

Lönsamma energisparåtgärder i 60-talets  
flerbostadshus. - Fallet Grevegårdsvägen

Stig-Inge Gustafsson och Björn G. Karlsson  
IKP/Energisystem, Linköpings Universitet, S-581 83 Linköping  
Rapport nr. LiTH-IKP-R-727



# FÖRORD

Följande rapport redovisar ett projekt initierat och finansierat av Göteborg Energi AB. Projektet behandlar kostnadseffektiva ROT-åtgärder, dvs hur man lämpligen bör förfara för att åstadkomma lägsta möjliga livscykelkostnad, LCC, för en befintlig byggnad genom Reparations-, Ombyggnads- och Tillbyggnadsåtgärder. Begreppet LCC är centralt i rapporten. I detta ingår summan av kostnaderna för ombyggnation, underhåll samt drift av byggnaden ett antal år, dvs under projektets återstående livslängd. Här bör noteras att endast kostnader som har att göra med energirelaterade åtgärder finns behandlade, kostnader för städning, hissar mm finns ej med i analysen. Den metodik som använts har sitt ursprung i ett projekt genomfört tillsammans med Malmö Energi AB, Fastighetskontoret i Malmö samt den sk sbybyggargruppen där landets största byggentreprenörer fanns representerade. Samtidigt med utvecklingen av metodiken togs ett datorprogram fram, OPERA, som numera kan köras på en vanlig persondator. Rapporten är skriven så att ett verkligt hus i området Grevegården behandlas. Med utgångspunkt från denna byggnad diskuteras sedan indata, beräkningar och resultat. En känslighetsanalys avslutar rapporten i denna del, dvs vi undersöker hur den funna bästa strategin förändras för smärre förändringar i indata.

OPERA behandlar endast åtgärder som på något sätt kan knytas till värmeanvändningen i ett hus. Tilläggsisolering och fönsterbyten liksom byte av uppvärmningssystem behandlas således i detalj medan ex. vis elanvändningen i tvättstugor mm endast kommer in som den mängd gratisenergi som finns tillgängligt i byggnaden. Då elanvändningen i byggnader på senare år fått utökad uppmärksamhet pga den förestående kärnkraftsavvecklingen mm har dessutom en stor del av utrymmet i rapporten ägnats åt möjliga förändringar av elanvändningen i ett flerbostadshus.

Vi har också analyserat energisparåtgärder i ett vidare perspektiv genom att bygga upp en matematisk modell av kraftvärmesystemet i Göteborg. Denna modell har sedan använts för att undersöka om kommunens kostnader skulle kunna minskas om energisparåtgärder införs i bebyggelsen.

Rapporten avslutas med en checklista där man får underlag för en snabbgenomgång av en byggnad utan att använda det särskilt utarbetade datorprogrammet.



# SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

I rapporten behandlas ett flerbostadshus i området Grevegården i Göteborg. Byggnaden är ansluten till det befintliga fjärrvärmesystemet och i förutsättningarna ingår att så kommer att vara fallet även efter en optimering. Det som kan påverkas är således dels byggnadens termiska status i form av en förändrad grad av isolering eller byte av fönster, dels ventilationssystemet ex. vis en installation av en frånluftvärmepump. Vid analysen har använts ett datorprogram, OPERA, där en optimal strategi kan tas fram för energirelaterade ROT-åtgärder. Analysen visar att endast de enda lönsamma åtgärderna är att byta fönster, till typen treglas, samt att täta byggnaden. Extra isolering på ex. vis vindsbjälklag eller ytterväggar är ej lönsamt. Inte heller en frånluftvärmepump är lönsam.

Om det statliga stödet för bostadsfinansiering används kommer både en utvändigt isolering av ytterväggarna samt en frånluftvärmepump att falla ut i en optimal lösning. Dessa åtgärder förefaller dock att balansera på randen till lönsamhet vilket innebär att de skulle kunna hamna utanför den optimala strategin om ex. vis räntekravet skärps.

Vid alla lönsamhetsanalyser är det naturligtvis viktigt att priser på apparater och byggnadsåtgärder är korrekta. Till grund för våra analyser i detta fall har till stor del erfarenhetsvärden från andra byggnadsprojekt fått användas. Familjebostäder i Göteborg AB som äger byggnaden har gått igenom de indata som använts men har inte haft anledning att ändra dessa annat än marginellt. Vi har därför inte funnit det vara av intresse att behandla själva insamlingen av indata i detalj men principerna beskrivs under respektive rubrik.

Vad gäller elanvändningen i grevegårdsområdet har vi ingen detaljkännedom om ex. vis områdets tvättstugor och de apparater som finns installerade. Kapitel om elanvändning har därför fått en mera allmän inriktning dvs beskrivningen borde kunna tillämpas på vilket område som helst. En stor del av det arbete som lagts ner under denna rubrik har bestått i att studera andra undersökningar så att allmänna slutsatser skall kunna dras.

Vi har dessutom försökt att bygga upp en matematisk modell där även kommunens kostnader tas med vid optimeringen. Då vi antagit att en kraftvärmesituation föreligger kommer inga åtgärder som sparar värme i bebyggelsen att falla ut som lönsamma. Detta då den kortsiktiga marginalkostnaden för värme är för låg. Inte heller kunde visas på någon lönsamhet för kommunen att spara el genom ROT - åtgärder på byggnadskroppen men möjligheterna ökade härvid högst väsentligt jämfört med värmefallet. Den kortsiktiga marginalkostnaden för el är således avsevärt mycket högre än den för värme.

För den enskilde fastighetsägaren finns dock goda möjligheter att uppnå lönsamhet vid byte av befintlig eldriven utrustning i gemensamma tvättstugor och i ventilationssystemen. Detta gäller även en enskild hyresgäst som skulle kunna erhålla en lägre total kostnad om ex. vis en uttjänt kyl- och frysanläggning byts mot en ny och elsnålare apparat.

Vi vill också poängtera att de analyser som genomförts till grund för denna rapport endast skall vara en del av det beslutsunderlag man bör ha för att ta slutgiltig ställning till ett renoveringsprojekt. Det finns många andra faktorer, t. ex. handikappanpassning, hissar, estetiska synpunkter m.m., som kan avgöra hur fastighetsägaren i slutändan bör agera.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>ÅTGÄRDER PÅ VÄRMESIDAN</b>	<b>11</b>
2.1	Byggnaden och krav på indata . . . . .	11
2.1.1	Bostadsfinansieringssystem . . . . .	12
2.1.2	Byggnadens geometri . . . . .	12
2.1.3	Byggnadens termiska status . . . . .	13
2.1.4	Återstående livslängd på klimatskalet . . . . .	13
2.1.5	Ventilationssystem . . . . .	14
2.1.6	Befintligt värmesystem . . . . .	14
2.1.7	Tappvarmvattenförbrukning . . . . .	15
2.1.8	Nytt klimatskal . . . . .	15
2.1.9	Ny livslängd på ROT-åtgärderna . . . . .	15
2.1.10	Ekonomiska parametrar . . . . .	16
2.1.11	Kostnader för byggnadsåtgärder . . . . .	17
2.1.12	Kostnader för byte av värmesystem . . . . .	18
2.1.13	Klimat . . . . .	19
2.1.14	Åtgärder på ventilationsanläggningen . . . . .	19
2.1.15	Projektnamn och värden för resultatredovisning . . . . .	20
2.1.16	Solinstrålning samt övrig gratisenergi . . . . .	20
2.1.17	Energipriser och taxor . . . . .	20
2.2	KORT OM METODIKEN . . . . .	23
<b>3</b>	<b>RESULTAT FRÅN BASKÖRNING</b>	<b>31</b>
3.1	Oundvikliga ROT-kostnader i befintligt hus . . . . .	31
3.2	Kostnader för byte av värmesystem, befintligt hus . . . . .	32
3.3	Kostnader för energi, befintligt hus . . . . .	32
3.4	Livstidskostnad, befintligt hus . . . . .	35
3.5	Inverkan av en ROT - åtgärd på vindsbjälklaget . . . . .	36
3.6	Byte av fönster . . . . .	38
3.7	Tätning av fönster och dörrar . . . . .	39
3.8	Installation av en frånluftvärmepump . . . . .	40
3.9	Primär rot-strategi . . . . .	41
3.10	Byte av värmesystem . . . . .	43
<b>4</b>	<b>KÄNSLIGHETSANALYS</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>Bostadsfinansieringssystem</b>	<b>49</b>

<b>6</b>	<b>ELEFFEKTIVISERING</b>	<b>53</b>
6.1	Elpriser . . . . .	53
6.2	Fastighetsel . . . . .	54
6.2.1	Belysning i trapphus m.m. . . . .	54
6.2.2	Utomhusbelysning, motorvärmare m.m. . . . .	55
6.2.3	Drift av ventilationssystem . . . . .	56
6.2.4	Drift av pumpar . . . . .	57
6.2.5	Elanvändning i gemensamma tvättstugor . . . . .	57
6.3	Elanvändning i privata hushåll . . . . .	60
6.3.1	Spisar . . . . .	63
6.3.2	Kyl- och frysskåp, frysboxar m.m. . . . .	63
6.3.3	Diskmaskiner . . . . .	63
6.3.4	Tvättmaskiner, torktumlare och torkskåp . . . . .	64
6.3.5	Övrig eldriven utrustning . . . . .	64
6.3.6	Sammanfattning elanvändning i hushåll . . . . .	64
<b>7</b>	<b>Förhållandet kraftvärme . . .</b>	<b>67</b>
7.1	Prissättning värme - el . . . . .	67
7.2	Kraftvärmeanläggning - matematisk modell . . . . .	68
7.2.1	Ellast . . . . .	70
7.2.2	Värmelast . . . . .	70
7.2.3	Eltariff Vattenfall . . . . .	71
7.2.4	Kostnader för egen el- och värmeproduktion . . . . .	71
7.2.5	Besparingsåtgärder för el och värme . . . . .	72
7.2.6	Modell för elproduktion . . . . .	72
7.2.7	Modell för värmeproduktion . . . . .	75
7.2.8	Lösning av produktionsmodellen . . . . .	77
7.2.9	Modell av besparingsåtgärder . . . . .	78
7.2.10	Ökad elproduktion - elbrist . . . . .	84
7.2.11	Laststyrning av byggnader . . . . .	85
7.3	Sammanfattning energisparåtgärder . . . . .	85
<b>8</b>	<b>Förslag till åtgärder . . .</b>	<b>87</b>
<b>9</b>	<b>CHECKLISTA</b>	<b>89</b>
<b>10</b>	<b>BILAGOR</b>	<b>95</b>
10.1	Bilaga 1 . . . . .	96
10.2	Bilaga 2 . . . . .	100
10.3	Bilaga 3 . . . . .	104



# Kapitel 1

## INLEDNING

Under våren 1991 tog Göteborg Energi AB initiativet till ett forskningsprojekt där ett bostadsområde i Södra Tynnered, Göteborg, skulle studeras närmare vad gäller Reparations-, Ombyggnads- och Tillbyggnadsåtgärder, ROT. Det område som valdes var beläget i omedelbar anslutning till Grevegårdsvägen och består av 779 lägenheter i 9 st trevånings lamellhus. Bostadsområdet ägs av Familjebostäder i Göteborg AB och det innehåller förutom bostäder c:a 1000 m<sup>2</sup> lokaler och omkring 550 bilplatser i varmgarage. Grevegårdsområdet är i behov av förnyelse bl a har man problem med fuktskador vid tak och rötskador på fönsterkarmar m.m. Området var därför utmärkt som demonstrationsexempel.

Energiverket anlät sedan avd Energisystem, vid Tekniska högskolan i Linköping, för att avgöra vilka åtgärder som lämpligen borde komma till stånd under förutsättning att energifrågorna gavs en central betydelse. Tyvärr visade det sig att projektering mm redan drivits så långt av Familjebostäder att högskolan inte hade någon reell möjlighet att påverka de åtgärder som skulle komma till stånd i bebyggelsen. Då det inte fanns någon möjlighet att hitta ett nytt lämpligt område bestämdes att ett av husen i Grevegården skulle tjäna som exempel vid analyserna och att den rapport som skulle tas fram skulle kunna användas som exempel vid studiet av andra områden.

Vid högskolan hade man utarbetat ett program, OPERA, där en byggnad i form av siffror kunde matas in i en dator. Genom att köra programmet fick man fram ett nytt hus som var åtgärdat på bästa möjliga sätt dvs byggnadens livstidskostnader var minimerade. I livstidskostnaderna ingår då alla ombyggnads-, drifts- och underhållskostnader. En begränsning med detta angreppssätt är att endast åtgärder som på något sätt kan åsättas ett värde i pengar kan behandlas. Estetiska värden, handikappvänlighet m.m. måste bedömas oberoende av datorprogrammet. En annan begränsning är att endast energirelaterade åtgärder finns representerade. Om byggnaden blir mera lättstädad eller ej, ett resultat som skulle kunna kvantifieras i pengar, behandlas således inte alls.

Det ligger i sakens natur att OPERA endast kan behandla åtgärder på värmesidan i en byggnad. Elanvändningen behandlas ej i annat fall än om den används för uppvärmningsändamål av själva byggnaden. Värmesystem som använder el som energikälla behandlas därför ingående medan ex. vis belysningsåtgärder endast kommer in om de på något sätt förändrar användningen av värme, t. ex. om de påverkar tillgången på gratisenergi.

Byggnadens elanvändning som den ex. vis kommer till uttryck i belysning,

fläktar och tvättstugor behandlas därför med en annan metodik i flera separata kapitel och har dessutom en mera allmän karraktär.

## Kapitel 2

# ÅTGÄRDER PÅ VÄRMESIDAN

Som nämnades ovan har ett datorprogram, OPERA, använts för att beräkna den bästa ombyggnadsstrategin för en byggnad i grevegårdsområdet. Programmet finns bl a beskrivet i [1] men vi tror att metodiken enklast förklaras om byggnaden i grevegården behandlas som ett räkneexempel och vi kommer därför att visa exakt hur programmet och dess indata används. Denna rapport är inte tänkt som ett material enbart för att beskriva OPERA-modellen men för att kunna diskutera detaljer måste det finnas en klart definierad situation att utgå ifrån. Den läsare som inte vill tyngas av för många detaljer rekommenderas att hoppa över avsnittet nedan och försätta läsningen under avsnitt 2.2.

### 2.1 Byggnaden och krav på indata

Till datorprogrammet hör en indatafil, dvs ett antal värden som beskriver hur huset ser ut, de kostnader som förknippas med drift och ombyggnader, klimat osv, dvs det beräkningsunderlag som krävs för att den lägsta livstidskostnaden skall kunna tas fram. Indatafilens utseende framgår av Figur 2.1.

Det kan verka så gott som omöjligt att få fram så mycket siffror för en byggnad man i ett inledningsskede inte vet något om. Datorprogrammet levereras dock med en befintlig indatafil och detta innebär att man sakta men säkert kan förändra denna så att den beskriver det aktuella huset i stället för det ursprungliga. I och med att OPERA numera kan köras i en vanlig, ex. vis bärbar, persondator skulle man till och med kunna skriva i nya värden i indatafilen ute på plats i byggnaden och göra beräkningar allteftersom ytterligare inventering sker. Om beräkningarna visar att den befintliga bjälklagsisoleringens tjocklek är av avgörande betydelse för den valda optimerade strategin skulle man på plats och ställe kunna förvissa sig om att rätt indata valts. Varje beräkning tar inte mera än någon minut i anspråk vilket dessutom innebär att ett flertal körningar kan utföras vid varje inventeringstillfälle.

Studeras Figur 2.1 finner man att indatafilens första värde består av ett heltal, 0. Då OPERA-modellens källkod är skriven i FORTRAN är det viktigt att använda heltal, flyttal, dvs tal med decimalpunkt, och bokstäver på samma sätt som i filen nedan. Ett komma eller en punkt för mycket eller för litet gör att

indatafilen kan feltolkas. Normalt innebär dock ett sådant fel att programmet avbryts och att ett felmeddelande exponeras på skärmen.

### 2.1.1 Bostadsfinansieringssystem

Det första värdet i indatafilen är som synes ett heltal. I Figur 2.1 ovan är värdet lika med 0 vilket innebär att beräkningen skall ske utan att hänsyn skall tas till det svenska systemet för bostadsfinansiering. Detta värde skall inte ändras av operatören. Om man vill studera inverkan av systemet med statliga bostadslån måste ett annat datorprogram köras först vilket transformerar indatafilen till en annan form. Detta program ändrar därvid självt detta första värde vilket innebär att indatafilen i fortsättningen kommer att tolkas annorlunda. En fil som man själv modifierat bör således fortfarande innehålla värdet 0 i sin första position. Se även det kapitel som speciellt ägnats åt bostadsfinansieringsstödet.

### 2.1.2 Byggnadens geometri

Det är naturligt att byggnadens storlek har betydelse för hur denna ska åtgärdas på ett optimalt sätt. I indatafilens andra rad skall således anges vilken area man har på vindsbjälklag, golv, ytterväggar exklusive fönster samt den totala arean på lägenheterna. De första tre värdena, 830.0, 830.0 och 1484.0 m<sup>2</sup> används sedan för att beräkna den sk transmissionskoefficienten i byggnaden medan lägenhetsarean, 2958.0 m<sup>2</sup> bl. a. används för att beräkna hur mycket förlusterna är för husets ventilation. Av areauppgifterna är det vindsbjälklagets area som brukar ställa till problem. Den area som ska användas är den area på isoleringen som skiljer varma ytor från kalla. Ibland kan det således vara diskutabelt om man ska använda bjälklagsarean eller ytterväggsarean för vissa byggnadsdelar. Det man bör tänka på är att kostnaderna för en isoleråtgärd bl. a. beror på arean och frågan är då var denna bäst hör hemma. Ibland tvingas man att ansätta närmevärden då det inte går att avbilda situationen helt korrekt i ett datorprogram.

Nästa rad i indatafilen anger hur stora och hur många fönster som finns. Då programmet tar hänsyn till solinstrålning från olika väderstreck måste fyra olika grupper av värden anges. Det första värdet på raden anger arean på ett av de fönster som finns mot norr, 1.11 m<sup>2</sup> medan nästa värde anger antalet fönster, 114 st. Notera att den sista siffran är ett heltal. Om fönstren i verkligheten inte är helt orienterade mot norr har ingen större betydelse för programmet. Det viktiga är att känna till att värdena för ”norr-fönstren” förknippas med solinstrålningsvärdena för norrfönster längre ner i indatafilen. Anledningen till att antalet fönster och deras area måste anges är att kostnadsfunktionerna för fönster har detta angreppssätt. Se [2] för närmare detaljer. Nästa grupp anger på motsvarande sätt hur stor area ett österfönster har, 1.72 m<sup>2</sup> och antalet sådana, 24 st. De återstående värdena visar förhållandena mot söder och väster. Det har ibland visat sig att det finns många olika typer av fönster mot ett och samma väderstreck. Operatören tvingas då att ange ett representativt medelvärde vilket faktiskt skett just i detta fall med grevegården. Om man är intresserad av att studera lönsamheten just för att byta fönster från en typ till en annan kan man sätta in värden på just den fönstertyp som önskas oavsett om det finns andra befintliga fönster som ex skiljer sig åt vad det gäller kostnaderna. Man bör dock notera att fönsterarean och antalet fönster används för att beräkna byggnadens

transmissionskoefficient varför denna kanske skiljer sig något från beräkningar för andra förutsättningar. Många byggnader saknar fönster i en eller flera väderstreck. Man bör då sätta antalet fönster till 0 i stället för att sätta arean till ett väldigt litet värde. Detta beror på risken för numeriska fel då division ska ske med ett värde nära noll.

### 2.1.3 Byggnadens termiska status

Den tredje raden i indatafilen visar U-värden, tidigare k-värden, på byggnads-skalet. Det första värdet,  $0.31 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ , visar befintligt U-värde på vindbjälklaget, det andra på golvet medan det tredje visar U-värdet på den befintliga ytterväggen. Liksom tidigare kan det vara svårt att exakt beskriva verkligheten genom endast tre olika U-värden, det kan ju finnas många olika typer av ytterväggar i en och samma byggnad. Återigen tvingas operatören att använda approximativa värden då det inte är möjligt att konstruera ett datorprogram som klarar "allt". Det största problemet här brukar vara att beräkna k-värdet för källarbjälklaget. Här finns ju flera konstruktioner ex. platta på mark, kryputrymme eller traditionell källare. Erfarenheter från utvecklingen av programmet visar att lönsamheten med en tilläggsisolering snabbt avtar då det befintliga U-värdet på byggnadsdelen ökar. Ett U-värde som är bättre än c:a  $0.5 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$  innebär således att en tilläggsisolering med stor sannolikhet blir olönsam se referens [3]. Det finns dessutom svårigheter att korrekt beräkna det befintliga U-värdet på ex. vis en källarvägg som gränsar mot omgivande jord. Viss handledning kan dock fås av ekvationer publicerade i referens [4] sidan 219. Resultatet av analyserna brukar dock bli att det resulterande U-värdet blir så lågt att någon lönsam tilläggsisolering ej kommer till stånd. Normalt behöver man därför inte undersöka förhållandena i detalj utan erfarenhetsvärden är tillräckliga. Det kan dock vara av viss vikt att erhålla ett något så när riktigt U-värde på bjälklag eller väggar mot mark då värmeanläggningens storlek kan påverkas.

Indatafilens nästa rad anger de befintliga fönstrens U-värde, här  $3.0 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ . På samma sätt som tidigare kan det i en byggnad finnas flera olika typer av fönster och operatören får därför välja ett approximativt värde som gäller för alla fönster tillsammans. Om man vill undersöka endast en typ av fönster kan man givetvis sätta in värdet för just detta men då kan man få ett något felaktigt värde på byggnadens transmissionskoefficient.

### 2.1.4 Återstående livslängd på klimatskalet

Många av de energibesparande åtgärder som kan komma ifråga är så dyra att det inte lönar sig att byta ut en väl fungerande byggnadsdetalj enbart av energiskäl. Om delens kvarvarande livslängd är mycket kort, ex. vis rötskadade fönster som måste bytas ut ändå, kan det ibland vara lönsamt att satsa på en konstruktion med högre termisk standard. Tyvärr är det svårt att ange exakt hur lång återstående livslängd en byggnadsdel har. Generellt kan man säga att fel antaganden är viktigare ju kortare den återstående livslängden är. Om denna är 40 eller 50 år har därför inte så stor betydelse medan skillnaden kan vara avgörande om intervallet ligger mellan 5 och 10 år istället. I teorin kring OPERA behandlas detta som skillnader i den skoundvikliga ROT-kostnaden vilken ska beskrivas mera i detalj senare. De värden som ska redovisas i indatafilen beskriver den

återstående livslängden för vindsbjälklag, "golvsbjälklag", ytterväggarnas utsida, ytterväggarnas insida samt fönstren. I detta fall har alla värden satts till 0 utom golvsbjälklaget som satts till 50 år. Genom att sätta den kvarvarande livslängden till en lång period innebär att denna åtgärd troligen ej kommer att bli optimal. Då det ansågs orimligt att göra något åt golvsbjälklaget ur energisynpunkt sattes helt enkelt livslängden på den befintliga byggnadsdelen till ett så stort värde att den aldrig kommer ifråga för några ROT-åtgärder. Då de andra byggnadsdelarna ansetts vara i sådant skick att de snarast bör bytas ut har dessa däremot åsatts livslängden 0 år.

### 2.1.5 Ventilationssystem

Det befintliga ventilationssystemet förutsätt vara av typen "naturlig ventilation", dvs inga fläktar finns som driver på luften i systemet. Det förutsätts också att inget återvinningssystem för värme finns installerat vilket innebär att den värme som vädras ut via ventilationssystemet antas vara förlorad. Det värde som skall anges i indatafilen är antalet luftomsättningar per timma. Det är inte alltid lätt att uppskatta detta värde men i [1] finns ett antal referenser till litteratur inom området. I detta fall har antalet luftomsättningar antagits vara 0.6 per timma. Det bör noteras att Svensk Byggnorm angav att ett visst minsta luftflöde skulle kunna upprätthållas i byggnaden, vilket omräknat blir ca 0.5 oms/h. Då byggnaden tätas antas i programmet att luftflödet ej får understiga detta värde. I fallet Grevegården antas således luftflödet kunna minskas med 0.1 oms/h utan olägenhet för de boende.

Den återstående livslängden för ventilationssystemet antas här vara mycket lång. Det finns således inget fog för att ta med oundvikliga kostnader för detta system.

Som nämndes ovan antas i dataprogrammet att det inte finns någon värmeåtervinning installerad i byggnaden som den ser ut idag. Detta kan synas vara en stor nackdel men sådana hus har oftast inte uppnått en sådan ålder att ROT-åtgärder övervägs. Det är dock möjligt att genom viss omprogrammering ta hänsyn även till sådana fall, om det mot förmodan skulle vara önskvärt. Som framgår av det följande kommer naturligtvis värmeåtervinningssystem som ROT-åtgärd att prövas av programmet.

### 2.1.6 Befintligt värmesystem

Nästa rad i indatafilen ägnas åt det befintliga värmesystemet. Först måste typen anges, sedan den effekt som är installerad, pannans verkningsgrad samt hur lång kvarvarande livslängd som pannan har. I OPERA-modellen kan sju stycken värmesystem anges som befintliga. Dessa redovisas nedan tillsammans med den beteckning som måste användas:

- Oljepanna OIL-BOILER
- Elpanna, fast taxa ELFIX
- Fjärrvärme, fast taxa DISFIX
- Jordvärmepump HPGROUND
- Naturgas NATGAS

- Fjärrvärme, differentierad taxa DISDIFF
- Elpanna, differentierad taxa ELDIFF

Notera att ' -tecken måste omgärda text, vilket i detta fall är det samma som bokstäver, i indatafilen. I fallet Grevegården har vi således antagit att ett fjärrvärmesystem är installerat och där en differentierad taxa används av energiverket. En differentierad taxa är en sådan där priset varierar efter tiden. Numera är det vanligt att tillämpa ett sommar och ett vinterpris vilket mera ingående behandlas nedan. Effekten på anläggningen har satts till 110 kW, verkningsgraden till 0.95 medan den kvarvarande livslängden på befintligt system satts till 5 år. Att effekten på anläggningen skall anges innebär att programmet kan studera om värmesystemet är någorlunda rätt dimensionerat. Värdet används bara för denna kontroll medan den i programmet beräknade effekten används häranefter.

### 2.1.7 Tappvarmvattenförbrukning

Den årliga tappvarmvattenförbrukningen måste anges på nästa rad i indatafilen. Värdet 42000 anger förbrukningen i kWh/år. I OPERA antas för de vanliga värmesystemen att ingen extra effekt skall behövas för beredning av tappvarmvatten detta då toppeffekten används så sällan. Då de bivalenta systemen dvs oljepanna - värmepump behandlas tas dock hänsyn till att viss effekt åtgår. Alla detaljer redovisas i referens [1].

