna som spets (10 %)	1,10	1,10	159	159
6; Lokal pelletspanna som bas (90 %) och elpanna som spets (10 %)	1,71	1,71	44	44

* Hjälpen och dess primärenergi är också inräknad för värme- och kylproduktion

** För värme- och kylproduktion ingår även en komponent (proportionell) för hjälpen med dess CO₂-faktor

*** $[g/kWh_{\text{värme}}]/[g/kWh_{\text{el}}]/[g/kWh_{\text{kyla}}]$

**** PEF 2,5 enligt föreslagen CEN-standard. CO₂-faktor gäller naturgaskombikondens

Bilaga 3 Sammanställning av använda formler

$$LCC = (k_{\text{värme}} \cdot e_{\text{värme}} + k_{\text{kyla}} \cdot e_{\text{kyla}} + k_{\text{el}} \cdot e_{\text{el}}) N$$

$k_{\text{värme}}$ = värmekostnad [SEK/kWh]

$e_{\text{värme}}$ = värmeförbrukning [kWh/m² BRA_t]

k_{el} = elkostnad [SEK/kWh]

e_{el} = elförbrukning [kWh/m² BRA_t]

$$N = \frac{(1 + r_k)^t - 1}{r_k (1 + r_k)^t}$$

r_k = kalkylränta

t = tid [år]

$PEF = (\sum \text{använt bränsle} * PEF \text{ för bränslet} - \text{tillverkad el} * PEF \text{ för genomsnittlig europeisk el}) / \text{levererad värme till kund.}$

$$PEF = 1 / (\eta_{\text{utvinning och förädling}} * \eta_{\text{omvandling}} * \eta_{\text{... OSV}})$$