### 2.1.8 Nytt klimatskal

Det är också nödvändigt att ange de termiska egenskaperna för de nya byggnadsmaterial som eventuellt ska appliceras på byggnaden. Siffrorna anger de s.k.  $\lambda$ -värdena på tillkommande isolering i  $W/m \times K$  för bjälklaget, golvet samt ytterväggens ut- och insida. Härfter följer U-värden för de tre typerna av nya fönster som kan behandlas. Det första av fönstervärdena,  $2.0 W/m^2 \times K$  kan sägas avse U-värdet för nya treglasfönster. Det finns dock ingenting i OPERA som knyter samman värdet just med denna typ av fönster. Det viktiga är dock att detta värde är sammankopplat med motsvarande värden för kostnader, solstrålning mm nedan. För enkelhets skull antas därför att det första värdet gäller för treglasfönster, det andra, 1.5, för treglasfönster med lågemissionsglas medan det tredje värdet 1.2 antas gälla för treglasfönster med lågemissionsglas och gasfyllning. Erfarenheten har visat att den termiskt bästa typen av fönster mycket sällan väljs vid en optimal strategi. Om så ändå skulle hända kommer programmet att stanna och ett felmeddelande att skrivas ut. Det man då får göra för att undersöka även detta fall är att byta ut alla värden som avser den bästa typen av fönster och sätta in dem i indatafilen för det näst bästa alternativet. I annat fall krävs en viss ytterligare programmering.

### 2.1.9 Ny livslängd på ROT-åtgärderna

När en ROT-åtgärd kommer till stånd innebär detta att den ordinarie processen med utbyte av byggnadsdelar avbryts och förändras. Antag att husets fönster började att bli dåliga och måste bytas efter 5 år. Vid detta tillfälle sätts nya fönster in vilka antas hålla i 20 år, dvs nya fönsterbyten måste ske år 25, år

45 osv. Om fönsterbytet sker omedelbart vilket antas ske i programmet om en ROT-åtgärd faller ut som optimal, byts istället fönstren ut år 0, år 20, år 40 osv. Detta kommer således att förändra byggnadens LCC vilket man måste ta hänsyn till. I fallet med Grevegården har antagits att den nya livslängden på bjälklag, golv samt in- och utsida på ytterväggen är 50 år medan den för fönster är 30 år.

### 2.1.10 Ekonomiska parametrar

En ekonomisk faktor är projektets totala livslängd. Det måste ju bli en helt annan optimal renoveringsstrategi om byggnaderna ändå ska rivas om några få år eller om de beräknas stå kvar under överblickbar tid. Man bör dock tänka på att betydelsen av rätt årtal på livslängden är viktigast för korta tidsrymder. Om den kvarvarande livslängden är 5 eller 10 år kan ha en avgärande betydelse medan det måhända inte spelar någon som helst roll om 45 eller 50 år används. I detta fall har 50 år använts.

Vid LCC - analyser använder man den skalkylräntan för att kunna värdera vinsten av att senarelägga en kostnad. Denna ränta brukar normalt vara real dvs inflationen har frånräknats. Ingenting hindrar dock att man tar med inflationen men då måste också alla andra kostnader, ex. vis energikostnaderna, inkludera denna. Normalt ställer det sig avsevärt mycket enklare att räkna i reala termer vilket också förutsätts i OPERA. Tyvärr finns det inte exakt klargjort hur den reala kalkylräntan ska beräknas men en fingervisning om värdet kan fås genom att ta den vanliga bankräntan och sedan dra ifrån förväntad inflation. Detta innebär att den reala räntan brukar få ett värde kring 5 %, ett värde som även använts vid denna studie. Det finns dock författare som hävdar att räntan borde ligga mellan 4 och 11 % se referens [1]. En undersökning visar att räntan ibland varit - 0.2 % och att professionella investeringar ändå gjorts enligt referens [5]. Operatören måste således själv skapa sig en uppfattning om vilken ränta som bör användas och sätta in detta värde som ett decimaltal, dvs 0.05 i detta fall.

Ytterligare en faktor som brukar höra till denna kategori är årliga energiprisökningar. På samma sätt som ovan är det svårt att bedöma hur stort detta belopp är. I grundfallet i denna studie har 0 % använts dvs det har antagits att ingen årlig höjning av energipriserna sker. Traditionellt brukar man hantera årliga energiprisökningar genom att använda en justerad kalkylränta. I OPERA används följande uttryck för att beräkna denna ränta:

$$r_j = \frac{r - q}{1 + q}$$

där  $r$  = reala kalkylräntan och  $q$  = de årliga energiprisökningarna

Man bör komma ihåg att ekvationen ovan endast ger ett approximativt värde på den justerade kalkylräntan men då skillnaden vanligen är liten används den här av bekvämlighetsskäl. Det kan också vara av intresse att studera vad som händer om den reala räntan och de årliga energiprisökningarna har samma belopp vilket innebär att täljaren i uttrycket ovan blir 0. Detta förhållande behandlas närmare i [6] sidan 21.



### 2.1.11 Kostnader för byggnadsåtgärder

Vid renoveringen av ex. vis en vägg måste man skilja på de kostnader som uppstår vid normalt underhåll och de som uppkommer om väggen tilläggsisoleras. Med normalt underhåll menas här åtgärder som måste utföras oberoende av energiskäl men som ändå kan påverka kostnaderna för en tilläggsisolering. Ex på en åtgärd är renovering av fasaden på ett hus som måste göras pga rötskador. Mindre underhåll med kortare periodicitet, ex målning, ingår normalt ej i kostnaden men kan tas med om så önskas. I den andra kostnaden ingår åtgärder för renodlad isolering, regler mm, dvs åtgärder som endast kommer till stånd om en tilläggsisolering sker. I referenserna [2] och [7] redogörs för en metod att särskilja dessa kostnader. Ett ex från [6] redovisas dessutom i tabell 2.1 för enkelhets skull. Prisuppgifterna har inhämtats från referens [8].

Ställningar	29.70
Rivning av fasad	8.70
Ny fasad	104.70
Mineralull tjocklek $t$ [m]	$6.96 + 230 \times t$
Nya regler	$19.72 + 260 \times t$
Indirekta kostnader, ober av isol	144.87
Indirekta kostnader för isolering	48.29
Skatter oberoende av isolering	37.02
Skatter beroende av isolering	$9.64 + 63.06 \times t$
Summa kostnader oberoende av iso.	324.69
Summa kostnader beroende av iso.	$84.61 + 553.06 \times t$

Tabell 2.1: Byggnadskostnader för tilläggsisolering av en yttervägg. Kostnader i SEK/m<sup>2</sup>

Som framgår av tabell 2.1 kan kostnaderna delas in i tre olika delar. Först sådana som kommer ifråga så fort man skall åtgärda väggen för normal fasadrenovering, 324.69 SEK/m<sup>2</sup>. För det andra sådana kostnader som uppkommer omedelbart då tilläggsisoleringen inleds men är oberoende av tjockleken, 84.61 SEK/m<sup>2</sup>, och sist sådana kostnader som endast tillkommer om väggen tilläggsisoleras, och som samtidigt beror på isoleringens tjocklek,  $553.06 \times t$  SEK/m<sup>2</sup> × m. I figur 2.2 visas de principiella förhållandena där C1, C2 och C3 representerar kostnaderna ovan.

Dessa olika delkostnader kommer sedan in i beräkningen av den totala LCC på olika sätt, vilket ska beskrivas i detalj i ett separat kapitel. De kostnader som redovisas i indatafilen finns återgivna i tabell 2.2.

Åtgärd	$C_1$	$C_2$	$C_3$
Bjälklag	0	260	530
Golv	0	380	500
Yttervägg, utsida	300	200	2000
Yttervägg, insida	50	390	300

Tabell 2.2: Byggekostnader isoleråtgärder i SEK/m<sup>2</sup>

Dessutom tillkommer uppgifter om våningshöjden, 2.8 m, samt intäkten för hyra, 450 SEK/m<sup>2</sup>×år vilket behövs för att beräkna dels lägenhetens volym och dels bortfallet av hyresintäkter vid invändig isolering.

Kostnaderna för att byta ut ett fönster redovisas på ett lite annorlunda sätt:

$$C_1 + C_2 \times A_f$$

där  $C_1$  och  $C_2$  är konstanter och  $A_f$  är arean på ett fönster.

För de första tre olika fönstertyperna i detta fall redovisas att kostnaden  $C_1$  är 0 Kr/st för samtliga typer, medan  $C_2$  antar värdena 1100, 1300 och 1500 Kr/st×m<sup>2</sup>. Det första värdet 1100 Kr/st avser då byte från gamla till nya tvåglasfönster medan det andra värdet 1300 Kr/st avser byte från tvåglasfönster till treglas osv. De sista värdena som avser fönsterkostnader har åsatts väldigt höga värden då man inte önskade att denna typ skulle falla ut. Både  $C_1$  och  $C_2$  har värdet 100000 Kr/st. Se kapitel 2.1.8 för ytterligare upplysningar. Ett lämpligt förfaringsätt för att ta reda på ovan nämnda konstanter är att "plotta" kostnader för ett antal olika fönsterstorlekar i ett diagram och sedan anpassa en rät linje till dessa punkter. Skärningen med en av diagrammets axlar ger den ena konstanten medan lutningen på linjen ger den andra konstanten se referens [2].

### 2.1.12 Kostnader för byte av värmesystem

Dessa kostnader har på motsvarande sätt antagits speglas av ett uttryck:

$$C_1 + C_2 \times P + C_3 \times P$$

där  $C_1$ ,  $C_2$  och  $C_3$  är konstanter och  $P$  anger effekten på värmeanläggningen. Anledningen till att två konstanter används för variabeln  $P$  är att konstanterna anger kostnader med olika periodicitet. Den första konstanten avser kostnaderna för själva pannan eller uppvärmningsanordningen medan den andra avser kostnaden för viss kringutrustning, ex. vis en skorsten till en oljepanna eller slangar till en jordvärmepump. Det faktiska värdet på konstanterna kan erhållas på samma sätt som kostnaderna för olika typer av fönster, dvs genom att "plotta" kostnaden för olika storlekar på värmeanläggningarna i ett diagram. Vidare måste verkningsgrad, eller värmefaktorn  $COP$ , samt ny livslängd,  $L_1$  och  $L_2$ , för de två olika åtgärderna enligt ovan anges. I indatafilen finns följande värden angivna, se tabell 2.3:

Värmesystem	$C_1$	$C_2$	$COP$	$L_1$	$C_3$	$L_2$
Oljepanna	55000	60	0.75	15	200	50
Elpanna	20000	100	0.95	25	1	50
Fjärrvärme	0	0	0.95	25	0	50
Jordvärmepump	60000	5000	2.5	50	1500	10
Natargaspanna	55000	60	0.8	20	200	50
Uteluftvärmep.	40000	6000	*	15	200	40

Tabell 2.3: Kostnader, verkningsgrad mm för olika värmesystem

Det kan synas märkligt att fjärrvärmeanläggningen inte kostar något men betta beror på att Energiverket i Göteborg AB står för denna utrustning och

således ingår i abonnemanget. Värmefaktorn för en uteluftvärmepump beror på temperaturen på luften. Detta innebär att värmefaktorn inte klart kan anges som ett speciellt värde utan en \* markerar att en annan metod måste användas. I referens [1], sid 29 har förhållandena undersökts närmare och det har visats att följande uttryck kan användas:

$$COP = \frac{-\Delta T + 66.43}{20.53}$$

där  $\Delta T$  visar differensen mellan ute och innetemperatur. Just vad gäller uteluftvärmepumpen har ett underhållsbehov lagts in och i indatafilen anges att 10 % av den totala installationskostnaden måste erläggas vart sjunde år.

### 2.1.13 Klimat

Det är naturligt att klimatet spelar in vad det gäller energisparåtgärderna. OPERA - modellen är uppbyggd för att kunna räkna på differentierade taxor vilket innebär att klimatet måste anges i månadsmedeltemperaturer för olika orter. I indatafilen kan tre olika orter anges och de värden som redovisas här gäller för Göteborg, Linköping och Kiruna. Värdena återfinnes i tabell 2.4.

Ort	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Göte.	-0.9	-1.2	1.3	6.0	11.5	15.2	17.5	16.8	13.1	8.6	4.5	1.8
Link.	-2.9	-3.0	-1	5.3	11.0	15.4	17.7	16.4	12.2	7.1	2.7	0.0
Kiru.	-12.2	-12.4	-8.9	-3.5	2.7	9.2	12.9	10.5	5.1	-1.5	-6.8	-10.

Tabell 2.4: Månadsmedeltemperaturer för tre olika svenska orter

### 2.1.14 Åtgärder på ventilationsanläggningen

Tätning av fönster och dörrar tillhör några av de mest lönsamma ROT-åtgärderna. Här antas att kostnaden för att tätta byggnaden kan beskrivas som ett belopp, 250 SEK per tätningsställe. Antalet ställen uppgår här till 56 stycken. Genom tätningen minskar den ofrivilliga ventilationen i byggnaden, här antas detta ske med 0.1 omsättningar per timma, samt att operationen måste göras om efter 10 år, se figur 2.1. Se även referens [8] sid 89 - 106, för ytterligare detaljer.

Frånluftvärmepumpar installeras ofta i bostadshus numera. Kostnaderna för en sådan anläggning redovisas i indatafilen på samma sätt som för värmesystemet dvs med hjälp av två konstanter varav den senare anges i SEK/kW. Kostnaderna för kringutrustning för frånluftvärmepumpen visas lämpligen i ett belopp per lägenhet. Antalet lägenheter i just detta hus har angetts till 14 stycken. Temperaturen på den luft som kommer till pumpen har satts till 20 °C, medan inomhustemperaturen i byggnaden ansetts vara 21 °C. Den dimensionerande utetemperaturen, vilken används för att ge värmeanläggningen tillräcklig effekt har satts till -14 °C i enlighet med Svensk Byggnorm. Kringkostnaderna för värmepumpen har satts till 10000 SEK/lgh och utrustningen beräknas ha en livslängd på 50 år. Pumpen som sådan antas kosta 10000 + 4500 × P SEK. Den beräknas ha en livslängd på 10 år samt en värmefaktor på 4.0. En värmefaktor på 4.0 kan synas hög men Familjebostäder hävdar att denna är tillämplig. Den

luft som lämnar värmepumpen beräknas ha en temperatur på 10.0 °C. Man bör notera att antalet tätningsställen och antalet lägenheter skall anges som heltal i indatafilen.

### 2.1.15 Projektnamn och värden för resultatredovisning

Nästa rad i indatafilen anger projektets namn medan raden som följer anger vilken av de tre orterna avseende klimatet som beräkningen skall ske för. Den kommande raden anger i vilken form resultatet skall presenteras. Värdet 0 på en variabel betyder här att inga indata alls skall presenteras på skärmen, värdet 1 att resultatet skall presenteras på skärmen medan värdet 3 innebär att resultatet ska sändas till en skrivare. Användning av alla andra parametrar än den första och den sista kräver en mer ingående kännedom om programmet så därför hänvisas till referens [6] för närmare detaljer. Den första parametern, 1, innebär att den normala utskriften går till skärmen. Den sista parametern vilken också har värdet 1 anger att programmet skall stanna efter körningen av grundfallet vilket kan vara praktiskt vid handhavandet.

### 2.1.16 Solinstrålning samt övrig gratisenergi

Genom att människor lever i byggnaden och använder spis, kylskåp och andra apparater får man ett gratistillskott av energi i huset. Energin är ju egentligen inte gratis men den används för andra skäl än uppvärmning. För att kunna avgöra hur stor den totala energianvändningen kommer att bli och därigenom också kostnaderna för denna måste värden finnas som redovisar mängden gratisenergi. I OPERA - modellen delas energianvändningen in månadsvis vilket innebär att tolv värden måste presenteras. I detta fall har 4167 kWh/månad använts för alla tolv månader. Se referens [2] för ytterligare detaljer.

Solinstrålningen genom fönstren ger också ett gratistillskott men detta varierar både efter tid samt vädersträck. Här skall inte närmare beskrivas hur värdena räknas fram men den intresserade läsaren hänvisas till referens [6] sid 77. Resultatet av beräkningarna måste presenteras för OPERA som den instrålande mängden energi i kWh/m<sup>2</sup> fönster av typen tvåglas. Följande värden finns presenterade i indatafilen:

Då man byter fönster från ex. vis tvåglas till treglas förändras solstrålningens möjlighet att tränga in i byggnaden. Detta kan beskrivas genom att man använder en sk skuggfaktor. Skuggfaktorn anger hur mycket som solstrålningen reduceras. I indatafilen redovisas skuggfaktorerna 0.1, 0.6, och 0.7 för treglasfönster, treglasfönster med lågemissionsglas samt sådana fönster med gasfyllning, respektive. Det första värdet anger således att om treglasfönster installeras innebär detta att solstrålningen genom fönstren reduceras med 10 %. Det skall poängteras att den oinvidig kan uppleva egendomliga resultat om mycket höga skuggfaktorer används och därför rekommenderas att värden lägre än 0.5 normalt används. Problemen behandlas i detalj i referens [9].

### 2.1.17 Energipriser och taxor

Det är naturligtvis viktigt att förse programmet med uppgifter om olika kostnader för den energi som används i byggnaden. Det finns möjlighet att använda dels i tiden fasta taxor, som ett oljepris, eller en taxa som varierar i tiden,

Månad	Norr	Öster	Söder	Väster
Januari	4.3	8.27	29.66	8.27
Februari	8.94	17.97	43.69	17.97
Mars	18.57	41.86	69.73	41.86
April	28.82	61.97	75.29	61.97
Maj	44.50	87.58	82.59	87.58
Juni	53.58	90.91	76.28	90.91
Juli	50.54	89.07	78.50	89.07
Augusti	36.63	75.07	79.81	75.07
September	23.12	53.11	79.37	53.11
Oktober	13.54	28.30	61.57	28.30
November	5.82	10.75	32.70	10.75
December	3.08	5.36	21.22	5.36

Tabell 2.5: Solinstrålning genom tvåglasfönster i kWh/m<sup>2</sup>

månadsvärden. För vissa energislag tillkommer andra kostnader, ex. vis anslutningsavgifter eller effektavgifter. Då dessa kan styra optimal energianvändning har programmet utformats med en speciell subrutin för olika taxor. Om taxan är uppbyggd på samma sätt som den som redovisas här kan subrutinen användas omedelbart, dvs bara värdena i indatafilen behöver ändras. Om taxan är uppbyggd på annat sätt måste viss omprogrammering ske. OPERA-modellens subrutin för taxor, se referens [10] för alla detaljer, är uppbyggd efter de el- och fjärrvärmesaxor som användes i Malmö 1988. Göteborg Energi AB har tidigare använt en taxa som var uppbyggd på samma sätt. Enligt uppgifter från energiverket har taxestrukturen förändrats varför OPERA-modellens subrutin inte skulle kunna användas rakt av. Turligt nog synes det som om den gamla strukturen använts för att bestämma den nya taxan vilket innebär att den verkliga taxan kunna omformats till befintlig subrutin. Någon omprogrammering har därför ej skett.

### Priser på olja, el, naturgas m.m.

Oljepriset har varierat kraftigt under senare år och här har 0.35 SEK/kWh använts som pris. Det ska noteras här att detta oljepris används för både en "vanlig" oljepanna och dels en som används i bivalent drift. De två sista värmesystemen använder ju oljepannan endast som en spetslast medan el utnyttjas i värmepumpen.

Det elpris som används i modellen är dels ett fast elpris, här framräknat till 0.496 SEK/kWh, och dels de priser som används i den differentierade tidstaxan vilka är 0.796 SEK/kWh under högpristid och 0.34 SEK/kWh under lågpristid, se tariff 591 daterad 1991-01-01 i bilaga 1 på sidan 96. OPERA kan sedan användas för att beräkna ett medelpris utifrån den tidsdifferentierade taxan. Detta görs lämpligen om man vill studera inverkan enbart av taxans struktur och inte dess nivå. Se referens [11] för mera detaljer. Högprisnivån på taxan används under vintervardagar, november till mars, mellan 0700 - 2200. Under all övrig tid är det lågpristid.

Nästa rad i indatafilen behandlar kostnaderna för naturgas. Detta alterna-

tiv finns normalt inte att tillgå ute i Grevegården men värden måste likafullt presenteras. Här har därför en kostnad på 0.50 SEK/kWh använts vilket innebär att detta alternativ kommer att spärras ut. Anslutningsavgiften för ett naturgasalternativ har satts till 120 SEK/kW eller samma som i Malmö.

Fjärrvärmetakten behandlas på motsvarande sätt som den enklare typen av eltaxa. Först anges ett beräknat fast pris som här motsvarar en normaliserad taxa, 0.40 SEK/kWh och sedan kommer värden för anslutningsavgift, två olika fasta avgifter av vilka endast den första 6343 SEK/år har relevans, en effektagift om 359.5 SEK/kW samt en reduktionsfaktor som här satts till 1.0. Värdena ovan har beräknats med utgångspunkt från Göteborgs fjärrvärmetakta som alltså numera inte helt passar in i mallen för OPERA, se taxeblad daterat 1991 01 25 i bilaga 1 på sidan 96.

Tre olika energipriser för fjärrvärme har använts. För januari till mars har använts 0.306 SEK/kWh, för april till september har 0.150 SEK/kWh använts medan 0.319 SEK/kWh använts för perioden oktober till december. Även dessa priser har beräknats utifrån taxeblad 1991 01 25. Priserna ovan inkluderar moms.

I eltaxan finns dessutom en abonnemangsavgift utgående från den säkringsstorlek som används. I tabell 2.6 redogörs för de värden som använts.

Säkring max [A]	Avgift [SEK/år]
16	863
20	1313
25	1850
35	2650
50	3812
63	4750
80	6125
100	7625
125	9562
160	12250
200	15375
250	17000

Tabell 2.6: Abonnemangsavgifter för säkringstariff

För att programmet skall kunna räkna ut kostnaderna för elanvändningen måste man ange antalet högpristimmar respektive antalet lågpristimmar i varje månad. Följande värden, tabell 2.7, som dessutom finns redovisade i indatafilen, figur 2.1, har använts:

Notera att indelning skett av hög- och lågpristimmar även sommartid vilket är nödvändigt för att kunna analysera kostnaderna för elverkets effekttaxa.

Om säkringstariffens 250 A inte räcker till måste effekttaxan användas istället, se bilaga 1 på sidan 96. Detta innebär följande:

Månad	Högpris	Lågpris	Månad	Högpris	Lågpris
Januari	352	392	Juli	336	408
Februari	320	352	Augusti	368	376
Mars	368	376	September	336	384
April	320	400	Oktober	352	392
Maj	368	376	November	352	368
Juni	352	368	December	336	408

Tabell 2.7: Högpris- respektive lågpristimmar

Fast avgift	6000 SEK/år
Abonnemangsavgift	90 SEK/kW × år
Högbelastningsavgift	375 SEK/kW × år
Energi, Nov - Mars, 06 - 22	0.58 SEK/kWh
Övr. tid	0.37 SEK/kWh
April, Sept, Okt	0.33 SEK/kWh
Maj - Aug	0.25 SEK/kWh

Taxekonstruktionen här överensstämmer så gott som helt med den som använts tidigare i OPERA. Då det är osannolikt att ett alternativ med elvärme, debiterad efter effekttaxa, kommer att bli optimalt har ingen omprogrammering skett här heller.

Uppgifterna ovan avslutar indatafilen till OPERA vilket dessutom innebär att en precis situation beskrivits.

## 2.2 KORT OM METODIKEN

När en byggnad ska renoveras är det viktigt att ta ett helhetsgrepp på problemet. Det traditionella sättet är att utföra besparingsåtgärder i lönsamhetsordning dvs man börjar med tätning av fönster, isolerar bjälklaget och ev ytterväggarna och byter sedan fönster. Ev. kan någon ytterligare åtgärd tillkomma, som en frånluftvärmepump. Vi har funnit att detta är fel sätt att angripa problemet. Genom att spara och "gnetta" rycker man många gånger bort underlaget för en helhetslösning vilket skulle ge en avsevärt lägre total kostnad för husets ägare även om energianvändningen kan bli högre i det senare fallet. Mängden köpt energi blir dock så gott som alltid lägre än innan renoveringen.

Det synes rimligt att det är byggnadens totala kostnader som är av intresse för en långsiktig ägare av ett hus. Dessa totala kostnader beskrivs av ett begrepp kallat livscykelkostnad, förkortat LCC från den engelska motsvarigheten. I LCC ingår såväl byggkostnader som driftkostnader för huset under dess livslängd. Det är vidare rimligt att anta att den bästa lösningen erhållits då LCC är så låg som möjligt dvs lösningen på problemet är optimal. I metodiken ligger några begränsningar. För det första måste alla åtgärder som företas i huset kunna beskrivas i pengar på något sätt. Estetiska synpunkter kan således endast beaktas om husägaren ex. vis får möjlighet till högre hyresintäkter för den händelse byggnaden är vacker. En annan begränsning är att det är svårt att ta med alla aspekter vid en husrenovering om strategin samtidigt skall optimeras. Problemet blir helt enkelt för stort. I OPERA tas endast energirelaterade

åtgärder med. Städning, handikappanpassning mm är sådana åtgärder som får behandlas separat.

De kostnader som uppträder under en byggnads livslängd sker inte alla samtidigt. Detta innebär att kostnaderna inte kan läggas samman utan att man tar hänsyn till den tid som förflyter mellan utbetalningstillfällena. Detta gör man traditionellt med nuvärdesmetoden, se referens [11]. Två uttryck kommer till flitig användning ett för enstaka betalningshändelser,  $PV_s$ , och ett för årligen återkommande kostnader,  $PV_r$ .

$$PV_s = A \times (1 + r)^{-n}$$

$$PV_r = B \times \frac{1 - (1 + r)^{-m}}{r}$$

där  $A$  är kostnaden för en enstaka händelse,  $B$  är kostnaden för årligen återkommande händelser,  $r$  är den reala kalkylräntan,  $n$  är antalet år till händelsen  $A$  inträffar och  $m$  är antalet år händelsen  $B$  uppträder.

Två olika optimeringsmetoder finns inbyggda i programmet. Den ena använder kontinuerliga funktioner som deriveras och sätts lika med noll för att finna minimipunkten. Den andra metoden går ut på att prova olika lösningar och sedan se vilken som ger den lägsta LCC. Som ett exempel på den första metoden kan ett exempel ur referens [6] tas, se figur 2.3.

Isolerkostnaden i figur 2.3 börjar med ett steg och avlöses sedan av en rät lutande linje, jämför med figur 2.2. Isolerkostnaden blir naturligen högre och högre ju mer man isolerar. Energikostnaden börjar likaledes med ett steg, då man redan har en värmeåtgång genom byggnadsdelen, men följer sedan en parabelformad linje. Kostnaden blir här lägre och lägre ju mer man isolerar. Om kostnaderna summeras får man den övre linjen som visar den totala kostnaden. Vid en speciell isolertjocklek har denna linje sitt lägsta värde. Det är nu av yttersta vikt att komma ihåg att det är endast om denna minimipunkt har ett lägre värde än värdet den befintliga LCC har som det är lönsamt att isolera byggnaden. Vid en tilläggsisolering av ex. vis en tegelyttervägg i gott skick är det vanligt att motsatt förhållande råder, dvs även om man isolerar så bra som det går resulterar detta i alla fall i en högre LCC. Man bör också notera att en optimal tilläggsisolering ofta har en avsevärd tjocklek, omkring 20 cm. Man får därför inte tilläggsisolera för lite då lönsamheten plötsligt kan överges helt och hållet. Å andra sidan kan man tänka sig en än tjockare isolering om det av olika anledningar anses viktigt att spara just energi. LCC för åtgärden stiger endast långsamt på höger sida om minimipunkten. Detta förhållande beskrives närmare i referens [12].

Den andra optimeringsmetoden används vid sådana ROT - åtgärder som inte enkelt kan uttryckas som kontinuerliga funktioner, ex. vis optimeringen av fönster. I sådana fall får man först beräkna LCC för det befintliga alternativet och sedan beräkna kostnaden för huset med det andra alternativet istället. Dessa kostnader jämförs sedan och det billigaste alternativet väljs. Man bör notera att det kan vara flera alternativ som ger ett billigare resultat, ex både treglasfönster och sådana med lågemissionsglas. Det gäller då att förvissa sig om att alla alternativ undersökts innan optimeringen kan anses vara klar. I figur 4 fås en schematisk bild av den process som måste gås igenom.



Programmet startar med att läsa indatafilen och beräknar sedan byggnadens befintliga LCC. Här ingår då kostnader för att värma upp byggnaden under husets beräknade livslängd. Dessutom ingår kostnader för att byta byggnadsdelar och installationer allteftersom deras befintliga livslängd tar slut. Denna senare kostnad kallas den oundvikliga ROT - kostnaden. Här efter införs en ROT - åtgärd vid tidpunkten noll dvs det antas att åtgärden utföres omedelbart. Om det ex. vis är en yttervägg som undersöks beräknas optimal isolering i enlighet med figur 2.3. Denna isolering innebär vissa byggkostnader men också lägre energikostnader. Tillsammans med husets övriga kostnader fås en ny LCC. Nu undersöks om denna nya LCC är lägre än den befintliga. Om så är fallet accepteras åtgärden som en kandidat till en optimal ROT - strategi, om inte, förkastas den helt. Sedan undersöks nästa ROT - åtgärd på samma sätt. Notera att denna åtgärd utgår från att huset är som det var från början, inte när det är ombyggt enligt åtgärd nummer ett.

Följande ROT-åtgärder undersöks på detta sätt:

- Isolering av vindsbjälklag
- Isolering av golvbjälklag
- Isolering av ytterväggar på utsidan
- Isolering av ytterväggar på insidan
- Fönsterbyte, tre olika typer
- Tätning av fönster och dörrar
- Frånluftvärmepump

När alla åtgärder på klimatskal och ventilationsanläggning prövats finns ett antal möjliga ROT-åtgärder sparade medan andra förkastats. Nu byter programmet uppvärmningsanordning i byggnaden och processen börjar om från början. En ny LCC beräknas med antagande om att inga åtgärder på klimatskalet eller ventilationen skett, vilken används som grund för de senare jämförelserna. Följande värmesystem undersöks:

- Oljepanna
- Elpanna, fast taxa
- Fjärrvärme, fast taxa
- Värmepump, fast eltaxa
- Naturgas
- Fjärrvärme, differentierad taxa
- Elpanna, differentierad taxa
- Jordvärmepump - oljepanna, bivalent drift
- Uteluftvärmepump - oljepanna, bivalent drift

Dessutom kan man med ett sidoprogram undersöka bivalenta system med differentierade eltaxor.

När så alla värmesystem undersökts har man ett antal möjliga strategier varav endast en är optimal. Många gånger kan man omedelbart plocka ut den strategi som har den lägsta LCC men då ROT-åtgärderna påverkar varandra är detta inte alltid korrekt. I OPERA sker därför en beräkning av LCC när alla valda ROT - åtgärder introducerats. Så gott som alltid kommer då LCC för denna kombination att vara något högre eller lika stor som den LCC som tidigare beräknats tidigare, men undantag finns, se referens [9]. En förklaring till att LCC så gott som alltid blir högre eller lika med den tidigare beräknade är att sparbeloppen överskattas något när man i modellen hela tiden jämför med huset som det var från början. Anta för tydlighets skull att man har ett hus som är omsorgsfullt isolerat från början. Genom en tilläggsisolering, på ex. vis bjälklaget, minskar energianvändningen och eldningssäsongen förkortas. I OPERA's inledande del jämförs ju den tilläggsisolerad situationen med den man hade från början. Detta innebär att förkortningen av eldningssäsongen av den första åtgärden inte kommer med vid beräkningarna. Jämför situationen i ett gjuteri där man har ett överskott på värme året runt. En tilläggsisolering här sparar ju ingen värme alls då man hela tiden har ett överskott som måste vädras ut. Detta problem behandlas så att en ny LCC beräknas där alla de tidigare utvalda kandidaterna finns med. Den optimala strategin kan nu så gott som alltid väljas ut. I OPERA finns dock en ytterligare möjlighet att undersöka LCC. Genom att förändra tjockleken på den tilläggsisolering som valts kan man undersöka ett flertal värden och välja den tjocklek som resulterar i den absolut lägsta LCC. Denna finjustering behöver troligen aldrig utföras i praktiken utan är mest av akademiskt intresse. Proceduren innebär dock att den absolut lägsta LCC kan hittas dvs OPERA kan användas för optimering. När tillräcklig noggrannhet erhållits stannar programmet normalt.

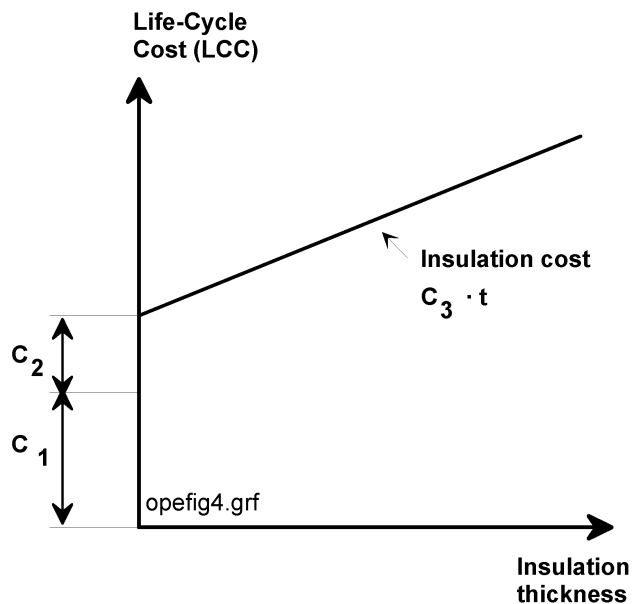
Som nämndes ovan finns det ibland svårigheter med att bestämma värdet på vissa parametrar. Genom en sk känslighetsanalys kan man undersöka om en liten förändring i en sådan parameter innebär stora konsekvenser för resultatet. I OPERA undersöks automatiskt, om så önskas, förändringar i kalkylränta, optimeringstid samt årliga energiprishöjningar.

```

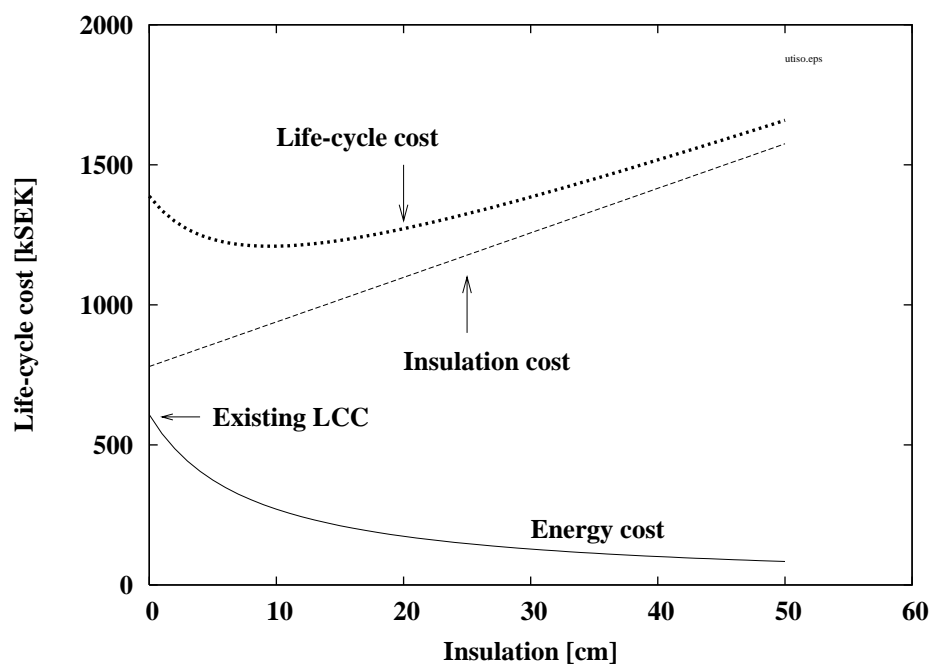
0
830.,830.,1484.,2958.
1.11,114,1.72,24,1.46,185,1.7,18
.31,.5,0.695
3.0
0.,50.,0.,0.,0.
.6
'DISDIFF',110.,.95,5.
42000.
.04,.05,.04,.05
2.
1.5
1.2
50.,50.,50.,50.,30.
50.,.05,.0
0.,260.,530.
0.,380.,500.
300.,200.,2000.
50.,390.,300.,2.8,450.
0.,1100.
0.,1300.
0.,1500.
100000.,100000.
55000.,60.,.75,15.,200.,50.
20000.,100.,.95,25.,1.,50.
0.,0.,.95,25.,0.,50.
60000.,5000.,2.5,50.,1500.,10.
55000.,60.,.8,20.,200.,50.
40000.,6000.,66.43,20.54,15.,200.,40.,.1,7.
-.9,-1.2,1.3,6.,11.5,15.2,17.5,16.8,13.1,8.6,4.5,1.8
-2.9,-3.0,-.1,5.3,11.,15.4,17.7,16.4,12.2,7.1,2.7,.0
-12.2,-12.4,-8.9,-3.5,2.7,9.2,12.9,10.5,5.1,-1.5,-6.8,-10.1
56,250.,.1,10.
14,20.,21.,-14.
10000.,50.
10000.,4500.,10.,4.,10.
'GREVEGÅRDSVÄGEN'
1
1,0,0,0,0,0,0,1,1
4167.,4167.,4167.,4167.,4167.,4167.,4167.,4167.,4167.,4167.,4167.,4167.
4.3,8.94,18.57,28.82,44.5,53.48,50.54,36.63,23.12,13.54,5.82,3.08
8.27,17.97,41.86,61.97,87.58,90.91,89.07,75.07,53.11,28.3,10.75,5.36
29.66,43.69,73.68,75.29,82.59,76.28,78.5,79.81,79.37,61.57,32.7,21.22
8.27,17.97,41.86,61.97,87.58,90.91,89.07,75.07,53.11,28.3,10.75,5.36
.1,.6,.7
.35
.496,0.796,0.34
.5,120.
.40,0.1,6343.,0.,359.5,1.
.306,.306,.306,.150,.150,.150,.150,.150,.150,.319,.319,.319
863.,1313.,1850.,2650.,3812.,4750.,6125.,7625.,9562.,12250.,15375.,17000.
16.,20.,25.,35.,50.,63.,80.,100.,125.,160.,200.,250.
352,320,368,320,368,352,336,368,336,352,352,336
392,352,376,400,376,368,408,376,384,392,368,408
6000.,90.,375.
.58,.37,.33,.33,.25

```

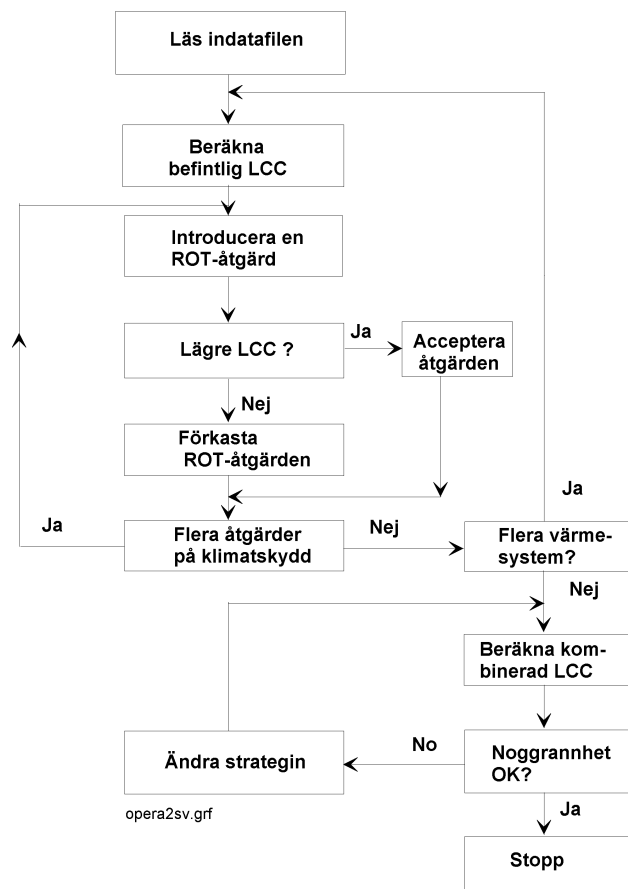
Figur 2.1: Indatafil till OPERA-modellen, Grevegårdsvägen



Figur 2.2: Principiell uppbyggnad av byggnadskostnad för en yttervägg



Figur 2.3: Isoleringsoptimering i OPERA



Figur 2.4: Schematisk bild av ROT - optimering



## Kapitel 3

# RESULTAT FRÅN BASKÖRNING

Som nämnades ovan börjar metoden med att beräkna den befintliga LCC. Dess första komponent är de kostnader på byggnadsskalet man ej kan komma undan, dvs de oundvikliga ROT-kostnaderna, och här skall visas ett exempel från Grevegården, på hur dessa beräknas.

### 3.1 Oundvikliga ROT-kostnader i befintligt hus

Dessa kostnader är sådana som måste utföras oberoende av om några energisparande åtgärder ska göras i huset eller inte. I indatafilen beskrevs att vindsbjälklaget hade en kvarvarande livslängd om 0 år. Detta innebär att detta måste åtgärdas omedelbart. Den kostnad detta för med sig beskrivs av konstanten  $C_1$  i det uttryck som beskriver byggnadskostnaderna. Denna kostnad är dock 0 SEK vilket innebär att inget belopp kommer att falla ut p.g.a. bjälklagsåtgärder.

I indatafilen anges vidare att det är 50 år kvar tills golvet behöver renoveras. Optimeringstiden i detta fall har satts till 50 år vilket i sin tur innebär att någon kostnad inte kommer att uppträda under beräkningsperioden.

När det gäller ytterväggarna är förhållandena annorlunda. Dessa behöver åtgärdas omedelbart, kvarvarande livslängd är 0 år och omedelbart utfaller ett belopp för renovering om 300 SEK/m<sup>2</sup> eller, då arean på ytterväggen satts till 1 484 m<sup>2</sup>, 445 200 SEK. Denna åtgärd beräknas vara tillräcklig för de närmaste 50 åren vilket innebär att ytterligare kostnader på ytterväggens utsida ej antas uppkomma. På samma sätt fås för ytterväggens insida en kostnad om 74 200 SEK.

Vad gäller fönstren består dessa i dagsläget av typen tvåglas. Den kvarvarande livslängden anses vara noll år vilket innebär ett omedelbart renoveringsbehov. Ett nytt fönster av tvåglastype kostar 1 100 SEK/m<sup>2</sup> vilket i sin tur innebär att ett norrfönster kostar  $1.11 \times 1\,100 = 1\,221$  SEK. Det fanns 114 stycken sådana fönster vilket innebär en omedelbar kostnad om 139 194 SEK. Dessa fönster måste vidare bytas ut om 30 år, se indata, vilket kommer att medföra en kostnad om:

$$139\,194 \times (1 + 0.05)^{-30} = 32\,206 \quad \text{SEK}$$

Detta då kalkylräntan är 5 %. Nästa gång fönstren måste bytas är år 60, dvs efter kalkylperiodens slut. Detta innebär att ett visst restvärde finns kvar på fönstren år 50 vilket kan beräknas till:

$$139\,194 \times \frac{1}{3} \times (1 + 0.05)^{-50} = 4\,046 \quad \text{SEK}$$

Kostnaden för norrfönstren kan således beräknas till 167 354 SEK. Vad gäller de övriga fönstren förfares på likartat sätt och följande sammanställning för klimatskalet kan ställas upp, se tabell 3.1.

Vindsbjälklag	0
Golvbjälklag	0
Ytterväggens utsida	445 200
Ytterväggens insida	74 200
Norrfönster	167 354
Österfönster	54 594
Söderfönster	357 126
Västerfönster	40 459
Summa	1 138 933

Tabell 3.1: Oundviklig ROT - kostnad i SEK, byggnad i Grevegården

Den oundvikliga ROT - kostnaden uppgår således till 1 138 933 SEK vilket i stort sätt överensstämmer med OPERA, 1 139 137 SEK.

### 3.2 Kostnader för byte av värmesystem, befintligt hus

Det befintliga värmesystemet i byggnaden utgöres av en fjärrvärmeanläggning. Husägaren har dock ingen kostnad för denna anläggning då den betalas av Energiverken i Göteborg AB.

### 3.3 Kostnader för energi, befintligt hus

Området vid Grevegårdsvägen är idag anslutet till en fjärrvärmeanläggning där energipriset för värmen uppgår till samma belopp som för Göteborg i övrigt. I bilaga 1 på sidan 96 framgår vilka priser som tillämpas för olika energislag. Man ser att energipriset för första kvartalet är 0.245 SEK/kWh vilket inklusive mervärdeskatt blir 0.306 SEK/kWh. Värdet återfinnes i figur 2.1. För det andra och tredje kvartalet blir motsvarande värden 0.150 SEK/kWh och för det fjärde kvartalet 0.319 SEK/kWh. En tidsdifferentierad taxa tillämpas således. OPERA - modellen är i sin taxedel uppbyggd så att en fast avgift antas debiteras oberoende av vilken effekt som installerats och en rörlig avgift tas ut beroende på anläggningens effekt. Detta var fallet även tidigare i Göteborg, se taxebild daterat 1991-03-12. Enligt uppgift används nu istället systemet redovisat i bilaga 1 på sidan 96. Den effektberoende avgiften kan för kategorin 2 100 timmar och relativt små anläggningar, sådana som är mindre än 100 kW, bedömas vara



c:a 349.5 SEK/kW. År 1983 var den fasta avgiften för anläggningar större än 100 kW 3 000 SEK. Den rörliga avgiften var samtidigt 170 SEK/kW. Jämföres effektavgiften 1983 med den som bedömts gälla nu fås en kvot om 2.115. Multipliceras detta värde med den fasta avgiften år 1983 fås en nuvarande fast avgift om 6 343 SEK. Antag nu att en fjärrvärmeanläggning om 200 kW är installerad i Grevegården. Först antas att 6 343 SEK/år debiteras i fast avgift och sedan

$$200 \times 140 \times 2.115 = 59\,220 \quad SEK$$

i rörlig avgift. Då en anläggning om 200 kW fått utgöra exempel skall enligt taxebudet 1991-03-12, 140 SEK/kW användas. Den fasta och rörliga avgiften för effekt blir tillsammans 65 563 SEK eller för en effekt om 200 kW 327.81 SEK/kW. I taxebudet redovisat i bilaga 1 sidan 96 finns en avgift p.g.a. effekt redovisad till 327.77 SEK/kW. Uppgifterna har sedan använts som indata, se figur 2.1. Utredningen ovan visar således att fjärrvärmesaxen i Göteborg kan speglas mha den taxekonstruktion som tidigare använts både i Göteborg och den i Malmö, d.v.s. den som finns redovisad i OPERA.

För att kunna beräkna kostnaden för fjärrvärme under hela kalkylperioden måste således användningen spaltas upp i enlighet med motsvarande taxeselement. I OPERA har månadsmedelvärden på utetemperaturen använts vilket innebär att publicerad statistik, se [13] sidan 7:1, kan användas som indata. I indatafilen beskrivs byggnadens geometri och termiska egenskaper. Värdena används för att beräkna den sk transmissionskoefficienten eller summan av värmeomgångskoefficienterna multiplicerade med respektive area, se tabell 3.2.

Byggnadsdel	Area [m <sup>2</sup> ]	U-värde [W/m <sup>2</sup> ×K]	U × A [W/K]
Vindsbjälklag	830	0.31	257.3
Golvbjälklag	830	0.50	415.0
Yttervägg	1 484	0.695	1 031.4
Norrfönster	126.5	3.0	379.6
Österfönster	41.3	3.0	123.8
Söderfönster	270.1	3.0	810.3
Västerfönster	30.6	3.0	91.8
Summa			3 109.2

Tabell 3.2: Beräkning av transmissionskoefficient, Grevegården

Värmeförluster sker dessutom via ventilationssystemet och i indatafilen anges att luftomsättningen är 0.6 oms/timme. Den invändiga byggnadsaren har angetts till 2 958 m<sup>2</sup> vilket tillsammans med den invändiga lägenhetshöjden 2.8 m ger 8 282 m<sup>3</sup> som i sin tur resulterar i ett luftflöde om 4 969 m<sup>3</sup>/h. Luftens värmekapacitet uppgår till c:a 1.006 kJ/kg×K medan tätheten är c:a 1.18 kg/m<sup>3</sup>, se referens [14]. Detta innebär att 1.187 kJ/K kan lagras i en m<sup>3</sup> luft eller 0.33 W/m<sup>3</sup>×K. Flödet ovan ger således en ventilationskoefficient om 1 640 W/K.

Vidare åtgår 42 000 kWh per år för tappvarmvattenuppvärmning vilket innebär 3 500 kWh per månad.

I OPERA finns en sk energibalansrutin där den förväntade användningen av värme beräknas, se figur 3.1.

MONTH NO	DEG.- HOURS	ENERGY- TRANSM	HOT - WATER	FREE ENERGY	SOLAR HEAT	UTILIZ. FREE	FROM BOILER	INSUL. OPTIM.
1	16294.	77381.	3500.	4167.	9150.	13317.	67564.	77381.
2	15052.	71482.	3500.	4167.	14224.	18391.	56592.	71482.
3	14657.	69607.	3500.	4167.	25260.	29427.	43681.	69607.
4	10800.	51291.	3500.	4167.	28437.	32604.	22187.	51291.
5	7068.	33567.	3500.	4167.	34234.	33567.	3500.	0.
6	4176.	19832.	3500.	4167.	33905.	19832.	3500.	0.
7	2604.	12367.	3500.	4167.	34001.	12367.	3500.	0.
8	3125.	14840.	3500.	4167.	31588.	14840.	3500.	0.
9	5688.	27013.	3500.	4167.	28181.	27013.	3500.	0.
10	9226.	43814.	3500.	4167.	20378.	24545.	22769.	43814.
11	11880.	56420.	3500.	4167.	10341.	14508.	45412.	56420.
12	14285.	67841.	3500.	4167.	6507.	10674.	60667.	67841.
TOTAL	114853.	545456.	42000.	50004.	276204.	251084.	336371.	437836.

Figur 3.1: Energibalans för befintligt hus

Det första värde som presenteras i denna är antalet gradtimmar i januari månad. Detta beräknas så att skillnaden mellan den antagna innetemperaturen, 21 °C och medeltemperaturen utomhus - 0.9 °C multipliceras med antalet timmar i januari månad. Det första värdet blir således:

$$[21.0 - (-0.9)] \times 744 = 16\,294 \quad \text{gradtimmar}$$

Traditionellt har gradtimmebegreppet använts på ett något annat sätt. Då har man undantagit andelen timmar utanför eldnings säsongen samt justerat för utetemperaturer högre än ett visst belopp. Man brukar dessutom räkna med en innetemperatur om endast 17 °C för att kompensera för gratisenergi från apparater och verksamhet i byggnaden. Ytterligare detaljer om det traditionella graddagsbegreppet kan inhämtas i referens [15]. I OPERA används begreppet så att en gradtimma genereras så fort utetemperaturen är lägre än den önskade innetemperaturen under en timma. Gradtimmar erhålles således även i juli månad.

Det andra värdet som beräknas anger hur mycket värme som passerar ut genom byggnaden via klimatskal och ventilationssystem. Ovan beräknades två olika koefficienter för detta ändamål. Multipliceras summan av dessa med antalet gradtimmar för januari erhålles energimängden för denna månad:

$$\frac{(3\,109 + 1\,640) \times 16\,293}{1\,000} = 77\,378 \quad \text{kWh}$$

Värdet i figuren ovan avviker något pga olika avrundningsteknik vid beräkningarna. Användningen av varmvatten resulterade i ett belopp om 3 500 kWh medan gratisenergi angetss i indatafilen, dvs 4 167 kWh.

Nästa post i figur 3.1 består i mängden gratisenergi från solinstrålning genom fönstren. I indatafilen angavs att 4.3, 8.27, 29.66 och 8.27 kWh/m<sup>2</sup> kom in som solinstrålning. Arean på fönstren framgår av tabell 3.2 och resulterande solinstrålningsbelopp blir således:

$$126.5 \times 4.3 + 41.3 \times 8.27 + 270.1 \times 29.66 + 30.6 \times 8.27 = 9\,149.7 \quad \text{kWh}$$

I januari månad antas således 80 881 kWh behövas för uppvärmning och tappvarmvatten. Den gratisvärme som finns att tillgå för uppvärmningsändamål

mål utgör 13 317 kWh vilket innebär att 67 564 kWh måste levereras av fjärrvärmeanläggningen. I Januari månad utnyttjas all den gratisenergi som finns tillgänglig. Detta är inte fallet under sommaren och under denna tid kan således fjärrvärmeanläggningen stängas av vad gäller uppvärmningen av huset. Tappvarmvattenuppvärmning förekommer dock året runt. Ytterligare en post beräknas av OPERA vilken används vid optimering av isoleråtgärderna. Oavsett hur värmen kommer in i byggnaden, dvs om den kostar pengar eller är gratis, är den av nytta under eldningsssäsongen. Isoleringarna gör att husägaren hushållar med denna värme som på marginalen kostar lika mycket som normal värme från fjärrvärmeverket. Man skall således optimera isoleringarna för ett antal kWh, 437 836, medan pannan skall optimeras för ett annat antal, 336 371 kWh. Ytterligare detaljer kring detta koncept finns i referens [16].

Genom energibalansberäkningen finns nu uppgifter om hur mycket värme som måste tillföras byggnaden. Genom att summera användningen för de olika taxesegmenten, samt justera för anläggningens verkningsgrad 0.95, fås följande:

$$\frac{167\,837 \times 0.306 + 39\,687 \times 0.150 + 128\,848 \times 0.319}{0.95} = 103\,593 \quad \text{SEK}$$

Under året används således fjärrvärme för 103 593 SEK. Till detta belopp kommer dels den fasta avgiften om 6 343 SEK och dels effektavgiften 359.5 SEK/kW. I OPERA användes den sk debiteringseffekten som underlag när effektavgiften skall bestämmas. Denna debiteringseffekt beräknas som summan av den använda värmen i januari och februari dividerat med antalet timmar. Således fås debiteringseffekten till:

$$\frac{(67\,564 + 56\,592)}{0.95 \times 744 + 24 \times \frac{(3 \times 28 + 29)}{4}} = 91.91 \quad \text{kW}$$

Effektavgiften uppgår således till 33 042 SEK. Årligen måste alltså 142 977 SEK betalas för användningen av fjärrvärmen. Då denna avgift återkommer år efter år måste den nuvärdesberäknas. I indatafilen anges att 5 % kalkylränta skall användas och en projekteringsperiod om 50 år. Detta innebär att den nuvärdesberäknade kostnaden för fjärrvärmen blir:

$$142\,977 \times \frac{1 - (1 + 0.05)^{-50}}{0.05} = 2\,610\,200 \quad \text{SEK}$$

### 3.4 Livstidskostnad, befintligt hus

Ovan har beräknats de ingående posterna i LCC. Genom att summera dessa erhålles den totala LCC för det befintliga huset. Man får således:

$$1\,138\,933 + 2\,610\,200 = 3\,749\,133 \quad \text{SEK}$$

Andra kostnader, ex. vis kostnad för nya värmeanläggningar, kan också uppträda men dessa är som visats inte av intresse här. Beloppet ovan ligger till grund för de jämförelser man gör med den åtgärdade byggnaden.

### 3.5 Inverkan av en ROT - åtgärd på vindsbjälklaget

Då nu det befintliga husets LCC beräknats ska en ROT - åtgärd införas. I OPERA undersöks först om en tilläggsisolering av bjälklaget skulle kunna vara lönsam. Här är viktigt att studera om man åtgärdar byggnaden innan det egentligen skulle behövas, dvs av andra skäl än energiskäl. Detta innebär i så fall att den tidigare beräknade oundvikliga ROT - kostnaden förändras. I just detta fall i Grevegården sker ingen sådan förändring vad gäller kostnaden för vindsbjälklaget. Den kvarvarande livslängden på befintligt bjälklag är ju 0 år och dessutom är konstanten  $C_1$  lika med 0. Den oundvikliga ROT - kostnaden kommer således att bli identisk med den som presenterades i tabell 3.1, dvs 1 138 933 SEK.

Vid en eventuell tilläggsisolering förändras bl a nödvändig effekt på uppvärmningsanläggningen. I detta fall betalar Göteborgs Energi AB kostnaden för abonnentcentralen vilket innebär att den minskade kostnaden inte kommer husägaren till del. Kostnaden för utbyte av pannor m.m. blir således fortfarande 0 SEK.

En tilläggsisolering kommer dock att förändra energianvändningen i byggnaden d.v.s. ett lägre antal kWh fjärrvärme kommer att köpas från värmeverket. I referens [2] sidan 39 visas att det nya U - värdet för en tilläggsisolerad byggnadsdel,  $U_{nytt}$ , kan skrivas som:

$$U_{nytt} = \frac{\lambda_{nytt} \times U_{bef}}{\lambda_{nytt} + U_{bef} \times t_{ny}}$$

där  $\lambda_{nytt}$  = Nya isoleringens värmeledningskoefficient i  $W/m \times K$ ,  $U_{bef}$  = Befintliga isoleringens U - värde i  $W/m^2 \times K$  och  $t_{ny}$  = Den tillkommande isoleringens tjocklek i m.

Då det är okänt hur stort  $t_{ny}$  är kan inte samma metod som tidigare användas för att beräkna den resulterande LCC. Istället förfäres så att energikostnaden först beräknas för byggnaden med antagande om att ingen värme alls kommer att passera vindsbjälklaget. Detta innebär att transmissionskoefficienten kommer att sjunka från 3 109.2 W/K till 2 851.9 W/K. En ny energibalans beräknas nu där de olika taxesegmenten erhåller 155 998, 36 907 och 119 740 kWh respektive. Således fås energikostnaden för byggnaden om bjälklaget frändrages till:

$$\frac{155\,998 \times 0.306 + 36\,907 \times 0.15 + 119\,740 \times 0.319}{0.95} = 91\,468 \quad \text{SEK}$$

Debiteringseffekten blir på samma sätt som tidigare 85.93 kW vilket resulterar i 30 890 SEK och den fasta avgiften blir som tidigare 6 343 SEK. Nuvärdesberäknas dessa kostnader får man summan 2 349 574 SEK.

Bjälklagets transmissionsfaktor beror på den optimala isolertjockleken. Denna kommer att bestämmas av det energipris som ska tillämpas vilket i sin tur beror på den resulterande energianvändningen och transmissionsfaktorn. Det synes därför som om man stod inför ett olösligt problem där resonemanget går runt i en cirkel. I OPERA löses detta så att ett medelpris på fjärrvärmens beräknas för en energimängd som motsvaras av att:

$$\lambda_{nytt} + U_{bef} \times t_{ny} = 1$$

Vare sig den fasta avgiften eller någon tappvarmvattenförbrukning tas med beräkningen då det endast är den ytterligare marginella värmeanvändningen som skall tas hänsyn till. Det rörliga energipriset beräknas på detta sätt till 0.379 SEK/kWh. Endast en del av den totala LCC varierar med isolertjockleken medan resterande delar är konstanta. Följande uttryck ska således minimeras:

$$\frac{0.04 \times 0.31 \times 830 \times 0.379 \times 18.26 \times 92\,192 \times 10^{-3}}{0.95 \times (0.04 + 0.31 \times t_{ny})} + 530 \times 830 \times t_{ny}$$

där  $0.04 = \lambda_{nytt}$ ,  $0.31 = U_{bef}$ ,  $830 =$  Arean på vindsbjälklaget,  $0.379 =$  Beräknat medelpris på fjärrvärmen,  $18.26 =$  Nuvärdesfaktorn,  $92\,192 =$  Antalet gradtimmar för optimering av isoleråtgärder,  $0.95 =$  Verkningsgrad för fjärrvärmeanläggningen och  $530 =$  Kostnad för isolering i SEK/m<sup>2</sup> × m.

Antalet gradtimmar som skall användas beräknas så att energianvändningen för isoleringsoptimeringen i figur 3.1, 437 836 kWh divideras med summan av transmissions- och ventilationskoefficienterna, 3 109.2 och 1 640 W/K respektive, vilket ger 92 192 gradtimmar. Uttrycket ovan deriveras sedan och sätts lika med 0. I referens [2] sidan 46 redovisas detaljerna och efter förenkling erhålles att optimal extra isolering uppgår till:

$$t_{opt} = -\frac{0.04}{0.31} + \left(\frac{6\,912}{439\,900 \times 0.31}\right)^{0.5} = 0.096 \quad \text{m}$$

Noteras bör att inga termer finns med som visar inverkan av värmeanläggningens storlek då denna kostnad är lika med 0. Den ovan funna isolertjockleken appliceras nu på vindsbjälklaget vilket resulterar i en ny transmissionskoefficient, 2 999 W/K, och en ny energibalans beräknas på samma sätt som tidigare. De nya kostnaderna i LCC framgår av tabell 10. Det visar sig således att LCC för det befintliga huset med applicerad isolering på vindsbjälklaget får en LCC om 3 939 593 SEK medan livstidskostnaden för det befintliga huset utan extra isolering hade en LCC om 3 749 133 SEK. I detta fall lönade det sig således inte att tilläggsisolera vindsbjälklaget och ROT-åtgärden måste således förkastas. Som visats ovan har vissa konstgrepp tillgripits för att finna optimal isolertjocklek.

Oundviklig ROT-kostnad	1 138 933
Kostnad för ny isolering	258 030
Kostnad för fjärrvärme inkl eff. avg.	2 542 630
Summa	3 939 593

Tabell 3.3: Kostnader för befintlig byggnad med åtgärdat vindsbjälklag

I OPERA finns en rutin för att minska resp öka isoleringens tjocklek något för att se om LCC till äventyrs skulle kunna vara lägre. Då skillnaden är så stor som 130 000 SEK kommer dock inte isoleringsåtgärden att kunna vara lönsam, varför inte framställningen här skall tyngas med ytterligare utredningar kring detta. Beräkningar för de andra typerna av tilläggsisoleringar visar att inte heller dessa blir lönsamma.

### 3.6 Byte av fönster

Som nämnts tidigare finns ingen rutin utarbetad för att optimera själva fönsterkonstruktionen i OPERA. Vissa försök till sådana rutiner har gjorts av andra författare, se ex. vis referens [17], men dessa finns inte inkluderade i detta beräkningssystem. Istället går optimeringen till så att några olika alternativ prövas istället. De befintliga tvåglasfönstren byts därför ut mot en alternativ konstruktion varefter en ny LCC beräknas. Om denna nya LCC är lägre än befintlig LCC kommer konstruktionen att bli en kandidat till optimal strategi. Sedan prövas en annan fönsterkonstruktion och dennas resulterande LCC undersöks till sin nivå. Det viktiga är nu att inte enbart pröva mot det befintliga husets LCC utan dessutom mot den LCC som beräknades för den andra fönsterkonstruktionen. Detta för att säkerställa att lägsta möjliga LCC erhålles. Nedan följer ett exempel från Grevegården som visar hur beräkningarna tillgår.

Liksom vid optimeringen av isoleråtgärderna kommer den oundvikliga ROT-kostnaden att förändras om man byter fönster innan det, av andra skäl än energiskäl, är nödvändigt med ett byte. I detta speciella fall måste dock fönstren bytas då deras kvarvarande livslängd satts till 0 år men det är viktigt att notera att man slipper kostnader för framtida byten till tvåglasfönster som inkluderats i tabell 3.1. Den oundvikliga kostnaden sjunker således med 167 354 SEK till 971 579 SEK.

I indatafilen har angetts att treglasfönstren har ett U - värde om 2.0 W/m<sup>2</sup>×K medan de befintliga av tvåglas har ett värde om 3.0 W/m<sup>2</sup>×K. Då solinstrålningen genom fönstren påverkas av deras orientering efter väderstreck måste man undersöka varje orientering för sig. I OPERA studeras läget mot norr först. Notera att det inte finns någon koppling i modellen till exakt väderstreck men för enkelhets skull antas att fönstren orienterats åt norr. Antalet fönster här är 114 st och varje fönster har antagits ha arean 1.11 m<sup>2</sup>. Den nya transmissionskoefficienten vid ett fönsterbyte blir således:

$$3\ 109.2 - 1.11 \times 114 \times 3.0 + 1.11 \times 114 \times 2.0 = 2\ 982.6 \quad \text{W/K}$$

Genom fönsterbytet påverkas dessutom mängden solstrålning som tränger genom fönstren och som därigenom kan komma byggnaden till del. Detta beskrives av den sk skuggfaktorn som i indatafilen satts till 0.1, vilket innebär att 10 % av solen kommer att skuggas bort. Tidigare beräknades att 9 149.7 kWh fanns tillgängligt totalt i januari månad. Om 10 % av den solstrålning som når byggnaden från norr, 4.3 kWh/m<sup>2</sup>, skuggas bort sjunker det totala värdet till:

$$9\ 149.7 - 1.11 \times 114 \times 0.1 \times 4.3 = 9\ 095.3 \quad \text{kWh}$$

En ny energibalans beräknas nu vilket följs av en beräkning av kostnaderna för fjärrvärme i den nu åtgärdade byggnaden. Det nuvärdesberäknade beloppet uppgår till 2 537 340 SEK. Samtidigt har en kostnad för att byta ut fönstren erhållits vilken uppgår till:

$$1.11 \times 1300 \times 114 + 1.11 \times 1\ 300 \times 114 \times (1 + 0.05)^{-30} - \\ - \frac{1}{3} \times 1.11 \times 1300 \times 114 \times (1 + 0.05)^{-50}$$

eller 197 782 SEK. Då har kostnaden för fönsterbytet nuvärdesberäknats och restvärdet efter 50 år subtraherats. Den nya LCC för byggnaden med åtgärdade fönster i norriktningen uppgår således till:

$$197\,782 + 2\,537\,340 + 971\,579 = 3\,706\,701 \quad \text{SEK}$$

Denna nya LCC är således lägre än den som erhöles för det befintliga huset vilket innebär att åtgärden kommer in som en kandidat till en optimal ROT-strategi. Undersökningen fortsätter sedan för de andra väderstrecken och dessutom för de andra typerna av fönster, se tabell 3.4.

Fönstertyp	Norr	Öster	Söder	Väster
Treglas	3.707	3.742	3.697	3.745
Treglas, lågem	3.725	3.758	3.993	3.757

Tabell 3.4: Livscykelkostnader i MSEK för olika typer av fönster

Den tredje typen av fönster, treglas med lågemissionsskikt och gasfyllning, spärrades avsiktligt ut genom de höga kostnader som sattes i indatafilen. Dessa redovisas därför inte i tabell 3.4. Då den befintliga LCC uppgår till 3.749 MSEK ser man att ett byte till treglasfönster i alla riktningar är det bästa alternativet.

### 3.7 Tätning av fönster och dörrar

Inte heller för denna ROT - åtgärd kan man enkelt ställa upp någon kontinuerlig funktion som kan deriveras och sättas lika med 0. Samma metod som för fönster ovan tillämpas därför dvs man applicerar åtgärden och beräknar den nya LCC. Ovan beräknades den sk ventilationskoefficienten till 1 640 W/K. Luftflödet genom byggnaden antogs vara 0.6 omsättningar per timma och genom tätningen minskar denna med 0.1 omsättning. Detta innebär att ventilationskonstanten kommer att minska till 1 366.5 W/K. En förnyad energibalans samt efterföljande analys av kostnaderna för fjärrvärme visar att dessas nuvärde kommer att uppgå till 2 432 900 SEK.

Med tätningen kommer också vissa kostnader. Som indata har angetts att det kostar 250 SEK för varje ställe som åtgärdas. Antalet ställen uppges vara 56 stycken varför kostnaden uppgår till 14 000 SEK. Då tätningslister och andra anordningar åldras har angetts att åtgärderna måste göras om vart tionde år. En nuvärdesberäkning ger:

$$14\,000 \times (1 + 1.05^{-10} + 1.05^{-20} + 1.05^{-30} + 1.05^{-40}) = 33\,099 \quad \text{SEK}$$

Således erhålles följande LCC:

$$33\,099 + 2\,432\,900 + 1\,138\,933 = 3\,604\,932 \quad \text{SEK}$$

vilket är lägre än den LCC som erhållits för det befintliga huset. Tätning kommer därför att vara en kandidat i den optimala ROT - strategin.

### 3.8 Installation av en frånluftvärmepump

En populär åtgärd i flerbostadshus är att installera en frånluftvärmepump vilken överför en del av den värme som finns i ventilationsluften till tappvarmvattnet och/eller till klimatvärmen. Antag tills vidare att man tätat huset. Detta innebär att 0.5 omsättningar finns tillgängligt eller 4 141 m<sup>3</sup> luft per timma. Som indata har angetts att luftflödet har temperaturen 20 °C före värmepumpen och 10 °C efter denna. Den värme som kan utvinnas under ett år, 8760 timmar, uppgår således till:

$$0.33 \times 10 \times 4\,141 \times 10^{-3} \times 8\,760 = 119\,708 \quad \text{kWh}$$

medan frånluftvärmepumpens termiska effekt bör vara:

$$0.33 \times 10 \times 4\,141 \times 10^{-3} = 13.66 \quad \text{kW}$$

I värmepumpen användes el för att driva pumpens kompressor. För enkelhets skull antas här att husägaren har ett abonnemang med ett fast pris per kWh vilket i detta fall angetts till 0.496 SEK/kWh. För den händelse en tidsdifferentierad taxa används måste ett medelvärde beräknas vilket också sker i OPERA. Om man antar att frånluftvärmepumpen används året runt kommer därför den nuvärdesberäknade energikostnaden att uppgå till:

$$\frac{119\,708 \times 0.496 \times 18.26}{4.0} = 271\,047 \quad \text{SEK}$$

Kostnaden för att installera pumpen har delats in i två delar. Den första delen omfattar kostnader för rördragning, kanaler mm vilka har en avsevärt högre livslängd än frånluftvärmepumpen som sådan. Denna kostnad har antagits kunna beskrivas som ett belopp per lägenhet vilket angetts till 10 000 SEK. Vidare har man angett att det finns 14 lägenheter i byggnaden vilket innebär att kostnaden uppgår till 140 000 SEK. Den antagna livslängden för dessa åtgärder är 50 år vilket i sin tur innebär att någon nuvärdesberäkning inte behöver ske här. Den andra delen av kostnaden består dels av en fast kostnad, 10 000 SEK samt en del som beror på pumpens effekt, 4 500 SEK/kW. Pumpens livslängd har satts till 10 år. Då pumpen bör ha en effekt om 13.66 kW fås därför en nuvärdesberäknad kostnad om 169 035 SEK.

Då värme levereras från värmepumpen används denna till dels tappvarmvattnet och dels uppvärmningen av byggnaden. Ovan beräknades värmepumpens leverans till 119 708 kWh under ett år eller 9 976 kWh per månad. Som framgår av figur 3.1 överstiger denna leverans behovet av värme under sommarmånaderna. Då lönsamheten för värmepumpen är starkt beroende av dess värmeleverans är det således viktigt att konstatera hur mycket värme som i verkligheten behövs. Detta åstadkommes liksom tidigare genom att beräkna en energibalans. Denna används sedan för att beräkna den nuvärdesberäknade kostnaden för fjärrvärme, här 1 897 310 SEK. I tabell 3.5 finns en sammanställning över de nuvärdesberäknade kostnaderna.

Summan i tabell 3.5 utgör LCC för byggnaden då den är tätad och med en frånluftvärmepump installerad. LCC är lägre än den som beräknades för det befintliga huset men den är högre än den man fann då huset endast tätades. I detta fall lönar det sig således inte att installera någon frånluftvärmepump.



Oundviklig ROT - kostnad	1.139
Rörarbeten m.m.	0.140
Frånluft värmepump	0.169
Elkostnad för frånluft värmepumpen	0.271
Tätningkostnad	0.033
Fjärrvärmekostnad	1.897
<b>Summa</b>	<b>3.649</b>

Tabell 3.5: Kostnader i MSEK vid användande av en frånluft värmepump.

Man måste också undersöka om det skulle vara billigare att inte tätta byggnaden innan frånluftvärmepumpen installerats. Tätningen innebär ju att luftflödet minskas varigenom även mängden värme som är möjlig att erhålla reduceras. Om ingen tätning sker har man ett luftlöde om 0.6 omsättningar per timma. Den utvinningsbara värmemängden ökar således till 143 650 kWh per år och därigenom kostnaden för att driva pumpen till 325 201 SEK under beräkningsperioden. Pumpens effekt måste dessutom vara något större 16.39 kW, vilket innebär en ökad kostnad, 198 113 SEK. Rörarbetena kostar lika mycket som tidigare, medan kostnaden för att värma byggnaden kommer att uppgå till 1 983 650 SEK. I tabell 3.6 återfinnes en sammanställning över de nuvärdesberäknade kostnaderna.

Oundviklig ROT - kostnad	1.139
Rörarbeten m.m.	0.140
Kostnad frånluftvärmepump	0.198
Elkostnad för frånluftvärmepumpen	0.325
Kostnad för uppvärmning, fjärrvärme	1.984
<b>Summa</b>	<b>3.786</b>

Tabell 3.6: Kostnader för byggnad med frånluftvärmepump, ingen tätning

Av tabell 3.6 framgår att LCC med frånluftvärmepumpen installerad ger ett sämre utfall än då byggnaden inte var åtgärdad alls. Man får dessutom ett högre värde än då både frånluftvärmepump och tätning applicerats och vidare är LCC högre än då byggnaden endast tätats. Någon frånluftvärmepump kan därför inte motiveras.

### 3.9 Primär ROT - strategi, uppvärmning med fjärrvärme

Som visats ovan erhålles endast två olika ROT - åtgärder om man kräver lönsamhet, nämligen byte av fönster från två- till treglas samt tätning av byggnaden. De andra åtgärderna som prövats innebär att LCC blir högre än om byggnaden inte åtgärdats alls. Som nämnts tidigare kan ibland ROT - åtgärderna påverka varandra så att lönsamheten hos en eller flera åtgärder överskattas. Denna inverkan kan nu undersökas genom att applicera hela strategin och därvid beräkna den totala LCC.

Den första åtgärden som föll ut som en kandidat var treglasfönster åt norr. Ovan visades att transmissionskoefficienten pga denna ROT - åtgärd sänktes från 3 109.2 till 2 982.6 W/K dvs en skillnad om 126.6 W/K. Summan av transmissions- och ventilationskoefficienterna blir därför 4 622.6 W/K. Kostnaden för de nya fönstren uppgår vid byggnadstillfället till 164 502 SEK. Efterföljande fönsterbyte som måste ske år 30 kostar nuvärdesberäknat 33 280 SEK då också restvärdet dragits av från kostnaden. I OPERA kommer denna efterföljande renovering att summeras till de oundvikliga kostnaderna medan den inledande kostnaden redovisas som direkt "ROT - kostnad". Man måste också notera att den oundvikliga kostnaden sjunker pga att behovet att byta till tvåglasfönster försvinner. Denna minskade kostnad har beräknats ovan till 167 354 SEK. Efter bytet till treglasfönster i norriktningen kommer således den oundvikliga ROT - kostnaden att få beloppet:

$$1\,138\,933 - 167\,354 + 33\,280 = 1\,004\,859 \quad \text{SEK}$$

I tabell 3.7 erhålles resultatet av de andra kandiderande ROT - åtgärderna.

	Tot trans [W/K]	Direkt k. [MSEK]	Oundv k. [MSEK]
Inga åtgärder	4 749.2	0.000	1.139
Treglas, norr	4 622.6	0.165	1.005
Treglas, öster	4 581.3	0.218	0.961
Treglas, söder	4 311.2	0.569	0.675
Treglas, väster	4 280.6	0.609	0.643
Tätning	4 007.3	0.642	0.643

Tabell 3.7: Förändring av termiska egenskaper och kostnader för åtgärdat hus

Notera att tabell 3.7 redovisar kumulerade värden.

Nu måste kostnaden för fjärrvärmens beräknas. Liksom tidigare sker denna via en energibalans samt en beräkning av energikostnaden för varje månad med efterföljande nuvärdesberäkning. Resultatet framgår av tabell 3.8.

Oundviklig ROT - kostnad	642 622
Direkta ROT - kostnader	642 175
Fjärrvärmekostnad	2 189 556
<b>Summa</b>	<b>3 474 353</b>

Tabell 3.8: Livstidskostnad i SEK för byggnad med åtgärder.

Summan i tabell 3.8 skall nu jämföras med den som erhålles om sparbeloppen för varje enskild ROT - åtgärd subtraheras från den ursprungliga LCC. Dessa sparbelopp har inte redovisats med den noggrannhet som krävs men i OPERA har den sk inkrementella LCC beräknats till 3 474 356 SEK. Skillnaden uppgår således endast till 3 SEK vilket innebär att man inte behöver ta hänsyn till att ROT - åtgärderna påverkar varandra.

### 3.10 Byte av värmesystem

Som framgår av figur 2.4 måste även de andra möjliga värmesystemen undersökas. Här kommer ingen närmare redogörelse att ske för dessa system utan vi nöjer oss med att visa resultatet av en körning med OPERA, se figur 3.2, samt att ge några kommentarer.

*** LCC TABLE FOR BASE CASE 1.00 ***										
VALUES IN MSEK										
	EXIS.	NEW	ELE.	DIST.	GR.W	NAT.	TOU	TOU	BIV.	BIV.O.
	SYST.	OIL	HEAT	HEAT	HEAT	GAS	DIST	ELEC.	GR.HP	AIR HP
NO BUILD. RETR.	3.76	4.16	4.40	3.73	3.84	5.13	3.76	--	3.26	3.55
SAVINGS:										
ATTIC FL. INS	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	--	.00	.00
FLOOR INS.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	--	.00	.00
EXT. WALL INS.	.00	.00	.00	.00	.00	.11	.00	--	.00	.00
INS. WALL INS.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	--	.00	.00
TRIPLE-GLAZING	.13	.16	.19	.13	.14	.26	.13	--	.08	.10
TRIPLE-GL. L.E.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	--	.00	.00
TR.-GL. L.E. G.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	--	.00	.00
WEATHERSTRIP.	.15	.18	.21	.16	.14	.26	.15	--	.11	.13
EXH. AIR H. P.	.00	.17	.25	.09	.00	.42	.00	--	.00	.00
SUM. OF RETRO.	3.47	3.64	3.74	3.35	3.56	4.09	3.48	--	3.08	3.31
SUM. OF COMB.	3.47	3.64	3.74	3.35	3.56	4.09	3.48	--	3.08	3.31
DISTRIBUTION:										
SAL. OLD BOILER	.00	.01	.01	.01	.01	.01	.01	--	.01	.01
NEW BOIL. COST	.00	.11	.04	.00	.76	.09	.00	--	.47	.78
PIPING COST	.00	.03	.00	.00	.50	.02	.00	--	.23	.03
ENERGY COST	2.19	1.64	1.83	1.48	1.01	1.53	2.19	--	1.09	1.20
CONNECTION FEE	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	--	.00	.00
BUIL. RETROF. C	.64	1.22	1.22	1.22	.64	1.78	.64	--	.64	.64
INEVITABLE COST	.64	.64	.64	.64	.64	.64	.64	--	.64	.64

Figur 3.2: LCC för de olika värmesystemen med kandidater till åtgärder

I figuren 3.2 kan man återfinna LCC för det befintliga huset längst upp till vänster, 3.76 MSEK. Beloppet är inte helt identiskt med det som redovisats vid beräkningarna ovan vilket beror på små skillnader i beräkningsrutiner samt avrundningsfel. På raden under i figur 3.2 återfinnes besparingarna av en eventuell bjälklagsisolering. Här har värdet 0.00 redovisats vilket innebär att åtgärden ej var lönsam. Inte heller de följande tilläggsisoleringarna var lönsamma och den första åtgärden som ger ett besparingsbelopp är den som avser treglasfönster. Här sparas 130 000 SEK. En likaledes lönsam ROT - åtgärd var tätningen av byggnaden där 150 000 SEK sparades under projektets livslängd. Subtraheras sparbeloppen från den ursprungliga LCC erhålles 3.47 MSEK vilket belopp redovisar resultatet av den inkrementella metoden. Genom att införa de två olika åtgärderna på samma gång erhålles LCC på raden under vilken i detta fall är identisk med den tidigare erhållna. Följande rader visar LCC uppdelad på olika kostnadsslag, energikostnaden 2.19 MSEK, den direkta ROT - kostnaden 0.64 MSEK samt den oundvikliga ROT - kostnaden 0.64 MSEK.

Då man byter värmesystem från fjärrvärme till en ny oljepanna stiger LCC för huset från 3.76 MSEK till 4.16 MSEK om inga andra ROT - åtgärder kommer till utförande. Sparbeloppen för ROT - åtgärderna blir samtidigt något högre och dessutom visar det sig att En frånluftvärmepump kommer in bland

kandidaterna. Den resulterande LCC blir dock högre än den som erhöles med befintlig fjärrvärme varför denna strategi måste förkastas. Samma förhållande råder för flera andra av de undersökta värmesystemen. Det finns dock några typer som ger en lägre LCC. Det första fallet utgörs av en fjärrvärmeanläggning med fast taxa i motsats till den tidigare med differentierad sådan. Anledningen till detta utfall är att de två taxorna inte är helt normerade dvs taxornas nivå är inte helt identisk. De andra två fallen utgörs av bivalenta system dvs där har en värmepump kombinerats med en oljepanna så att värmepumpen tar hand om baslasten medan oljepannan svarar för topplasten. Notera dock att de ROT - åtgärder som sänker värmebehovet blir identiska med de tidigare. Notera dessutom skillnaden i fördelning mellan energi-, installations- och byggnadsåtgärder. Då Göteborgs Energi AB förklarat att fjärrvärme är det enda tänkbara alternativet i området Grevegården kommer ingen närmare analys att utföras för dessa mer komplicerade värmesystem, även om de från ett LCC - perspektiv ger lägre kostnader för husägaren.

Man bör också notera att vi för den tidsdifferentierade eltaxan tagit bort de av programmet framräknade värdena. Detta beror på att avsevärda sparbelopp för varje ROT - åtgärd erhålles då ett optimalt sparande innebär ett byte av taxsystem. I stället för effekttaxa fås säkringstariff då en ROT - åtgärd införs. Då modellen hela tiden jämför LCC mellan det med en åtgärd ombyggda huset med LCC för det befintliga huset fås byte av taxa varje gång en åtgärd testas. Den inkrementella metoden kan således inte användas här. Kombinationsmetoden avslöjar detta vilket resulterade i den högsta LCC för de undersökta alternativen.

I OPERA - modellen erhålles också en redovisning av effekt, energi- och kostnadsförhållanden för värmesystemen. För det befintliga systemet, vilket var det som kunde komma i fråga erhålles värden enligt figur 3.3.

THE BEST HEATING SYSTEM IS THE DISSDIFF					
	LOAD (KW)	TRANS (W/K)	ENERGY (MWH/YEAR)	RETROFIT COST (KSEK)	INEVITABLE COST (KSEK)
NO RETROFITS	166.2	4749.2	336.4	.0	1139.0
TRIPLE-GL. WIN, NORTH	161.8	4622.6	325.8	164.5	1005.0
TRIPLE-GL. WIN, EAST	160.3	4581.3	322.7	218.2	961.2
TRIPLE-GL. WIN, SOUTH	150.9	4311.2	306.9	569.3	675.0
TRIPLE-GL. WIN, WEST	149.8	4280.6	304.6	609.1	642.6
WEATHERSTRIPPING	140.3	4007.3	279.4	642.2	642.6

DIFFERENT PARTS OF THE LCC IN SEK:	
SALVATION VALUE EXISTING BOILER	= 0.
INEVITABLE BUILDING RETROFIT COST	= 642622.
NEW BOILERS COST, PIPING EXCLUDED	= 0.
PIPING COST	= 0.
ENERGY COST	= 2189556.
BUILDING RETROFIT COST	= 642175.
CONNECTION FEE	= 0.
THE LOWEST COMBINATION LCC	= 3474353.
INCREMENTAL LCC	= 3474356.
DIFFERENCE BETWEEN INC. AND COMB.	3.

Figur 3.3: Redovisning från OPERA - modellen

Om inga värmesparande åtgärder införs erhålles en dimensionerande effekt om 166.2 kW. Om treglasfönster införs i norriktningen sjunker denna effekt till 161.8 kW osv. Summan av ventilations- och transmissionskoefficienterna, TRANS i figur 6, sjunker på motsvarande sätt från 4 749.2 till 4 622.6 W/K. Användningen av värme i byggnaden minskar naturligtvis också. Mellan varje redovisat värde ligger en energibalans vilket innebär att man tagit hänsyn till åtgärdernas påverkan på varandra.

I figur 3.3 redovisas också hur de direkta byggnadskostnaderna ökar för varje ROT - åtgärd medan den oundvikliga ROT - kostnaden, kanske något oegentligt, minskar för fönsteråtgärderna. Man erhåller dessutom en specifikation av kostnaderna fördelade på kostnadsslag med en högre upplösning än i figur 3.2.



## Kapitel 4

# KÄNSLIGHETSANALYS

Figur 3.2 ovan visar utfallet av en LCC analys för den byggnad som beskrivits i indatafilen i figur 2.1. Tyvärr är det så att alla indata inte kan väljas med samma precision. En del värden i indatafilen kommer därför att vara behäftade med fel varav en del kommer att påverka resultatet av analysen. I referens [1] har det visats att indata kan delas in i grupper av påverkan på resultatet där en ökning av parametern ger:

1. En ökad LCC
2. En minskad LCC
3. En oförändrad LCC

Ett exempel på den första gruppen kan vara en ökad kostnad för tätning av huset. En liten ökning av denna kostnad ger därför en ökad LCC. Det kan antas att detta förhållande råder så länge ökningen inte uppgår till ett för stort belopp. För små ökningar kommer således LCC att öka men så länge den totala LCC är lägre än den befintliga kommer inget anmärkningsvärt att ske, den optimala strategin förändras inte och tätningen kommer fortfarande att vara en del av en optimal lösning. Om parameterens värde, dvs tätningskostnaden ökas för mycket innebär detta att den kommer att falla bort från den optimala strategin och en fortsatt ökning av värdet innebär att LCC inte påverkas alls. Om t ex kostnaderna för en tilläggsisolering ökas innebär det att samma strategi som återfinns i figur 3.2 kommer att bli optimal dvs parametern hamnar i den sista gruppen ovan. Tyvärr är det omöjligt att, utan beräkningar, prediktera när så sker. På samma sätt skulle en liten minskning av kostnaden för en tilläggsisolering innebära att den optimala strategin kommer att vara oförändrad till en början. För en viss minskning kommer dock strategin att förändras så att ex en bjälklagsisolering, många gånger med en avsevärd tjocklek, plötsligt kommer att falla ut som optimal. Bytet av strategi kommer att ske utan att den resulterande LCC förändras i någon större grad så man kan med fog säga att även om fel strategi väljs har detta inte någon större betydelse. Kostnaden för husägaren kommer att bli nästan densamma oavsett vilken av strategierna som väljs.

Ett exempel på gruppen 2, där en ökning av parameterens värde ger en minskad LCC, är den reala diskonteringsräntan. Just denna parameter kommer dessutom att påverka utfallet av många olika ROT - åtgärder vilket innebär att den

ibland påverkar resultatet mera än en motsvarande förändring i andra parametrar. Generellt kan sägas att en ökning av diskonteringsräntan innebär att ROT - åtgärderna misskrediteras, medan en minskning ger flera åtgärder.

En förändring av diskonteringsräntan från 5 % till 3 % innebär för fallet ovan att både ytterväggen ska tilläggsisoleras, med 8 cm mineralull, och en frånluftvärmepump installeras. En ökning från 5 % till 7 % innebär å andra sidan att den ursprungliga strategin ligger fast, dvs de enda åtgärder som kommer ifråga är fönsterbyte samt tätning.

En annan parameter som påverkar hela ROT - strategin samtidigt är projektets livslängd. En förändring från 50 år till 40 år får ingen inverkan just i detta fall, samma ROT-åtgärder faller ut som i basalternativet. Förhållandet blir likartat för en förlängning av projektets livslängd till 60 år.

Det bör noteras att undersökningen ovan gjorts med förutsättning av att det befintliga värmesystemet skall behållas. Såväl i basalternativet som i flera andra alternativ kommer även optimalt val av värmesystem att påverkas av räntenivå och optimeringstid vilket innebär att det bivalenta systemet egentligen skulle vara det billigaste. Detta innebär att såväl en tilläggsisolering av ytterväggarna som en installation av en frånluftvärmepump inte skulle vara optimala även om räntenivån sänktes till 3 %.

Analysen ovan visar att fönsterbyte och tätning kommer att utgöra en förhållandevis robust lösning för några viktiga parametrar. Tilläggsisolering av ytterväggarna samt installation av en frånluftvärmepump skulle kunna vara optimalt i vissa fall antingen om priserna för åtgärderna eller om räntenivån sänks. Ett förslag är därför att närmare undersöka om de priser som använts speglar verkliga förhållanden.



## Kapitel 5

# BOSTADSFINANSIERINGSSYSTEM

På senare år har det svenska bostadsfinansieringssystemet varit under debatt. Det system som nu gäller innebär att husägaren kan få räntebidrag för en ombyggnation så länge som kostnaderna inte överstiger kostnaden för en motsvarande ny byggnad. Ett regelsystem finns för att räkna ut vad en sådan byggnad skulle kosta dvs man måste använda vissa schablonvärden som bestäms av Boverket. Om ombyggnaden godkänns erhålles en garanterad ränta för ombyggnadskostnaden. Den garanterade räntan är i dagsläget c:a 5 % beroende på ägarens status. Allmännyttiga bostadsföretag har den lägsta garanterade räntan medan privata fastighetsägare har den högsta räntenivån detta pga skiljaktigheter i beskattningshänseende. Den garanterade räntan stiger sedan med 0.25 % om året. Det är viktigt att notera att den garanterade räntan hela tiden beräknas för det ursprungliga lånebeloppet dvs man antar att ingen amortering sker av lånen. Detta innebär att ombyggnadslänesystemet inte är lika förmånligt som det inledningsvis kan verka. Då statens utgifter för bostadsfinansiering har tenderat att öka till oacceptabla nivåer föreslog den förra regeringen att ett räntelänesystem skulle införas i stället. Detta innebar att husägaren skulle få låna pengar till räntan istället för att få bidrag. Detta skulle innebära att kostnaderna för fastighetsägaren i reala termer skulle vara konstanta medan beloppen som i verkligheten betalas ökar i takt med inflationen. Detta system har dock fått kritik då det skulle kunna innebära att låneskulden ökar så mycket att byggnaden inte kan avyttras till detta nya högre belopp. En viss räntegaranti fanns dock inbyggt i systemet vilket skulle göra problemet mindre. Den nuvarande regeringen har dock återgått till det tidigare systemet med ombyggnadslån och räntegaranti men nyligen har föreslagits att detta skall avvecklas under en period på tio till femton år.

I ett tidigare skede låg den garanterade räntan så lågt som 2.6 % men denna ränta höjdes för några år sedan för att styra över produktionen från ombyggnation till nybyggnation av bostäder. Dessutom infördes en begränsning av antalet byggnader som kunde få dessa ombyggnadslån framför allt i storstadsområdena. Sammantaget innebar detta att ombyggnadsverksamheten reducerades högst avsevärt vilket också överensstämde med statsmakternas intentioner.

Det finns också ett annat system, det sk räntestödsystemet. Genom att ut-

nyttja detta får husägaren ett på förhand bestämt bidrag till sina kostnader för en ombyggnation oavsett om denne lånar pengar till åtgärderna eller ej. Subventionen är dock här avsevärt mycket lägre varför detta system inte behandlas närmare här. Se referens [18], sidan 10, för mera detaljer.

I referens [18] visas att systemet med ombyggnadslån och 5.25 % garanterad ränta ger en subvention av fastighetsägarens godkända kostnader med c:a 35 %. Sänks den garanterade räntan till 2.6 % uppgår subventionen till omkring 53% dvs en avsevärd ökning. Ett annat viktigt resultat av denna studie visar att ungefärligen samma optimala strategi valdes oavsett om systemet utnyttjades eller ej. Systemet invercade inte på energisparåtgärderna i den grad som man skulle kunna förvänta sig. Detta beror på att såväl åtgärder som sparar värme i byggnaden, som installationsåtgärder subventioneras. Många värmesparåtgärder blir därför trots subventionen inte lönsamma att genomföra.

Den optimala tjockleken på en tilläggsisolering ökar med några centimeter men det viktigaste är att åtgärden vid en subvention kan falla "över gränsen" från att vara olönsam till att vara lönsam. Detta är förhållandet framför allt vid en garanterad ränta om 2.6 %. Optimalt värmesystem ändrades dock ej. I figur 5.1 visas utfallet vid en användning av 5.1 % ränta dvs den som idag är tillämplig.

*** LCC TABLE FOR BASE CASE										
VALUES IN MSEK										
=====										
	EXIS.	NEW	ELE.	DIST.	GR.W	NAT.	TOU	TOU	BIV.	BIV.O.
	SYST.	OIL	HEAT	HEAT	HEAT	GAS	DIST	ELEC.	GR.HP	AIR HP
-----										
NO BUILD. RETR.	3.75	4.08	4.36	3.72	3.05	5.05	3.75	--	2.81	3.11
SAVINGS:										
ATTIC FL. INS	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	--	.00	.00
FLOOR INS.	.00	.00	.02	.00	.00	.08	.00	--	.00	.00
EXT. WALL INS.	.03	.10	.17	.05	.00	.29	.03	--	.00	.00
INS. WALL INS.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	--	.00	.00
TRIPLE-GLAZING	.39	.42	.45	.39	.33	.51	.39	--	.30	.33
TRIPLE-GL. L.E.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	--	.00	.00
TR.-GL. L.E. G.	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	--	.00	.00
WEATHERSTRIP.	.16	.19	.21	.17	.10	.26	.16	--	.09	.11
EXH. AIR H. P.	.07	.28	.37	.21	.00	.53	.07	--	.00	.00
-----										
SUM. OF RETRO.	3.11	3.09	3.14	2.91	2.62	3.38	3.11	--	2.42	2.67
SUM. OF COMB.	3.10	3.09	3.19	2.91	2.62	3.44	3.11	--	2.42	2.67
-----										
DISTRIBUTION:										
SAL. OLD BOILER	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	--	.00	.00
NEW BOIL. COST	.00	.06	.02	.00	.18	.04	.00	--	.15	.49
PIPING COST	.00	.01	.00	.00	.41	.01	.00	--	.20	.02
ENERGY COST	1.22	1.11	1.00	1.01	1.01	1.16	1.22	--	1.05	1.14
CONNECTION FEE	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	--	.00	.00
BUIL. RETROF. C	1.69	1.71	1.98	1.70	.64	2.02	1.69	--	.64	.64
INEVITABLE COST	.19	.19	.19	.19	.38	.19	.19	--	.38	.38
=====										

Figur 5.1: LCC tabell från OPERA med lånesystemet utnyttjat

Som framgår av figuren blev det samma uppvärmningssystem som tidigare som blev optimalt dvs ett bivalent system med en värmepump och en oljepanna. Samma ROT - åtgärder som tidigare skulle väljas på klimatskalet nämligen byte av fönster från tvåglas till treglas. Dessutom skulle byggnaden tätas. För det befintliga värmesystemet kommer antalet ROT - åtgärder att utökas både en isolering av ytterväggarna och en frånluftvärmepump kommer att inkluderas

i denna strategi. Man bör också notera att den resulterande LCC blivit avsevärt lägre pga subventionerna. Då beräkningsrutiner och bakomliggande teori finns beskrivna i referenserna [6] och [18] kommer inte någon närmare analys av resultatet att utföras här. Vi kan dock konstatera att intresse ånyo väcktes för att undersöka kostnaderna för en utvändigt isolering av ytterväggarna samt en frånluftvärmepump.



## Kapitel 6

# ELEFFEKTIVISERING

På senare tid har intresset för att spara värme mer och mer övergått till att spara el. Detta beror till viss del på debatten kring avvecklingen av kärnkraften som enligt folkomröstningen skall ske år 2010. Som nämnts tidigare kan man inte med hjälp av OPERA - modellen studera en optimal elanvändning såvida inte elektriciteten används för uppvärmning av tappvarmvatten eller bostadsutrymmen. Då byggnaden i Grevegården är ansluten till det befintliga fjärrvärmenätet återstår därför elanvändning till sk fastighetsel samt hushållsel. I dagsläget saknar vi exakt kännedom om vad elektriciteten används till just i denna byggnad. Däremot finns en del uppgifter som rör hela bostadskomplexet om 779 lägenheter. Göteborg Energi AB anger att c:a 900 MWh åtgick under 1990 för fastighetsdrift medan omkring 1 800 MWh användes i de privata hushållen. Man anger också att hushållens användning varierar avsevärt,  $\pm 400\%$ . Som vi ser det är detta alltför knapphändiga uppgifter vad gäller elanvändningen för att man skall kunna dra andra än schablonartade slutsatser av vad som är lämpliga åtgärder för det specifika bostadshuset i Grevegården. I stället riktar vi in den fortsatta framställningen på mera generella synpunkter.

### 6.1 Elpriser

Som nämnts tidigare finns normalt två olika taxor som tillämpas vid försäljning av el, dels en sk säkringstariff och dels en sk effekttariff. Vid användandet av säkringstariffen kan dels ett fast pris per kWh tillämpas eller också används en tidstariff dvs priset per kWh varierar med hänsyn till vilken tid på dygnet och vilken veckodag som elektriciteten utnyttjas. Även månaden spelar in för prisbilden, se kapitel 2.1.17.1. Vid tillämpningen av en fast taxa används elpriset 32.5 öre/kWh. Till detta pris skall läggas energiskatt om 7.2 öre/kWh samt moms om 25 %. Den fasta taxans elpris blir därför 49.6 öre/kWh allt enligt normaltariff 570, se bilaga 1 sidan 96. I bilaga 1 nämns också att för vissa säkringsstorlekar kommer den fasta taxan att succesivt överföras till en s.k. förenklad tidstariff med priserna 56.5 öre/kWh för månaderna november till mars och måndag till fredag 0600 - 2200. Under övrig tid debiteras 20 öre/kWh. Med energiskatt och moms erhålles priserna 79.6 respektive 34 öre/kWh. Vidare tillämpas en abonnemangsavgift inkl moms enligt:

Mätarsäkring [A]	Abonnemangsavgift [SEK/år]
25	1 850
35	2 650
50	3 813
63	4 750

Då ett normalt abonnemang ligger inom ovan angivna gränser kommer säkringstariffen vanligen att vara tillämplig.

## 6.2 Fastighetsel

Den del av elanvändningen som betalas av husägaren och används gemensamt av de boende brukar benämnas fastighetsel. Hit hör ex. vis:

- Belysning i trapphus, källare och på vindar
- En del utomhusbelysning på gårdar m.m.
- Drift av ventilationssystem
- Drift av pumpar
- Elanvändning i gemensamma tvättstugor

### 6.2.1 Belysning i trapphus m.m.

Området Grevegården byggdes under 1960-talet. Detta innebär att belysningsarmatur m.m. är av förhållandevis modernt snitt. En utredning av GEKAB visar också att belysningen i trapphusen åstadkommes med lysrörsarmaturer. I dag finns installerat en lysrörsarmatur om 2 gånger 36 W på varje våning. Denna är styrd så att viss del av belysningen är tänd dygnet runt medan en annan del är tänd endast några timmar morgon och eftermiddag, vid högtrafik. Antalet våningar i byggnaden är tre stycken vilket innebär att 216 W är installerat i varje trapphus. Antag för enkelhets skull att all effekt är inkopplad dygnet runt. Under november till mars finns 1 728 högpristimmar medan resten av året, 7 036 timmar, är lågprissatt. Kostnaden för att driva trapphusets belysning under ett år blir således:

$$(1\,728 \times 0.796 + 7\,036 \times 0.34) \times 216 \times 10^{-3} = 814 \quad \text{SEK}$$

Låt oss vidare anta att man genom olika installationsåtgärder skulle kunna sänka den använda effekten till hälften. Detta skulle spara 407 SEK per år under förutsättning att inte säkringsstorleken kunde sänkas. Vi bedömer att dessa installationsåtgärder har en livslängd om maximalt 20 år vilket innebär att en nuvärdesfaktor på 12.46 skall tillämpas. Detta under förutsättning att samma reala räntevillkor som tidigare används, dvs 5 %. En nuvärdesberäkning visar att ett belopp om 5 072 SEK finns tillgängligt för åtgärderna. Detta under förutsättning att underhållsåtgärderna för den befintliga och den nya anläggningen i övrigt är lika. Ett positivt nuvärde förutsätter dock att den befintliga utrustningen kan anses som utranterad, i annat fall skulle det finnas ett restvärde på den befintliga utrustningen. I äldre hus finns ju armaturer kvar sedan sekelskiftet så det kan diskuteras om det är korrekt att sätta restvärdet till 0

SEK så länge anläggningen fungerar. Det är också viktigt att ta hänsyn den tid det tar att utföra installationen. En behörig elektriker kostar omkring 300 SEK/timma att anlita. Antas att arbetet kan ske på en dag kostar detta 2 400 SEK och kvar till elektrisk utrustning återstår då omkring 2 600 SEK. Se även referens [19] 12:013 där det visas att kostnaden för byte av en armatur är c:a 1 100 SEK. Det synes således finnas vissa möjligheter att erhålla ett positivt nuvärde för en ovan skisserad åtgärd. Man bör dock notera betydelsen av den reala räntan som används. Antag att 10 % används istället. Detta innebär att nuvärdesfaktorn ändras till 8.5 och det utrymme man har att disponera för åtgärder blir omkring 3 500 SEK. Möjligheterna att erhålla ett positivt nuvärde krymper således högst avsevärt med ett ökat krav på avkastning.

Det kan också diskuteras om det är möjligt att halvera elanvändningen för belysningen. Redan idag används viss tidsstyrning och endast en del av effekten är inkopplad dygnet runt. Det synes således tveksamt om belysningsåtgärder i trapphusen kan motivera mera omfattande åtgärder.

Belysning i källare och vindsutrymmen är enligt vår erfarenhet ofta försedd med trappautomatik vilket innebär att belysningen endast är inkopplad en kortare tid. Det är oklart om så är fallet i Grevegårdsområdet. Den installerade effekten i sådana utrymmen är ofta mycket låg varför vi med hänsyn till det ovanstående bedömer att några åtgärder här inte kan motiveras av energiskäl.

En korrekt nuvärdesberäkning borde dessutom ta hänsyn till den värme som alstras av belysningsapparaturen. Denna kommer åtminstone under eldnings-säsongen byggnaden till del vilket innebär att nuvärdeskalkylen skulle justeras med en ökad användning av fjärrvärme. Som visades ovan kostar fjärrvärmens upp till 31.9 öre/kWh under november och december. Natttid kostar electriciteten 34 öre/kWh vilket innebär att man skulle spara endast 2 öre/kWh om all el som används inom byggnaden omvandlas till nyttig värme. I kalkylen ovan överskattas därför sparmöjligheterna.

I referens [20] finns mätningar för en annan byggnad redovisade och författaren anger att c:a 210 kWh/lgh $\times$ år används för belysningsåtgärder inom gemensamma utrymmen. Detta innebar vidare att belysningen hörde till en av de största förbrukarna under rubriken fastighetsel. Det finns således all anledning att studera denna post mera ingående.

### 6.2.2 Utomhusbelysning, motorvärmare m.m.

Inom området används dessutom en del utomhusbelysning och tre olika armaturer används enligt GEKAB's utredning. I alla dessa används en blandljuslampa utan reaktor som uppges ge sämre utbyte än moderna SL-lampor. Ingen uppgift finns dock om antalet lampor eller installerad effekt. Det är troligt att utomhusbelysningen redan idag tänds med hjälp av ett dagsljusrelä vilket innebär att belysningen inte är i funktion då dagsljuset är tillräckligt. Då all värme som produceras av lamporna övergår i förluster finns det goda utsikter att erhålla lönsamhet vid ett byte till mera energisnåla lampor. Det är dock viktigt att konstatera att belysningen till stor del är tänd under eltariffens lågpristid vilket innebär att lönsamheten minskar i jämförelse med om belysningen är tänd dygnet runt.

En del belysning är dessutom installerad i ett parkeringsdäck. Armaturen uppges vara i dåligt skick samtidigt som lokalerna är mörka och smutsiga. Genom

om målning av lokalerna samt utbyte av armaturer till en modernare typ skulle en bättre belysningsmiljö erhållas till samma eller lägre använd eleffekt.

I referens [21] finns en utredning rörande bl a utomhusbelysning. De 59 armaturerna hade försetts med 125 W kvicksilverlampor. Genom att byta ut dessa mot högtrycksnatriumlampor med effekten 70 W erhöles en väsentlig förändring av såväl effekt som energibehov. Bytet anges kosta 245 SEK för lampan, 244 SEK för drosseln samt 311 SEK för arbetet. Pay off tiden anges till 7.6 år. Den befintliga belysningen tändes med ljusrelä.

I referens [21] redovisas dessutom att motorvärmarruttagen har fast spänning utan styrning. En installation av tidur antogs ge en energibesparing om 50 %. Kostnaden för byte i samtliga 46 uttagscentraler antogs bli ca 100 000 SEK med en pay off tid om 5 år.

### 6.2.3 Drift av ventilationssystem

Byggnaderna i Grevegården har sk naturlig ventilation. Detta innebär att det inte finns några fläktar som driver på luftströmmen. I parkeringsdäcken finns dock ett mekaniskt ventilationssystem men detta skall enligt Familjebostäder tas ur bruk. Ett nytt ventilationssystem kommer troligen att ersätta både det befintliga i garagen samt det naturliga ventilationssystemet i bostäderna. Detta innebär att elanvändningen kommer att öka då fläktmotorer ofta har hög effekt och samtidigt används så gott som dygnet runt. I referens [20] anges t ex att 230 kWh/lgh $\times$ år användes i det av författaren redovisade projektet medan installerad effekt uppgick till 3.4 kW.

Då det inte är klargjort vilka förhållanden som råder för vare sig det gamla eller det nya ventilationssystemet kan vi inte ge annat än generella synpunkter på elanvändningen här. Då man dimensionerar ett ventilationssystem tar man ofta till ett större system som egentligen är nödvändigt. Det anses viktigare att det kommer för mycket än för lite luft. En sådan strategi innebär samtidigt att elanvändningen ökar. Det är också viktigt att välja rätt dimensioner på kanaler, spjäll mm så att inte onödiga förluster erhålles i systemet. När ventilationsanläggningen är klar är det dessutom viktigt att justera in systemet så att konstruktörens intentioner fullföljs. Filter, kanaler, värmeväxlare mm måste också underhållas och rensas, så att inte smuts och damm försämrar funktionen. Ett ytterligare sätt att spara elenergi är att installera sk varvtalsreglering vilket innebär att man kan reducera luftflödet under vissa tider på dygnet och därigenom få en lägre elanvändning. Kanske kan brukarna själva få styra systemet så att ventilationen endast är igång om den behövs. Om ett befintligt gammalt system skall åtgärdas kan det också löna sig att byta fläkthjul. I referens [22] finns en detaljerad genomgång av problematiken med fläktar och kanalutformning.

Då dimensioneringen av ett ventilationssystem kräver fackkunskap innebär detta att adekvata åtgärder är förhållandevis dyrbara. Dels kostar det en del att ta reda på vilka åtgärder som är lämpliga och dessutom kostar själva åtgärderna en hel del om ex. vis ett fläkthjul skall bytas. Då den elenergi som används av ventilationssystemet ofta uppgår till ansenliga belopp finns dock stora möjligheter att hitta lönsamma besparingsåtgärder. Vid inventeringar av befintliga anläggningar hittas ofta rena funktionsfel, t ex att fläktarna går baklänges, eller att spjäll som skall vara öppna istället är stängda osv.

I referens [21] redogöres för 15 byggnader med frånluftventilation. Fläktarna är placerade i 22 st vindsaggregat och var av typen SF TPCC-40 med rem-



drift och tvåhastighetsmotor. Genom byte till fläkttypen LHG CT-315-6 kunde effektbehovet i en fläkt sänkas från 1.25 till 0.62 kW. Bytet för en fläkt beräknades kosta ca 11 000 SEK vilket gav en pay off-tid om 4.1 år. Man gav också att drift- och underhållsbehovet minskade då de nya fläktarna var direktdrivna vilket skulle ytterligare förbättra kalkylen.

#### 6.2.4 Drift av pumpar

I en byggnad finns ofta några pumpar som går i kontinuerlig drift. Dessa kan bl. a. användas för att driva runt tappvarmvattnet i den s.k. VVC-ledningen eller användas för att driva runt värmevatten under eldnings-säsongen. Dessa pumpar är i många fall dimensionerade efter schablonregler varför de inte alltid är optimalt anpassade till systemet. Många gånger rekommenderas att pumpen ska stå på under hela året då den i annat fall rostar ihop. På moderna pumpar finns en regleringsmöjlighet i flera steg vilket innebär att pumpen kan ställas in efter det yttre klimatet. En automatisk varvtalsreglering skulle därför kunna vara en lämplig åtgärd. Man skulle också kunna införa ett läge på pumpen för extremt långsam drift vilket skulle användas utanför eldnings-säsongen. I referens [20] anges att 140 kWh/lgh $\times$ år används inom en abonnentcentral för fjärrvärme. Det har observerats att luft ibland tränger in i pumpslingan. Denna luft innebär ofta att pumpen inte fungerar så bra som man tänkt. En viktig åtgärd kan därför vara att installera en automatisk avluftningsanläggning.

#### 6.2.5 Elanvändning i gemensamma tvättstugor

De lokaler i byggnaden där högst effekt är installerad brukar vara hyresgästernas gemensamma tvättstugor. I referens [20] anges att 26.2 kW installerats i en sådan och användningen av elenergi uppgick till 480 kWh/lgh $\times$ år. Dessutom fanns en centrifug om 0.4 kW, en torktumlare om 9.4 kW, en avfuktare om 5.5 kW samt en kallmangel om 0.4 kW. Elektriciteten behövs därför främst för att värma eller avdunsta vatten och till en mindre del för att driva motorer. I flertalet moderna tvättmaskiner sitter ett kraftigt element för att värma upp kallvattnet till önskad tvättemperatur. En av de mest självklara åtgärderna för att spara el är därför att se till att tvättmaskinen kan ta in varmvatten från byggnadens tappvarmvattensystem istället för att värma kallvatten med el. Notera dock att man under eltariffens lågpristid inte tjänar några större belopp på denna åtgärd. Detta då fjärrvärmens är nästan lika dyr som elektriciteten. En annan åtgärd är att välja sådana tvättmaskiner där man kan tvätta mindre tvättar med en lägre uppoffring av varmt vatten och drifttid.

I tvättstugorna finns ofta apparater som centrifugerar tvätten och därigenom gör den torrare. Då dessa drivs av en elmotor med mycket hög verkningsgrad finns det oftast ingen anledning att byta ut en gammal anläggning under förutsättning att den fungerar.

Elanvändningen i tvättstugor har bl. a. behandlats i referens [23]. Där redogöres för utvecklingen från gårdagens halvautomatiska tvättmaskiner till dagens apparater med möjlighet till anslutning av byggnadens tappvarmvattensystem samt förbättrade torkskåp och torktumlare. Genom att använda en värmepump vid avfuktningen har man kunnat sänka elanvändningen i en tvättstuga till en tredjedel. Övrig eldriven utrustning som manglar och strykjärn står för en mycket liten del av elanvändningen och ansågs därför förhållandevis ointressant.

En nackdel med värmepumpar till avfuktningen har varit att torktiderna har förlängts, ett högre servicebehov samt ett högre inköpspris.

Utvecklingen har således lett till en tvättstugeutrustning med lägre elenergibehov men tyvärr har effektbehovet inte minskat i motsvarande grad. Författaren till referens [23] anger vidare att effektbehovet i en tvättstuga kan vara så stort som 30 - 50 kW, jämför med referens [20]. En viss sammanlagringseffekt finns dock mellan apparaterna och de olika tvättstugorna vilket innebär att det endast är ytterst sällan som hela effekten tas i anspråk. I den angivna studien minskade effektbehovet från 24 till 11 kW. I den ombyggda tvättstugan finns två st tvättmaskiner, Osby 608 ELE med en sammanlagd värmeeffekt om 6.0 kW och en sammanlagd motoreffekt om 0.6 kW. Vidare behölls den befintliga centrifugen, en Wascator C 84, med en motoreffekt om 0.33 kW. Ett nytt torkskåp, Osby TS 6 utan elbatteri men med ett påbyggt avfuktningssaggregat, Antifukt typ Zahara, med en total värmeeffekt om 1.0 kW och en motoreffekt om 0.8 kW, installerades liksom en torktumlare Osby 210 TLE med motoreffekten 2.0 kW. Kostnaden för apparaterna uppgick till c:a 110 000 Kr. Om hela ombyggnaden av tvättstugan skulle betalas av minskade el- och vattenkostnader erhålles enligt referens [23] en pay off tid på c:a 12 år. Om ombyggnad ändå skett men att el- och vattensnål utrustning ej valts blir återbetalningstiden c:a 5 år.

I referens [24] finns en utredning om tvättprocessen och de tvättmaskiner som vanligen används i s.k. fastighetstvättstugor. Tvättmaskinerna delas in i de som har lågvarvig respektive högvarvig centrifugering. De lågvarviga centrifugerar med ett varvtal om c:a 500 varv per minut. Restfuktigheten hos tvätten anges ligga vid c:a 100 % vilket innebär att en separat centrifugering behövs för att förkorta den efterföljande torkprocessen. Som jämförelse kan anges att restfuktigheten efter en separat centrifugering i 6 minuter ligger på c:a 50 % beroende typen av textilier. Tvättmaskiner med högvarvig centrifugering, c:a 1 000 r/min kan åstadkomma en restfuktighet om c:a 75 %. Dessa maskiner kostar något mera men det ökade priset skall ställas mot det faktum att en separat centrifugering eventuellt kan undvikas.

De centrifuger som finns på marknaden är enligt referens [24] i stort sett likvärdiga. Det som skiljer dem åt är kapaciteten. Kostnaden för en centrifugering under 6 minuter uppgår till c:a 2 öre, dvs åtgärden är utomordentligt kostnadseffektiv om man jämför med den resterande torkprocessen. Notera att alla textilier inte passar för centrifugering pga skrynkelnäsligheten. Då centrifugering är en snabb process kan en maskin betjäna tre till fyra tvättmaskiner.

På senaste tid har en snabb utveckling skett vad gäller torkutrustning. Torktumlare finns idag utformade med värmepump, värmeväxlare eller som sk kondensumlare. I alla varianterna passerar varm luft genom tvätten där vatten tas upp. Det som skiljer dem åt är hur detta vatten sedan fås att kondensera igen och hur värmeåtervinningen sker. En vanlig torktumlare ansluts helt enkelt till en frånluftkanal där den fuktiga luften evakueras. För att återvinna värmen i denna luft kan man använda en värmepump. Den fuktiga luften från torktumblaren leds då genom värmepumpens förångare som är kall. Vatten kondenserar därför på denna vilket i sin tur leds till ett avlopp. Värmepumpens kondensator som är varm används sedan för att värma upp luften igen som sedan leds tillbaka till torktumblaren. På detta sätt erhåller man en förhållandevis energisnål process men nackdelen är att värmepumpen har en hög investeringskostnad. Istället för en värmepump kan man använda en värmeväxlare varvid värmen från tumblaren förs över till tilluften. Om denna tas utifrån innehåller den vid kall väderlek

mycket lite fukt. Detta innebär att torktiden förkortas avsevärt jämfört med en traditionell tumlare. En kondenserande torktumlare använder rumsluften som kylmedium. Anläggningen behöver därför ej anslutas till frånluftsystemet men besvärande övertemperaturer i tvättstugan kan erhållas istället.

Det finns också liknande lösningar för torkskåp. De principiella lösningarna är desamma som för tumlarna varför dessa ej beskrivs närmare igen.

Aggregaten ovan behöver heller ej kopplas direkt till en speciell torkanläggning utan kan användas separat i ex. vis ett torkrum. Tilluften kan här värmas med elektricitet eller varmvatten och en eldriven fläkt används för att skapa nödvändig luftcirkulation.

I referens [24] har man använt ett standardfall där en familjs tvättbehov tillgodoses under en vecka. Man har antagit att tvättbehovet uppgår till 10 kg fördelat på 3 kg vittvätt 95 °C, 4 kg kulörtvätt 60 °C och två omgångar med 1.5 kg fintvätt 40 °C. De driftkostnader som använts uppgår till 45 öre/kWh för el, 10 SEK för varje m<sup>3</sup> kallvatten och 16 SEK/m<sup>3</sup> varmvatten.

För tvättmaskiner med lågvarvig centrifugering och som samtidigt är kallvattenanslutna fann man att fabrikaten "PODAB PR5", och "Wascator W75 MP" gav de lägsta rörliga kostnaderna med 7.31 respektive 7.07 SEK för 10 kg tvätt. PODAB PR5 hade den lägsta investeringskostnaden 14 160 SEK att jämföra med Wascator W75 MP som kostade 17 050 SEK. Maskinen från PODAB hade dock en något lägre kapacitet.

För kallvattenanslutna högvarviga maskiner fann man att Wascator WE 65 MP var den mest prisvärda typen med en kostnad om 5.83 SEK/10 kg tvätt. OSBY 408 kom här på andra plats med 6.21 SEK. Likaledes kom Wascator WE 65 MP på första plats då man jämförde maskiner som kan kopplas till varmvattenledningen med 5.20 SEK per 10 kg tvätt. OSBY 507 och OSBY 507 E belade här andraplatsen med 5.49 SEK. Undersökningen omfattade även ett tiotal centrifuger men dessa har inte rangordnats. Den billigaste anläggningen i undersökningen var MIELE WZ 259 som kostade 3 800 SEK medan den dyraste var OSBY HEM 59 för 17 940 SEK. Den senare maskinen klarar dock 11 - 13 kg tvätt medan den första endast kan hantera 4.8 kg. Apparaternas effekt varierade mellan 300 - 600 W. Torktumlarerna testades med antagande om att en separat centrifugering skett varför restfuktigheten var omkring 50 %. Inte heller här har någon rangordning skett och inköpspriserna varierar mellan 5 460 SEK för Wascator TT 120 som klarar 3.4 kg tvätt och Wascator TT 210 HP som kostar 27 460 SEK. Den senare tumlaren klarar 6.4 kg tvätt och är försedd med en värmepump. Ett tiotal torkskåp undersöktes också där priserna varierade från 1 910 SEK för OSBY TS 4 till 25 025 SEK för PODAB FÖHN 2 som inkluderar en värmepump. Både för torktumlare och torkskåp kan man få ner elanvändningen till c:a 0.20 kWh/kg tvätt genom att använda en värmepump. Utan värmepump är elanvändningen istället omkring 0.5 kWh/kg tvätt. Automatisk nivåreglering av vattnet finns idag i flera hushållsmaskiner. Detta system är ännu inte infört för fastighetsmaskiner då detta anses allt för bräckligt. I referens [24] anges också att åtgärder inom befintliga tvättstugor består framför allt i att effektivisera torkprocessen. Om tvättstugan saknar en separat centrifug bör en sådan installeras omgående. En annan undersökning av fastighetstvättstugor är [25] där man visar att c:a 40 % av fastighetselen användes för tvätt och torkändamål. Här har mätningar skett både före och efter att ny utrustning installerats. Undersökningen visar att elanvändningen i tvättstugan kunde sänkas med 50 % främst pga att ny torkutrustning installerades. En annan viktig faktor var

att de nya tvättmaskinerna använde ungefär halva vattenmängden och att man kopplade tvättmaskinerna till tappvarmvattnet som värmdes med fjärrvärme. Det visar sig dock att endast c:a 50 % av vattnet värmdes på detta sätt då man är tvungen att blanda kallt och varmt vatten för att inte äggviteämnen i smutsen skall koagulera innan de lösts upp. De nya tvättmaskinerna är av typen Wascator WE 65 MP medan de gamla var av typen Wascator W 73. I undersökningen konstateras att det inte lönar sig att byta tvättutrustning enbart för att spara energi men att det lönar sig att undersöka elanvändningen om maskinerna byts av åldersskäl. Man installerade också nya torkskåp och tumlare med kondensorenhet men man fick också besvär med höga temperaturer, 30 °C, i tvättstugorna. Kostnaden för maskiner och installation i en tvättstuga uppgick till c:a 90 000 SEK. I bostadsrättsföreningen Myggan 1 i Trollhättan, se referens [21] har man undersökt kostnaderna för att byta ut ett befintligt torkskåp mot en torktumlare och en torkgård. Kostnaderna för installationerna innebar en pay off tid på 97 år men man ansåg att om bytet skedde då utrustningen ändå skulle ersättas kunde den motiveras. Elanvändningen skulle på detta sätt minskas med 75 %.

GEKAB's utredning ger vid handen att tvättstugorna inom grevegårdsområdet är mycket slitna och således bör bytas ut. Detta skapar därför ett gyllene tillfälle att i ett slag sänka elanvändningen i byggnaden högst avsevärt utan att besvärande höga kostnader uppstår.

### 6.3 Elanvändning i privata hushåll

I dagsläget är statusen på de komponenter som finns installerade i hushållen till viss del okänd, men enligt uppgift från Familjebostäder har delar av köksutrustningen nyligen bytts ut. Det finns dock en del allmänna uppgifter om vanliga apparaters elanvändning och de kostnader som är förknippade med att erhålla ett mer elsnålt alternativ av samma apparat. I referens [26] redovisas vid vilket elpris det är lönsamt att byta eldriven utrustning, notera dock att kostnaderna beräknats som marginalkostnader för nya apparater med olika elanvändning:

Apparat	Elbesparing [kWh/år]	Kostnad [öre/kWh]
Kylskåp	180	35
Frysbox	220	29
Tvättmaskin	200	72
Diskmaskin	50	35
Torktumlare	170	72
Spisar	350	–
Ventilationssystem	200	53
Cirkulationspumpar	200	40

Tabell 6.1: Elbesparing samt kostnader för elapparater i bostadshus

Som framgår av ovanstående tabell 6.1 finns det möjligheter till ett lönsamt elsparande då kostnaden för de olika alternativen i flertalet fall understiger den eltaxa som tillämpas, åtminstone under högpristid, vilket också framgår av referens [27] där följande tabell redovisas:

Lätta belysningsåtgärder t. ex. rengöring, reglering	0.13
Byte till lysrör och lysrörslampor	0.26
Tunga belysningsåtgärder, platsorientering	0.40
Lätta åtgärder ventilation, t. ex. styrning	0.11
Medeltunga åtgärder ventilation, t. ex. bättre flöden	0.26
Tunga åtgärder ventilation t. ex. byte av komponenter	0.40
Effektivare kyl- och frysskåp	0.29-0.45
Effektivare disk- och tvättmaskiner	0.28-0.53

Tabell 6.2: Kostnader för olika besparingsåtgärder i SEK/kWh

Referenserna [28] och [29] anger den genomsnittliga hushållsanvändningen av el för 24 st olika hushåll. Elanvändningen i kWh per månad fördelar sig enligt det följande, se referens [28]:

Spisar	49.1
Kylskåp	58.0
Frysskåp	79.0
Diskmaskin	20.8
Tvättmaskin	30.8
Torktumlare, torkskåp	25.8

Tabell 6.3: Elanvändning för hushållsmaskiner i kWh/månad

Samtliga hushåll i undersökningen hade inte alla apparater som räknats upp ovan. Totalt för alla hushållen svarade kylskåp, kyl / sval och kyl /frys för 10.6 % av elanvändningen. Spisar och frysskåp hade 9.8 % resp 13.7 % medan diskmaskin, tvättmaskin och torkutrustning svarade för 2.9, 6.1 resp 1.9 %.

I referens [30] finns en redogörelse för eldriven utrustning i fyra olika lägenheter. Tre av lägenheterna hade modern och omfattande utrustning medan en lägenhet hade gammal utrustning, omkring 20 år, men endast spis, kyl och radio och TV. Den sistnämnda lägenheten hade en årsförbrukning om c:a 0.9 MWh medan de övriga varierade mellan 1.6 och 4.95 MWh per år. Brukarbeteendet och antalet apparater synes därför vara viktigare för elanvändningen än utrustningens ålder. Tyvärr finns inga effektuppgifter redovisade för de ingående apparaterna. Fyra andra lägenheter finn redovisade i [31] och årsförbrukningen av el varierar där mellan 2.19 och 4.0 MWh. Följande utrustning finns installerad i de 8 lägenheterna:

Apparat	Fabrikat	Ålder år	
Spisar	Hindus	20	
	E-lux, CF171B	2	
	E-lux, CF171B	1	
	Beha	5	
	E-lux, CF171B	7	
	Kockum	20	
	E-lux	1	
	SG640	2	
	Kylskåp	?	2
		E-lux	2
HB F406		20	
?		20	
E-lux, RP1211B		5	
E-helios		3	
E-lux		1	
?		4	
Frysar		El-helios, FG225B	5
		E-lux	1
	?	2	
	?	2	
	E-lux	2	
Frysskåp	HB F206	20	
	äldre		
Diskmaskin	KPS	?	
Köksfläkt	Futurum 70 W, fyra lgh	?	
Tvättmaskin	AEG Novomat, 64SL	?	
	UPO 4000 Minimax	?	
	?	22	
Torkskåp	Philips	1	
	AEG	?	

Dessutom hade alla hushåll radio och TV. Två hushåll hade mikrovågsugn, kaffekokare samt hushållsassistent. Som synes av ovanstående tabell är det stor variation på olika hushålls elektriska utrustning. Elbehovet kommer därför också att variera avsevärt. Troligen är hushållens familjestruktur av stor betydelse, antal barn, ålder och familjens benägenhet och ekonomiska möjligheter för att investera i olika typer av elektrisk utrustning.

Ibland finns bostäder som inte har separat mätning av hushållens elanvändning se referens [21]. Om ett sådant gemensamt abonnemang skall förändras till flera enskilda, erhålles en avsevärd ökning av de fasta avgifterna. I den refererade studien har man tagit fram en mätutrustning för c:a 1 000 SEK vilket innebär att elanvändningen kan fördelas på lägenhetsinnehavarna utan att själva abonnemanget förändras. Genom denna åtgärd räknar man med att elanvändningen kommer att minska med 20 %. I en separat rapport [29] visas också att det gemensamma abonnemanget skulle kunna sänkas från  $3 \times 335$  A till  $3 \times 250$  A utan några olägenheter. Detta skulle innebära en avsevärd sänkning av abonnemangsavgiften.

### 6.3.1 Spisar

I spisar och ugnar omvandlas el till värme med hundraprocentig verkningsgrad. Apparaten som sådan är därför svår att påverka så att en lägre elförbrukning erhålles. Möjligen skulle man kunna tänka sig en bättre isolering av ugnar och värmeskap men oss veterligen finns ingen sådan utveckling i sikte. Vi har heller inte funnit något dokument som behandlar en effektivare elanvändning just för spisar. En större användning av separata lösa kastruller med eluppvärmning skulle kunna vara en annan möjlighet då man slipper värma upp en tung kokplatta och delar av spisen innan tillräcklig temperatur kan erhållas i kokkärlet. Det synes dock som om en sådan lösning skulle vara alltför opraktisk för att vinna någon större genomslagskraft.

### 6.3.2 Kyl- och frysskåp, frysboxar m.m.

Genom en ökad isolering av kyl- och frysutrustning kan en avsevärd minskning av elanvändningen ske. I en marknadsöversikt distribuerad av Malmö Energi AB finns ett hundratal olika apparater redovisade. Översikten är indelad i:

- Kylskåp små - höjd max 88 cm
- Kylskåp stora - höjd över 88 cm
- Kyl/sval - skåp
- Kyl/frys - skåp små - höjd max 150 cm
- Kyl/frys - skåp stora - höjd över 150 cm
- Frysskåp små - höjd max 88 cm
- Frysskåp medelstora - höjd 89 - 130 cm
- Frysskåp stora - höjd över 130 cm
- Frysboxar, små nyttovolym max 250 l
- Frysboxar, medelstora nyttovolym över 250 l

För exempelvis små kylskåp varierar elanvändningen mellan 146 och 950 kWh/år. Tyvärr finns inga prisuppgifter för utrustningen så man kan inte avgöra vilken av apparaterna som är mest kostnadseffektiv. Översikten visar att driftkostnaderna under 10 år varierar mellan 730 och 4 380 SEK vilket dock innebär att ett avsevärt belopp kan investeras i en bättre utrustning. Man bör dock notera att den högsta siffran erhållits för ett kylskåp av absorptionstyp. För stora frysskåp varierar de 10-åriga driftkostnaderna mellan 1 735 till 4 105 SEK vilket också visar att möjlighet finns till ett mer effektivt elutnyttjande samtidigt som den totala kostnaden blir lägre.

### 6.3.3 Diskmaskiner

En stor del av maskinens elanvändning utnyttjas för att värma upp vatten och sedan torka diskgodset. En anslutning till tappvarmvattnet samt lufttorkning i rumstemperatur skulle avsevärt minska elanvändningen. På många modeller finns det möjlighet att stänga av eltorkningen då denna kan inverka skadligt på känsliga glastyper.

### 6.3.4 Tvättmaskiner, torktumlare och torkskåp

I flerbostadshus är det inte så vanligt att den enskilde lägenhetsinnehavaren har installerat denna utrustning då gemensamma anläggningar tillhandahålls. De principiella synpunkterna som lämnats tidigare för fastighetstvättstugor är naturligtvis även tillämpliga här förutom att maskiner med en lägre kapacitet väljs av det enskilda hushållet.

### 6.3.5 Övrig eldriven utrustning

Så gott som alla hushåll har radio och TV samt mindre hushållsapparater och verktyg. Elanvändningen i dessa är dock så låg att de inte är av något större intresse här. I hushållen finns ju dessutom en hel del belysning installerad varav huvuddelen består av glödljuslampor. Ett byte av sådana till lågenergilampor av lysrörstyp skulle kunna ge en avsevärd sänkning av elanvändningen men många anser att ljuset från ett lysrör har sämre kvalitet och färg än glödljuslampan varför inget byte sker. En komplett lysrörsarmatur har dessutom oftast ett högre pris än den som är avsedd för vanliga glödlampor. Dessutom finns ibland annan elektrisk utrustning som vattensängar och handukstorkar men denna verkar så pass ovanlig att den inte närmare behandlas här.

### 6.3.6 Sammanfattning elanvändning i hushåll

Av det ovanstående framgår att det finns stora möjligheter till att minska elanvändningen. Ofta kommer detta inte till stånd många gånger beroende på att man inte kan avgöra vilken lönsamhet ett visst handlande kommer att få. I referens [31] konstateras också att det finns möjligheter till ett lönsamt elsparande. Några anledningar till detta är enligt referensen:

- Det är ofta svårt att avgöra om skillnaden i inköpspris på en apparat svarar mot en lägre LCC.
- En energisnål maskin kanske saknar, eller har, finesser som köparen vill respektive inte vill ha.
- Den elsnåla apparaten kanske inte finns i affären
- Elsnålhet inte det främsta försäljningsargumentet. Färgen spelar större roll.
- Hyresvärden står för apparatens inköpskostnad men det är användaren som får lägre elräkning.

För att kunna påverka konsumenterna, här Familjebostäder och dess hyresgäster, så att ett elsnålare alternativ framstår som mera positivt skulle man genom informationsåtgärder visa på förslag till lämpliga apparater där kostnaderna redovisas både för inköp och drift. Ett annat förslag är att åstadkomma rabatter vid stora inköp eller rena subventioner direkt till konsumenten. Slut användarens beteende skulle således gå att påverka men det är oklart om el-distributören skulle erhålla några fördelar härav. Intäkterna från elförsäljningen skulle ju minska. Som vi ser det skulle istället en tidsdifferentierad taxa även till hushållskonsumenter ge större påverkan. Om konsumenten kunde fås att



använda el huvudsakligen under lågbelastningstid skulle även eldistributören vinna stora fördelar. Det är då viktigt att känna till när belastningstopparna förekommer i de enskilda bostadsområdena och sätta priset högre just under dessa timmar. Den traditionella tidstariffen med ett högt pris mellan 06 - 22 på vardagar, skapar troligen inte ett sådant beteende då det är svårt att utföra alla sysslor nattetid. En tidstariff med högpristid endast under några få timmar varje vardag skulle dock ge konsumenten en reell valmöjlighet.



## Kapitel 7

# FÖRHÅLLANDET KRAFTVÄRME - ENERGISPARÅTGÄRDER

I ett vanligt kondenskraftverk produceras el genom att elda ex. vis olja. Värmen från förbränningen får vatten att koka och förångas. Ångan används för att driva en turbin som i sin tur genererar elenergi via en generator. Turbinen drivs runt pga den skillnad i ångtryck som finns mellan in- och utlopp i turbinen. Omvandlingen från ånga till vatten sker i en kondensator som kyls med exempelvis kallt havsvatten. Härigenom kan ångans kondenseringstemperatur sänkas och en större tryckskillnad erhållas än vad som annars vore möjligt. Vattnet pumpas sedan tillbaka till ångpannan med en matarvattenpump. Ju lägre kylvattentemperatur som kan vidmakthållas desto mer elektricitet kan produceras. Tyvärr kan, enligt naturens lagar, endast c:a en fjärdedel av värmen i bränslet omvandlas till el, resten av värmen försvinner ut i havet med kylvattnet och i rökgaserna. Det vore således bra om värmen i bl a kylvattnet kunde tas om hand på något sätt. Detta kan ske i ett fjärrvärmenät men den temperatur som normalt råder på kylvattnet är för låg för att kunna utnyttjas. Genom att höja kylvattentemperaturen kan värmen utnyttjas bättre men samtidigt förloras en del av tryckskillnaden vilket innebär att mängden el som kan produceras blir mindre. Ett sparande av värme i fjärrvärmenätet innebär därför att mindre el kan produceras såvida inte överskottsvärmen kyls bort på annat sätt, se referens [32].

### 7.1 Prissättning värme - el

Antag att elektricitet behövs i elnätet. Beroende på prisnivån kan ett kommunalt elverk bestämma sig för att köpa in denna el från någon elproducent, ex. Vattenfall eller Sydkraft. Om producentens pris är för högt kan elverket istället producera egen el i ett kraftvärmeverk eller på något annat sätt. Värdet för den el som egenproduceras kan alltså sättas lika med den yttre producentens pris. Om ren kondensdrift tillämpas inom kommunen måste således denna vara billigare än inköp av el för att anläggningen skall användas. Genom att använda

ett fjärrvärmenät som kylanläggning förloras en del av möjligheterna till egenproduktion av el. Denna försämrade elproduktion borde värmekonsumenterna betala. Turligt nog är försämringen ganska liten vilket innebär att varje kWh värme i kraftvärmenätet har ett mycket lågt pris. Referens [33] visar att priset borde vara av storleksordningen 3 öre per kWh.

Under tidpunkter då elektriciteten kan köpas billigare från den yttre producenten stängs elkraftproduktionen av i det kommunala verket. Värme behövs dock exempelvis för tappvarmvattenberedning men värmen blir nu dyrare att producera då den delvis måste produceras med bränslen och ingen inkomst från elkraftförsäljning erhålles.

Ekonomisk teori visar att alla anläggningar drivs optimalt endast om sk kortsiktig marginalkostnad tillämpas. I denna kostnad inkluderas även kostnader för eventuell brist i systemet. Den kortsiktiga marginalkostnaden fås fram om man beräknar sparande, eller kostnad, för att en extra kWh till, sparas eller produceras. Om den kortsiktiga marginalkostnaden överstiger den långsiktiga marginalkostnaden lönar det sig att bygga flera produktionsenheter, då nya kraftverk inkluderas i denna senare marginalkostnad.

En taxa eller tariff som använder sig av kortsiktiga marginalkostnader skulle kunna kallas kostnadsdifferentierad. Tyvärr är det i dagsläget svårt att överföra denna kostnad till slutanvändarna av energin, men utrustning har tagits fram åtminstone vad gäller elanvändningen, se referens [34]. P.g.a. dessa svårigheter tillämpas i dagsläget endast s.k. tidsdifferentierade taxor, d.v.s. man har fastställt vad en kWh el eller värme ska kosta vid en viss tidpunkt under året. Detta innebär att el- och värmeverket ibland inte har täckning för alla sina kostnader men även att inkomsterna då och då överstiger dessa. Om inkomsten till verken är exakt lika stor oavsett vilken tariff som tillämpas säger man att taxorna är normaliserade. Jämförelser mellan olika taxetyper och deras inverkan bör endast ske på sådana normaliserade taxor annars påverkar även nivån på taxan förutsättningarna för olika handlingsalternativ, ex. vis ombyggnadsåtgärderna i ett hus.

## 7.2 Kraftvärmeanläggning - matematisk modell

Ovan beskrevs olika sparåtgärder för värme och el. Analysen utgick från att endast slutanvändarens kostnader skulle användas, dvs den enskilde husägaren eller lägenhetsinnehavaren. Det visades vidare att åtgärder troligen kunde genomföras med lönsamhet både vad gäller sparande av el och värme.

Frågan är nu om samhället skulle tjäna eller förlora pengar på att energisparåtgärder infördes. Man skulle också kunna tänka sig att det finns en samhällslovsamhet med energisparåtgärder trots att lönsamheten för husägaren var marginell eller till och med negativ. För att ge möjlighet att åtminstone i någon mån kunna undersöka detta har vi konstruerat en matematisk modell för kraftvärmenätet i Göteborgs kommun. Modellen har byggts upp med en metod som kallas linjärprogramering. Denna metod går ut på att man skapar en matematisk funktion, målfunktionen, som sedermera skall minimeras. I detta fall är det LCC som är av intresse och målfunktionen beskriver således denna kostnad. I modellen finns samtidigt ett antal begränsningar, det kan t. ex. vara så att en viss effekt måste kunna levereras till fjärrvärmenätet eller att olika befintliga pannor inte har större effekt än ett visst värde. Om modellen är helt

linjär, dvs alla kostnader och begränsningar har uttryckts som "räta linjer", kan den matematiska modellen optimeras. Det går således att bevisa möjligheten att målfunktionens minimipunkt kan hittas. Ett flertal kommersiella datorprogram finns på marknaden som kan hantera mycket stora problem innehållande flera tusen variabler och hundratals begränsningar.

En nackdel är just kravet att modellen måste vara linjär. Det går dock ibland att omvandla olinjära problem till linjära genom att anpassa en serie räta linjer till de olinjära funktionerna. Ytterligare ett problem uppstår då, förutom denna approximation. Ett antal heltalsvariabler måste införas. Dessa variabler måste vara binära, dvs de kan endast anta värdet noll eller ett, annars kan normalt inte den programvara som finns att tillgå användas, se referens [35].

Den stora fördelen med linjärprogrammering är att man alltid kan hitta ett matematiskt minimum, eller maximum, och att mycket komplexa system kan avbildas. Hela problemet löses också på en gång, operatören behöver inte själv pröva med olika värden på variablerna för att se om kostnaden blir lägre eller högre. Har problemet väl lösts har man således också hittat den bästa möjliga lösningen.

Till bostadshusen behövs både värme, via fjärrvärme, el eller bränslen, och el för ex. vis spisar och apparater. Göteborg Energi AB som levererar båda energislagen, är distributör via sina ledningsnät, men kan också uppträda som producent av el och värme. Vad gäller elektriciteten kan bolaget köpa in denna från Vattenfall eller också producera egen kraft i några mindre kraftvärmeverk. För att få med en kraftvärmesituation har vi därför antagit att det finns ett befintligt sådant om 40 MW. I detta antas att man endast eldar naturgas och spillvärmem från anläggningen leds till fjärrvärmenätet.

Värmen i fjärrvärmenätet kan produceras på ett flertal olika sätt. Bland annat antas att det finns en sopförbränningsanläggning, en värmepumpsanläggning som tar värme ur avloppsvattnet, och spillvärme från ett antal industrier. Det finns dessutom möjlighet att använda bränslen som kol, olja och naturgas.

I modellen finns vidare en ellast som skall tillgodoses i varje ögonblick. Den ellast som använts är den uppmätta lasten för år 1990. På samma sätt finns en värmelast vilken också mätts upp av kommunen. Tyvärr finns inte ellast och värmelast redovisade med samma tidsindelning. Ellasten har delats in efter de tariffelement, inklusive ett effektelement, som Vattenfall använder i sin taxa. I dagsläget finns ingen maxeffekt inkluderad vad gäller fjärrvärmenätet. Alla anläggningar anses som befintliga och någon bristsituation i fjärrvärmenätet antas ej uppkomma. Inga nya anläggningar kommer således in vid beräkningarna. Det som beräknas är i stället ett optimalt användande av den befintliga utrustningen.

Både värmelast och ellast måste på ett känt sätt kunna påverkas av olika energisparåtgärder. Kostnader för dessa åtgärder måste dessutom vara kända. En del av värmelasten antas kunna påverkas av energisparåtgärder vanliga i hus. Därför har sparandet byggts upp med antagandet att en gigantisk byggnad anslutes till systemet. Denna byggnad kan sedan tilläggsisoleras, eller åtgärdas på andra sätt. Det som är viktigt är att det finns en klar koppling mellan insatta investeringar i energisparåtgärder och den påverkan dessa har på lasten ifråga.

Det är också mycket viktigt att modellen kan avbilda verkligheten på ett så riktigt sätt som möjligt. En energisparåtgärd i värmelasten måste således fortplanta sig till bränsleåtgång mm i fjärrvärmeverket och kanske en minskad möjlighet att producera el. Detta skall sedan innebära ökade inköp från Vatten-

fall.

### 7.2.1 Ellast

Göteborg Energi AB kommun har sedan flera år mätvärden över hur ellasten varierar i tiden. Dessa har av kommunen sammanställts så att tidsindelningen överensstämmer med den tidsdifferentierade eltaxa som tillämpas av Vattenfall. De mätvärden som använts här härrör från 1990 men skillnaderna mot 1992 års ellast kommer inte att påverka lämpliga ombyggnadsåtgärder i byggnadsbeståndet mer än marginellt. Ellasten framgår av tabell 7.1.

Månad	Hög (GWh)	Låg (GWh)	Månad	Hög (GWh)	Låg (GWh)
Januari	218.9	170.0	Juli	127.2	101.3
Februari	193.1	148.1	Augusti	164.5	110.1
Mars	202.3	154.4	September	164.4	136.4
April	149.6	170.4	Oktober	210.1	144.6
Maj	155.5	140.1	November	228.8	165.8
Juni	132.6	116.9	December	178.8	219.8

Tabell 7.1: Ellast i Göteborg, 1990, enligt skrivelse daterad 1991-01-16

Här redovisas hur mycket elenergi som levereras från energiverket under hög- resp låglasttid. Höglast anses föreligga mellan 0600 - 2200 alla vardagar medan låglasttid gäller under övrig tid, dvs under nätter samt lördagar och söndagar. Under året mäts också maximalt utnyttjad eleffekt, men det är endast vissa månader som är av intresse från debiteringssynpunkt. Under 1990 var maximal entimmaseffekt 701.0, 669.8, 654.3, 751.1 och 765.0 MW för månaderna januari till mars och november, december.

### 7.2.2 Värmelast

Värmelasten är inte uppmätt för samma tidsintervall som ellasten. I stället har månadsmedelvärden använts från energiverkets statistik. Lasten har sedan proportionerats ut efter antalet hög- resp lågpristimmar, se tabell 2.7. Det har också varit viktigt att lasten skall kunna påverkas genom att ex. vis energisparåtgärder införs. Som nämnts har vi därför antagit att byggnadsbeståndet i Göteborg består av ett enda gigantiskt hus vilket genererar en last som påverkas av ex vis klimatet. Detta hus kan sedan tilläggsisoleras mm för att man skall kunna se om åtgärderna är lönsamma eller ej. På samma sätt har en del av ellasten antagits vara helt klimatberoende och därför kunnat simulerats på motsvarande sätt. Den byggnad som antagits kunna simulera fjärrvärmeanvändningen redovisas i tabell 7.2.

Värmeförluster från ventilation i byggnaden har antagits uppgå till 5.07 MW/K och för varmvattenuppvärmning har beräknats åtgå 350 GWh/år. Innetemperaturen har vidare antagits vara 21 °C och utomhustemperaturen satts till de värden SMHI angett som medelvärden för Göteborg, se tabell 2.4. Följande värden för värmelasten erhålls därvid, se tabell 7.3:

Byggnadsdel	Area (Mm <sup>2</sup> )	k-värde (W/m <sup>2</sup> ·K)	k×A (MW/K)
Vindsbjälklag	3.1	0.5	1.55
Ytterväggar	9.7	0.7	6.79
Golv	3.1	0.5	1.55
Fönster, 1.2 Mst × 1.5 m <sup>2</sup>	1.8	2.5	4.50
<b>Totalt</b>			<b>14.39</b>

Tabell 7.2: Egenskaper för byggnaden Göteborg

Månad	Hög	Låg	Månad	Hög	Låg	Månad	Hög	Låg
Januari	168.5	187.6	Maj	75.2	76.8	September	77.8	88.9
Februari	144.5	158.9	Juni	48.4	50.5	Oktober	120.2	133.8
Mars	158.0	161.4	Juli	40.5	49.2	November	180.5	188.7
April	110.9	138.7	Augusti	43.0	43.9	December	182.9	222.1

Tabell 7.3: Värmelast i Göteborg i GWh

### 7.2.3 Eltariff Vattenfall

Den elkraft som inte kan produceras i den egna kraftvärmeanläggningen måste köpas från Vattenfall. Den taxa som används framgår av tabell 22.

Månad	Elpris [SEK/kWh]	
	Högpris	Lågpris
November - mars	0.230	0.160
April, september, oktober	0.145	0.120
Maj - augusti	0.090	0.080

Tabell 7.4: Tidsdifferentierad eltaxa för Göteborg, Vattenfall N1

Det finns vidare en kostnad för maximalt effektuttag vilket uppgår till 235 SEK/kW under månaderna november till mars.

### 7.2.4 Kostnader för egen el- och värmeproduktion

Göteborg Energi AB kan producera egen elkraft i bl a Rosenlundsverket och Sävenäs. I dessa förbränns naturgas, olja eller stenkol. I denna matematiska modell som inte helt stämmer överens med verkliga förhållanden har vi antagit att all mottrycksproduktion sker i ett verk eldat med naturgas. Kostnaden för bränslet har antagits vara 85 SEK/MWh då det verkliga priset är hemligt. Verkningsgraden vid förbränningen har antagits vara 0.85. Vid drift förvandlas värmen från förbränningen till en del elektricitet medan tre delar blir värme, vilken i sin tur måste ledas in till fjärrvärmenätet. Det sk alfa-värdet är lika med 0.333. Effekten i verket är maximerad till 40 MWel. P.g.a. skattereglerna beskattas den del av bränslet som går till fjärrvärmenätet med en antagen kostnad om 29 SEK/MWh, dvs samma som i Malmö. Anläggningen kan heller inte drivas med hur låg last som helst varför den måste stängas av då elproduktionen

understiger 40 % av maxlast.

Om ytterligare värme behövs måste andra pannor eller värmekällor tas i bruk i fjärrvärmeverket. Den lägsta kostnaden erhålles för eldning av sopor, 54 SEK/MWh. Effekten har här antagits begränsad till 65 MW. Näst lägsta kostnad erhålles för spillvärme från två industrier, 100 SEK/kWh, där maximal effekt uppgår till 30 MW. Om inte dessa anläggningar räcker till måste koleldning tillgripas. Kolet är i sig mycket billigt men pga skatter blir den antagna kostnaden för kommunen 107.5 SEK/MWh. Maximal effekt är 125 MW. Kommunen har också en värmepump i Ryaverket med en antagen storlek om 40 MWvärme, vilken tar värme från avloppsvattnet. Det finns vidare möjlighet att elda både olja och naturgas vid mycket höga belastningar på nätet. Dessa anläggningar har dock sällan behövt användas vid våra analyser. Notera att priser med mera endast är antagna och inte behöver överensstämma med verkliga förhållanden.

### 7.2.5 Besparingsåtgärder för el och värme

Som nämndes ovan är det i dagsläget oklart hur en besparingsåtgärd i ex. vis ett elvärt hus påverkar ellasten i hela kommunen. Det finns därför inga möjligheter att på ett helt riktigt sätt koppla kostnaderna för eventuella åtgärder till kommunens besparingar.

Genom att använda metoden att simulera kommunen som två byggnader kan kostnader för en tilläggsisolering direkt fås att inverka på använd värme- eller ellast. I tabell 2.2, och i anslutning därtill, visas åtgärderna med de kostnader som antagits gälla.

### 7.2.6 Modell för elproduktion

Som nämndes ovan har vi använt tekniken med linjärprogrammering för att optimera, dvs hitta lägsta kostnad för, det energisystem vi studerat. Metoden har dessutom använts för att hitta optimala energisparåtgärder i elvärmda småhus, se referens [36]. I det fall som behandlas i denna rapport antas att den egna elproduktionen kan variera fritt dels varje månad men också under höglast och låglast i enlighet med den eltariff som tillämpas av Vattenfall. Att Vattenfalls taxa styr indelningen av variablerna beror på att denna bestämmer de kostnader som måste finnas med i målfunktionen.

Det kan diskuteras vilka variabler man lämpligen bör starta men detta har ingen betydelse så länge systemet kan avbildas på ett nöjaktigt sätt. Här inleds modelluppbyggnaden med egenproduktion av el och de variabler som införs visar den eleffekt som åtgår i alla tidsegment. Då det finns en hög- och en lågprisperiod under årets samtliga månader måste 24 st variabler införas. Genom att multiplicera effekten med dels antalet timmar i varje tidssteg samt dels kostnaden för egenproduktionen, samt lägga samman dessa kostnader för ett helt eller flera år, genom nuvärdesmetoden, fås den totala kostnaden för egenproduktionen. Där ej annat angivits har uppgifter om energisystemet i Göteborg erhållits från Göteborg Energi AB.

I kraftvärmeverket används naturgas som bränsle till en kostnad av 85 SEK/MWh. Verkningsgraden i pannan har antagits vara 0.85 vilket innebär att kostnaden vid eldning blir 100 SEK/MWh. Den del av bränslet som går till uppvärmning får pga skatteskäl priset 129 SEK/MWh.



Antalet timmar i varje tidssteg har beräknats i enlighet med tabell 2.7.

Då det är 24 olika variabler bara för att beskriva kostnaden för egenproduktionen av el måste framställningen här begränsas något. Modelluppbyggnaden kommer därför endast att beskrivas för månaden januari. Resterande ekvationer, för månaderna februari till december konstrueras på exakt samma sätt men variabelnamn och konstanter måste givetvis ändras för att passa till respektive månad. Den totala modellen, i form av ett FORTRAN program återfinnes i bilaga 2 sidan 100. Det kan nämnas att modellen redan publicerats, se referens [37], men då den versionen behandlade Malmö kommun och för att läsaren enklare skall kunna följa med i framställningen kommer en kortare repetition här.

Kostnaden, i MSEK, för januari månads egenproduktion av el kan nu beskrivas som:

$$\begin{aligned} & (EDH_1 \times 352 \times 100 + EDL_1 \times 392 \times 100 + \\ & + HEH_1 \times 352 \times 129 + HEL_1 \times 392 \times 129) \times 18.26 \times 10^{-6} \end{aligned} \quad (7.1)$$

där  $EDH$  är egenproducerad eleffekt under högpristid i MW,  $EDL$  är egenproducerad eleffekt under lågpristid i MW,  $HEH$  är värmeeffekt pga egenproducerad el under högpristid i MW,  $HEL$  är värmeeffekt pga egenproducerad el under lågpristid i MW, 1 är den siffra i variabelnamnet som anger månadsnummer och 18.26 är nuvärdesfaktorn.

Ekvation 7.1 är den första delen av den målfunktion som skall optimeras, d.v.s. det gäller att hitta de värden på variablerna som innebär att målfunktionen får sitt lägsta värde. Ännu så länge är lösningen till detta problem självklar. Genom att sätta alla variabler lika med 0 kan målfunktionen ges värdet 0 men då produceras heller ingen elektricitet i verket.

I modellen har antagits att man kan bygga en ny gasturbinanläggning för att generera elektricitet. Den el som inte produceras av kommunen måste inköpas från Vattenfall. I tabell 7.1 återfinnes det uppmätta behovet för år 1990, men dessutom tillkommer den el som åtgår för att driva värmepumparna i avloppsreningsverket. Detta ger följande ekvationer för januari månad:

$$EDH_1 \times 352 + GTH_1 \times 352 + REH_1 \times 352 - EHPH_1 \times 352 \geq 218.9 \times 10^3 \quad (7.2)$$

$$EDL_1 \times 392 + GTH_1 \times 392 + REL_1 \times 392 - EHPH_1 \times 392 \geq 170.0 \times 10^3 \quad (7.3)$$

där  $GTH$  är producerad eleffekt i gasturbinen under högpristid i MW,  $GTL$  är producerad eleffekt i gasturbinen under lågpristid i MW,  $REH$  är inköpt eleffekt under högpristid i MW,  $REL$  är inköpt eleffekt under lågpristid i MW,  $EHPH$  är elbehov för värmepump under högpristid i MW och  $EHPH$  är elbehov för värmepump under lågpristid i MW.

Ekvationerna (7.2) och (7.3) anger alltså ett villkor, nämligen att inköpt el och egenproducerad el måste överstiga eller vara lika med behovet i varje tidssegment. Notera att endast januari månad avbildats. Det tillkommer således 22 ytterligare ekvationer som inte redovisas här. Målfunktionen, i MSEK, måste naturligtvis sedan kompletteras med inköpskostnaden för el enligt tabell 7.4:

$$(REH_1 \times 352 \times 230 + REL_1 \times 392 \times 160) \times 18.26 \times 10^{-6} \quad (7.4)$$

Ovan nämndes också den tillgängliga maxeffekten vilken uppmätts för år 1990. Då maxeffekten innebär en kostnad för kommunen, via Vattenfalls taxa, måste på något sätt avgöras hur stor maximal effekt som kommer att inköpas. Detta föranleder ytterligare fem villkor av vilka det för januari visas här:

$$EDH_1 + PMAX + GTH_1 - EHPH_1 \geq 701.0 \quad (7.5)$$

Ekvation 7.5 innebär att PMAX kommer att överstiga eller vara lika med den uppmätta effekten i januari. Genom att variabeln inte är indexerad kommer så att ske även för de andra fyra ekvationerna och det säkerställs således att maxeffekten uppnås för alla tidssegment av intresse. Även denna variabel är knuten till en kostnad i målfunktionen:

$$PMAX \times 235 \times 10^{-3} \quad (7.6)$$

Det nämndes också ovan att maxeffekten för egenproduktionen av el var 40 MW och att verket måste stängas av om effekten sjunker under 40 % av denna. Detta innebär att modellen måste innehålla ett uttryck som säkerställer följande: Om elproduktion är lönsamt måste effekten ligga mellan 16 och 40 MW, i annat fall skall verket stängas av och effekten således vara lika med 0. Genom att införa sk binära heltal, dvs variabler som endast kan anta värdena 0 eller 1 kan detta åskådliggöras matematiskt. Följande uttryck erhålles:

$$EDH_1 - INTH_1 \times 40 \leq 0 \quad (7.7)$$

$$EDL_1 - INTL_1 \times 40 \leq 0 \quad (7.8)$$

$$EDH_1 - INTH_1 \times 16 \geq 0 \quad (7.9)$$

$$EDL_1 - INTL_1 \times 16 \geq 0 \quad (7.10)$$

där  $INTH$  är ett binärt heltal för högprisperiod,  $INTL$  är ett binärt heltal för lågprisperiod.

Av ekvationerna (7.7) till (7.10) ser man att om heltalet är 0 innebär detta att även elproduktionen är 0 och om heltalet är 1 innebär det att värdet på effekten måste ligga mellan 16 och 40 MW.

En ny gasturbin medför dessutom en investeringskostnad som beror på vilken storlek denna har. I modellen har därför följande ekvation inkluderats:

$$3.0 \times GTMF + \frac{85.0 \times 18.26 \times 10^{-6} \times (GTH_1 \times 352 + GTL_1 \times 392)}{0.25} \quad (7.11)$$

där  $GTMF$  är kostnaden för anläggningen i MSEK/MW<sub>el</sub> och 0.25 är verkningsgraden för gasturbinen.

Storleken på gasturbinen måste vara sådan att den kan tillgodose det optimala behovet under alla tidssegment vilket för januari innebär:

$$\frac{GTH_1}{0.25} - GTMF \leq 0.0 \quad (7.12)$$

$$\frac{GTL_1}{0.25} - GTMF \leq 0.0 \quad (7.13)$$

Ekvationerna (7.12) och (7.13), samt motsvarande uttryck för de övriga 11 månaderna, säkerställer att GTMF blir tillräckligt stor.

### 7.2.7 Modell för värmeproduktion

Värmen till fjärrvärmenätet produceras dels som "restprodukt" vid egenproduktionen av elkraft och dels genom utnyttjande av bränslen, spillvärme och värmepumpar i det traditionella fjärrvärmeverket. För att erhålla en koppling mellan elproduktion och värme från denna har antagits att tre delar värme produceras för varje del el. Detta ger följande uttryck för januari månad:

$$3 \times EDH_1 - HEH_1 = 0 \quad (7.14)$$

$$3 \times EDL_1 - HEL_1 = 0 \quad (7.15)$$

Det är inte helt korrekt att anta att förhållandet mellan el och värme är helt oberoende av den effekt som produceras, men här antas att approximationen är så liten att inverkan här kan försummas.

Motsvarande ekvationer för värmepumparna måste införas:

$$3 \times EHPH_1 - HHPH_1 = 0 \quad (7.16)$$

$$3 \times EHPL_1 - HHPL_1 = 0 \quad (7.17)$$

där  $HHPH_1$  är den värmeeffekt under högpristid i MW som produceras och  $HHPL_1$  är motsvarande effekt under lågpristid

I modellen finns också inlagt en möjlighet att utnyttja ett värmelager. Tanken är att lagret ska utnyttjas under elprisets högpristid och därigenom möjliggöra en ökad elproduktion även om det ordinarie värmelagret inte räcker till. Följande uttryck kan tecknas:

$$HEH_1 \times 352 - HSH_1 \times 352 - HDH_1 \times 352 = 0 \quad (7.18)$$

där  $HSH_1$  är värmeeffekten som används av lagret under högpristid och  $HDH_1$  är värmeeffekten som används i fjärrvärmesystemet

Om värmeeffekten från elproduktionen inte kan tillgodose behovet i fjärrvärmenätet måste söföbränning mm utnyttjas. Modellen innehåller ingen rangordning av de uppvärmningsmöjligheter som står till buds utan i stället väljs genom optimeringen de alternativ som ger den billigaste totalkostnaden. Kostnaderna för de olika värmeslagen per MWh redovisades ovan och målfunktionen kan därför kompletteras med följande uttryck:

$$\begin{aligned} & [(HGH_1 \times 352 + HGL_1 \times 392) \times 50 + \\ & + (HWH_1 \times 352 + HWL_1 \times 392) \times 70 + (HCH_1 \times 352 + HCL_1 \times 392) \times 107.5 + \end{aligned}$$

$$+(HGAH_1 \times 352 + HGAL_1 \times 392) \times \frac{85}{0.85} + 29] \times 18.26 \times 10^{-6} \quad (7.19)$$

där  $HGH$  och  $HGL$  är effekten från sopeldning,  $HWH$  och  $HWL$  är effekten från spillvärme,  $HCH$  och  $HCL$  är effekten från koleldning och  $HGAH$  och  $HGAL$  är effekten från naturgaseldning.

Modellen måste vidare innehålla något uttryck som säkerställer att behovet av värme tillfredsställs i enlighet med tabell 7.3. För januari månad under högpristid har behovet beräknats till 168.5 GWh och följande villkor antas därför gälla:

$$\begin{aligned} (HGH_1 + HWH_1 + HCH_1 + HHPH_1 + HGAH_1 + HDH_1) \\ \times 352 \geq 168.5 \times 10^3 \end{aligned} \quad (7.20)$$

$$\begin{aligned} (HGL_1 + HWL_1 + HCL_1 + HHPL_1 + HGAL_1 + HDL_1) \\ \times 392 + HSL_1 \times 184 \geq 187.6 \times 10^3 \end{aligned} \quad (7.21)$$

Här bör man notera att ett kortare tidssegment har använts för lagret då detta måste kunna laddas under vardagsnätter.

Ytterligare ett antal villkor måste finnas med i modellen som visar maxeffekten i MW för de olika värmeanläggningarna:

$$HGH_1, HGL_1 \leq 120, \quad HWH_1, HWL_1 \leq 85,$$

$$HCH_1, HCL_1 \leq 125, \quad HHPH_1, HHPL_1 \leq 150 \quad (7.22)$$

Man måste också se till att den värme som leds in i lagret under högpristid också leds ut ur detta under lågpristid:

$$HSH_1 \times 352 - HSL_1 \times 392 = 0 \quad (7.23)$$

Dessutom måste lagrets storlek bestämmas. Detta sker med samma typ av ekvationer som ovan nämligen:

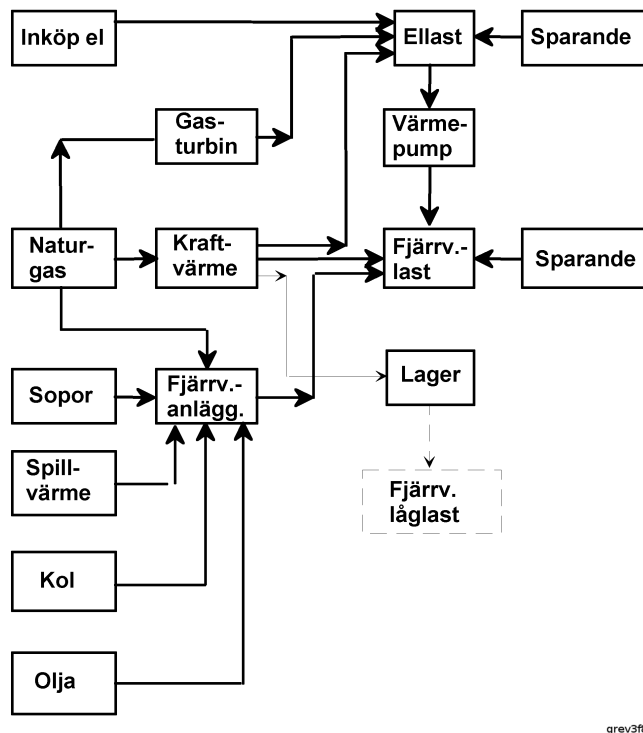
$$\frac{HSL_2 \times 184}{\frac{184}{8}} - HSM \leq 0 \quad (7.24)$$

där  $HSM$  är maximal mängd värme i lagret, 184 är antalet timmar för laddning i januari och 8 är antalet timmar för laddning under en vardagsnatt.

Då lagret inte finns i dagsläget måste en kostnad, 0.15 MSEK/MWh värme för detta inkluderas i målfunktionen:

$$0.15 \times HSM$$

I figur 8 visas en grafisk representation av modellen.



Figur 7.1: Schematisk bild av matematisk modell

### 7.2.8 Lösning av produktionsmodellen

Då de optimeringsprogram som finns tillgängliga kommersiellt kräver ett mycket speciellt system för indata har ett FORTRAN program utvecklats för att skriva dessa indatafilerna med utgångspunkt från de ekvationer som visats ovan.

Denna FORTRAN kod visas i bilaga 2 sidan 100. Notera dock att här även inkluderats rutiner för besparingsåtgärderna vilka närmare behandlas i nedanstående kapitel. Ytterligare ett exempel på hur en sådan rutin kan se ut finns beskrivet i en bilaga till referens [37]. (Kanske fel referens?)

Vi har använt ett optimeringsprogram som heter ZOOM för att optimera det matematiska problemet ovan. Här kommer vi inte närmare att behandla hur detta fungerar utan kommer endast att visa resultatet av beräkningarna, se tabell 7.5.

Av denna framgår att elproduktion främst är lönsam under vintermånaderna då elpriset från Vattenfall är högt. Under lågpristid är elproduktionen endast lönsam under november och december. Detta beror på en kombination av Vattenfalls taxa och kostnaderna för värmeproduktionen i fjärrvärmeanläggningen. Söföbränning kommer in så gott som under hela året med maximal effekt vilket är naturligt då detta är det billigaste energislaget. Under ellastens lågpristid är det dock billigare att utnyttja värmepumparna under juni, juli och augusti.

Månad	Elektricitet						Fjärrvärme									
	Kraftvärme		Inköpt el		Kraftvärme		Sopor		Värmepump		Spillv.		Kol		Naturgas	
	HL	LL	HL	LL	HL	LL	HL	LL	HL	LL	HL	LL	HL	LL	HL	LL
Jan	40	-	632	484	120	-	120	120	150	150	85	85	4	124	-	-
Feb	32	-	621	471	97	-	120	120	150	150	85	85	-	96	-	-
Mar	25	-	575	461	74	-	120	120	150	150	85	85	-	74	-	-
Apr	-	-	518	476	-	-	120	120	150	150	77	77	-	-	-	-
May	-	-	451	423	-	-	120	54	84	150	-	-	-	-	-	-
Jun	-	-	382	363	-	-	120	-	18	137	-	-	-	-	-	-
Jul	-	-	379	289	-	-	120	-	1	121	-	-	-	-	-	-
Aug	-	-	447	332	-	-	116	-	-	117	-	-	-	-	-	-
Sep	-	-	527	405	-	-	120	82	112	150	-	-	-	-	-	-
Oct	-	-	647	419	-	-	120	120	150	150	72	71	-	-	-	-
Nov	40	16	660	485	120	48	120	120	150	150	85	85	38	110	-	-
Dec	40	21	492	567	120	64	120	120	-	150	85	85	125	125	94	-

Tabell 7.5: Optimal el- och värmeproduktion i MW

Spillvärme från industrierna tas sedan i anspråk likaledes med maximal effekt under vintermånaderna. Under sommaren skall man dock ej använda spillvärmen. Under högristid används värme från koleldning endast under januari, november och december medan man under lågristid skall utnyttja kol även under februari och mars. Detta då det inte är lönsamt att producera egen el. Naturgas i fjärrvärmesystemet används endast under december månads högristperiod. Notera att värmepumpen inte används för motsvarande tidssegment.

Tabell 7.5 kan också användas för mera detaljerade studier. Ovan har modellen redovisats i detalj för januari månad. Man finner att 40 MW el skall produceras i kraftvärmeverket dvs den maximala effekt som finns tillgänglig. I tidssegmentet finns 352 timmar vilket innebär att 14 080 MWh produceras. Värmepumparna används vilket innebär att dessa använder 50 MW el eller 17 600 MWh. Ellasten uppgår till 218 900 MWh, se tabell 7.1, varför elanvändningen blir 236 500 MWh. Då kommunen köper 632 MW el eller 222 500 MWh samt producerar 14 800 MWh i kraftvärmeanläggningen ser vi att elbalansen stämmer med undantag för avrundningsfel. På samma sätt kan man undersöka värmeanvändningen. Under högristsegmentet används 479 MW värme vilket innebär 168.6 GWh. Värdet kan jämföras med det som återfinns i tabell 7.3.

### 7.2.9 Modell av besparingsåtgärder

Som nämnts ovan måste en investering i energibesparingsåtgärder på ett klart definierat sätt inverka på det övriga energisystemet. En investering i en tilläggsisolering sparar ju både energi och medför ett lägre effektbehov i byggnaden. Detta får naturligtvis konsekvenser även för el- och fjärrvärmebehovet samt inköp av bränslen och el från ex. vis Vattenfall. Det är naturligtvis också viktigt att studera var i de olika tidssegmenten som besparingen sker. Om man installerar solfångare kommer naturligtvis sommarlasten att påverkas i högre grad än vinterlasten vilket kan vara avgörande för åtgärdens lönsamhet. Effektbehovet i byggnaden påverkas heller inte alls i samma grad om solfångare installeras som om en tilläggsisolering väljs istället. Ett sparande av el borde få högre lönsamhet än om värme sparas då elkraften är dyrare än fjärrvärmen. Tyvärr finns i dagsläget inte någon klar kännedom om hur ex. vis en tilläggsisolering påverkar den uppmätta ellast som använts i denna studie. Det är också viktigt att påpeka att industrins elanvändning inte alls behandlas i denna rapport. Det finns exempel

på att energibesparingsåtgärder i industrin har en avsevärt större inverkan på ellasten, om man ser till den kostnad som förknippas med åtgärderna, än vad investeringar i bostäder och lokaler har, se referens [38].

### Besparingar i värmelasten

En del av värmelasten i Göteborg har här simulerats med hjälp av en gigantisk byggnad. Denna byggnad kan åtgärdas genom ex. vis en tilläggsisolering så att dess behov av värme blir lägre. Det har visats att det nya  $U$ -värdet för en byggnadsdel vid en tilläggsisolering blir, se kapitel 3.5:

$$U_n = \frac{k_n \times U_e}{k_n + U_e \times t} \quad (7.25)$$

där  $U_n$  = det nya  $U$ -värdet för byggnadsdelen,  $k_n$  = värmeledningstal för extra isolering,  $U_e$  = befintligt  $U$ -värde för byggnadsdelen och  $t$  = tjocklek på extra isolering.

Som synes är detta uttryck inte linjärt och kan därför inte omedelbart inkluderas i modellen då lösningsrutiner saknas för icke linjära ekvationer. Vi har därför istället använt en metod ur referens [35] som används för att göra uttrycket delvis linjärt. Samma metod har också använts i en mindre artikel,[39], varför metoden endast beröres i korthet här.

Metoden går ut på att förändra ekvationen (7.25) så att denna inte längre är en funktion av  $t$  utan en funktion av nya variabler  $A_1, A_2 \dots$  vilka endast kan anta värdet 0 eller 1. Ekvationen (7.25) överföres därför till ekvation (7.26) nedan. Genom att dessutom införa en ekvation som tvingar modellen att endast välja en eller ingen av dessa  $A$  - variabler kan optimal isolertjocklek bestämmas:

$$A_1 \times V_1 + A_2 \times V_2 + A_3 \times V_3 + \dots \quad (7.26)$$

$$A_1 + A_2 + A_3 + \dots \leq 1 \quad (7.27)$$

där  $V_1, V_2$  o.s.v. är värdet av den funktion som är av intresse.

Notera att index här inte längre visar vilken månad som avses. För att kunna inkludera inverkan av en tilläggsisolering i modellen måste dels målfunktionen kompletteras. Kostnaderna för en tilläggsisolering återfinnes i tabell 2.2. Här har kostnaden beskrivits som en linjär funktion av isolertjockleken men då det visade sig att inverkan på energiförbrukningen, ekvation (7.24), inte är linjär m.a.p. denna variabel måste även målfunktionen ändras så att den nu blir en funktion av  $A$  i stället för av  $t$ . Som exempel visar vi tillvägagångssättet för en bjälklagsisolering. Först antas ett troligt intervall för den optimala isolertjockleken, säg från 0 till 30 cm. Detta intervall delas sedan in i ett antal delar som kopplas till var sin binär heltalsvariabel  $A$ . Om  $A_1$  kopplas till 5 cm extra isolering,  $A_2$  till 10 cm,  $A_3$  till 15 cm osv, och arean för bjälklaget sätts enligt tabell 2.2, kan kostnaden i MSEK för isoleringen uttryckas som:

$$\begin{aligned} &888.15 \times A_1 + 970.3 \times A_2 + 1\,052.45 \times A_3 + \\ &+ 1\,134.6 \times A_4 + 1\,216.75 \times A_5 + 1\,298.9 \times A_6 \end{aligned} \quad (7.28)$$

Isoleringen innebär också att värmeförbrukningen minskar. Detta betyder att ekvationerna (7.20) och (7.21) måste kompletteras. Genom att använda ekvation (7.25) kan nya  $U$  - värden för bjälklaget beräknas. Samma koppling måste finnas till variablerna  $A_1$ ,  $A_2$  o.s.v., så för  $U_e = 0.5$  [W/m<sup>2</sup>×K],  $k_n = 0.04$  [W/m×K] och där  $t = 5, 10, 15$  cm o.s.v., fås följande värden för funktionen (7.25):

Variabel	Nytt U - värde	Minskat U - värde
t = 0.05	0.308	0.192
t = 0.10	0.222	0.278
t = 0.15	0.174	0.326
t = 0.20	0.143	0.357
t = 0.25	0.121	0.379
t = 0.3	0.105	0.395

Tabell 7.6: Nytt och minskat U - värde genom en tilläggsisolering av bjälklag

De minskade  $U$  - värdena måste sedan multipliceras med dels arean för bjälklaget, 3.1 Mm<sup>2</sup>, samt med det antal gradtimmar som antagits gälla för Göteborg. Vid beräkningen antas att medeltemperaturen i Göteborg för januari är - 0.9 °C, se tabell 2.4, inomhustemperaturen är 21 °C och antalet hög-, resp. lågpristimmar är 352 resp 392 st. Högerledet i ekvation (7.20) måste därför innehålla:

$$168.5 - 4.59 \times A_1 - 6.64 \times A_2 - 7.79 \times A_3 - 8.53 \times A_4 - 9.06 \times A_5 - 9.44 \times A_6 \quad (7.29)$$

De andra ekvationerna av typen (7.20), för februari t.o.m. december, måste givetvis också kompletteras på motsvarande sätt. Värdena kommer inte att bli identiska med de som använts i (7.29) då antalet gradtimmar varierar. Genom ekvation (7.27) kommer endast en eller ingen av variablerna  $A_{1,2,\dots}$  att väljas, och om en väljs kommer dessutom denna variabel att förknippas med en kostnad i ekvation (7.28).

Då isoleringen av bjälklaget innebär att värme sparas under en följd av år måste de lägre kostnader detta medför nuvärdesberäknas. Nuvärdet för årligen återkommande kostnader beräknas som:

$$PREV = K \times \frac{1 - (1 + r)^{-b}}{r} \quad (7.30)$$

där  $PREV$  = Nuvärdet,  $K$  = Den årliga kostnaden,  $r$  = Den reala diskonteringsräntan och  $b$  = Antalet år kostnaden uppträder.

I denna studie har en real ränta om 5 %, och 50 års projekttid, använts, vilket innebär att den årliga kostnaden skall multipliceras med 18.26 för att nuvärdet ska erhållas. Alla kostnader i målfunktionen som uppträder årligen måste därför multipliceras med detta tal för att en korrekt nuvärdesberäknad kostnad ska åstadkommas.

### Lösning värmelast - isolering

Vi har liksom tidigare använt ett kommersiellt tillgängligt datorprogram, ZOOM, se referens [40], för att optimera ovanstående modell. Programmet har dock modifierats något för användning i en dator av typen NORD 570.



Lösningen innebär att inget sparande alls skall ske i värmelasten, alla variablerna  $A_1 - A_6$  är noll. Detta innebär också att förhållandena som visades i tabell 7.5 fortfarande kommer att gälla.

Som nämndes ovan befanns det inte lönsamt att tilläggsisolera den byggnad som använts för att simulera fjärrvärmeanvändningen i Göteborg. Kostnaden för isoleringen är för hög i förhållande till kostnaden att producera ytterligare värme. Genom att använda ombyggnadslån kan kostnaden för isoleringen sänkas. I det grundfall som använts sjunker kostnaden med c:a 35 %. Värdena i ekvation (7.28) skall således sänkas i motsvarande grad. En förnyad körning av ZOOM visar att det inte heller nu finns anledning att tilläggsisolera byggnaden och resultatet blir likartat även för en sänkning av kostnaden med c:a 50 % vilket motsvarar den garanterade ränta som använts tidigare, 2.6 %. Resultatet är således likartat det som erhållits för undersökningen med OPERA - modellen, kostnaden för isoleråtgärder är för hög jämfört med den kostnad som finns för att producera ytterligare värme. Ett ytterligare antal optimeringar av modellen visar att kostnaden för isoleråtgärderna måste sänkas med c:a 80 % för att dessa skall komma in som optimala. När kostnaden för åtgärderna har kommit ner till denna nivå innebär varje ytterligare sänkning med någon procent att variablerna  $A_1 - A_6$  blir 1 istället för 0. En subvention med 75 % ger således inget utfall alls vad gäller isoleringen medan 80 % subvention innebär att  $A_4$  blir lika med 1, vilket betyder att 20 cm extra isolering skall användas på bjälklaget. En 90 % - ig subvention ger 30 cm isolering, d.v.s. det mesta som modellen innehåller. Det är således uppenbart att det inte är någon bra strategi att spara värme genom tilläggsisolering av byggnadsbeståndet i ett kraftvärmesystem. Isolerkostnaderna måste minska med ungefär 75 % för att samhället skall kunna tjäna på att så sker. Det bör poängteras att samhällets alla kostnader inte finns med i modellen och inte heller alla de besparingar som är möjliga av ett värmesparande. En korrekt spegling av de samhällsekonomiska kostnaderna är dock mycket komplicerad att utföra, ex. vis att ta hänsyn till ev. arbetslöshet, transportkostnader, m.m. se referens [41], men modellen ger en fingervisning om att sparandet i dagsläget sannolikt ej är lönsamt.

### Byte av fönster

I figur 3.1 visades att ett byte av fönster skulle vara en bra strategi för husägaren. Motsvarande åtgärd undersöks nedan då energisystemet vidgats till att även omfatta ett kraftvärmenät. Kostnaden för fönsterbyte framgår av texten under tabell 2.2. För de olika fönstertyperna har antagits följande U - värden:

Fönstertyp	U - värde
Befintliga tvåglas	3.0
Nya treglasfönster	2.0
Nya treglasfönster med lågmissionsskikt	1.5
Nya treglasfönster med låge.skikt och gasfyllning	1.2

Tabell 7.7: U - värden i  $[W/m^2 \times K]$  för olika fönstertyper

På motsvarande sätt som för isoleringsåtgärderna måste ett fönsterbyte kopplas till en heltalsvariabel, nu kallad  $B$ . Dessutom måste såväl målfunktio-

nen samt ekvation (7.29) kompletteras. Då arean för ett av byggnadens fönster satts till  $1.5 \text{ m}^2$ , och antalet fönster till  $1.2 \times 106$  st, fås kostnaden för byte till treglasfönster:

$$(0 + 1\,300 \times 1.5) \times 1.2 \times 106 = 2\,340 \quad \text{MSEK}$$

Detta är dock inte hela sanningen. I det problem som undersöktes med OPERA - modellen antogs att de befintliga tvåglasfönstren måste bytas omgående. Man har således en oundviklig kostnad på 1 980 MSEK för att byta dessa till likartade fönster. Då de nya fönstren antas ha samma livslängd oavsett typ, 30 år, kan de i övrigt behandlas likvärdigt. Ovan angavs att vi räknat med en optimeringstid om 50 år varför skillnaden i fönstrens kostnader, 360 MSEK, måste nuvärdesberäknas för denna tidsrymd:

$$360 \times [1 + (1 + 0.05)^{-30} - \frac{10}{30} \times (1 + 0.05)^{-50}] \times B = 432.8 \times B \quad (7.31)$$

Den första termen, 1, anger bytet år 0, den andra termen,  $(1 + 0.05)^{-30}$ , bytet år 30, medan resterande uttryck anger restvärdet år 50. Ett utbyte av fönster från tvåglas till treglas innebär en U - värdesförbättring från 3.0 till  $2.0 \text{ [W/m}^2 \times \text{K]}$ . Denna förbättring kommer in på samma sätt som tidigare i ekvation (7.29), vilkens högerled för januari månad således måste kompletteras med:

$$-(21 - 0.9) \times 352 \times 1.2 \times 1.5 \times 106 \times 1.0 \times 10^{-9} \times B = -13.87 \times B \quad \text{GWh} \quad (7.32)$$

Löses det nya problemet visar det sig att de förbättrade fönstren inte kommer att ingå i den optimala lösningen, kostnaden för det förbättrade k - värdet är för hög. Körningar med OPERA visar att det kan vara lönsamt att byta fönster, och då välja ett bättre fönsteralternativ av energisparskäl, om man ändå måste byta. Motsvarande förhållanden har också noterats för isoleråtgärder. Om ex. vis en fasad är i mycket dåligt skick kan det ibland vara lönsamt för den enskilde husägaren att passa på med en tilläggsisolering när ändå väggen åtgärdas. Vid de undersökningar som företagits med den nu konstruerade linjärprogrammeringsmodellen har dock inga sådana energisparåtgärder fallit ut som optimala, inte ens om lånesystemets subventioner använts.

### Byte av värmesystem

OPERA visade också att den enskilde kan få en lägre LCC om det befintliga värmesystemet byts ut mot ett som eldas med naturgas. I det större energisystemet där byggnaden redan är ansluten till ett fjärrvärmenät kan en sådan åtgärd inte bli lönsam om huvudmannen för nätet tillämpar kortsiktiga marginalkostnader. Elproduktionen i nätet erhålles via naturgaseldning och värmen från denna elproduktion måste således bli billigare än om enbart värme produceras med gasen i fjärrvärmeanläggningen. Resterande behov av uppvärmning täcks av ännu billigare energislag, i detta fall sopor, spillvärme, kol och användningen av en värmepump.

Ovan har inte tagits hänsyn till att det vid en större utbyggnad av fjärrvärmenätet skulle kunna uppstå brist till följd av att de befintliga anläggningarna

inte skulle kunna täcka behovet av värme. I fallet med Göteborg synes detta dock inte troligt då en betydande reservkapacitet finns idag.

Det bör noteras att andra författare har redovisat en högre lönsamhet för energibesparingsåtgärder i fjärrvärmenät. Ett exempel skall nämnas från Lund. I den här refererade studien, se referens [42], har dock såväl högre kostnader för de olika energislagen, som kostnader för nya anläggningar tagits med. Bjälklagsisolering och fönsterbyte balanserar dock på gränsen till lönsamhet medan ytterväggsisoleringar ej ingår i föreslagen renoveringsstrategi. Däremot anges att åtgärder på ventilationssystemet har god lönsamhet. Alternativa uppvärmningsformer diskuteras dock ej.

### Besparingar i ellasten

Som nämnts ovan har inte heller ellasten avbildats som en funktion av utemperaturen utan istället har den verkliga ellasten använts i modellen. Detta innebär samtidigt att en besparingsåtgärd, ex. vis en tilläggsisolering, inte på ett klart definierbart sätt påverkar denna last. I referens [43] har detta behandlats så att en viss procent av högprislaster, lågprislaster eller maxeffekt sparats. Detta sparande har sedan varit förknippat med en kostnad per procent. En klimatberoende ellast måste därför konstrueras. Enligt uppgifter från Malmö Energi AB utgörs c:a 9.6 % av den totala elanvändningen i Malmö kommun av elvärme till bostäder. Övrig elanvändning till bostäder uppgår till c:a 16.0 %. Uppgifter finns också vad gäller elanvändningen för olika månader i % av den totala lasten för varje användningsområde men de stämmer inte helt överens med den last som skulle erhållas om den vore helt klimatberoende. För enkelhets skull antas att liknande förhållanden råder även i Göteborgs kommun. Beräkningarna som redovisas i detalj i referens [18] visar att den fiktiva byggnaden borde ha en bjälklagsarea om c:a 276 600 m<sup>2</sup>. Detta innebär att målfunktionen måste kompletteras med följande uttryck, om liksom tidigare sex isolerintervall ska undersökas:

$$79.25 \times D_1 + 86.58 \times D_2 + 93.91 \times D_3 + \\ + 101.24 \times D_4 + 108.57 \times D_5 + 115.90 \times D_6 \quad (7.33)$$

där variablerna  $D_1 - D_6$  är binära heltal. Påverkan på lasten av tilläggsisoleringen framgår av tabell 7.2.9 och då det endast är arean på bjälklaget och antalet tidelement som förändrats fås därför för högerledet i ekvation (7.2):

$$218.9 - 0.409 \times D_1 - 0.59 \times D_2 - 0.70 \times D_3 - 0.76 \times D_4 - 0.81 \times D_5 - 0.84 \times D_6 \quad (7.34)$$

Högerledet i ekvation (7.3) måste förändras på motsvarande sätt:

$$170.0 - 0.46 \times D_1 - 0.66 \times D_2 - 0.77 \times D_3 - 0.85 \times D_4 - 0.90 \times D_5 - 0.94 \times D_6 \quad (7.35)$$

Notera att ekvation (7.34) gäller för högprisperioden i januari och ekvation (7.35) för lågprisperioden under samma månad samt att bägge ekvationerna anger energimängden i GWh. Motsvarande ekvationer för de andra 11 månaderna måste också ingå i modellen men dessa redovisas liksom tidigare inte här.

Genom en tilläggsisolering minskar också utnyttjad effekt något. Då detta endast är av intresse under de fem månaderna från november till mars är det högerledet i ekvation (7.5) som måste kompletteras. Med antagande om att den dimensionerande utetemperaturen i Göteborg kan sättas till  $-14\text{ }^\circ\text{C}$ , att den önskvärda innetemperaturen skall vara  $21\text{ }^\circ\text{C}$ , samt värdena i tabell 7.2.9, fås högerledet nu till:

$$701.0 - 1.86 \times D_1 - 2.69 \times D_2 - 3.16 \times D_3 - 3.46 \times D_4 - 3.67 \times D_5 - 3.82 \times D_6 \quad (7.36)$$

Ekvation (7.36) gäller då för maximalt effektbehov under januari månad och de 4 ytterligare ekvationerna måste kompletteras på likartat sätt. Modellen måste också innehålla ett uttryck som innebär att endast en av variablerna  $D_1$  -  $D_6$  kan väljas dvs:

$$D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 \leq 1 \quad (7.37)$$

Det visar sig nu vid en förnyad optimering av modellen att resultatet vad gäller besparingsåtgärderna är lika klent som tidigare, nämligen att inga besparingar skall genomföras vare sig i el- eller värmelast.

Genom att förändra modellen något kan en tilläggsisolering framtvings. Om någon av variabeln  $A_1$  till  $A_6$  tvingas att bli lika med 1, ökar LCC med c:a 668 MSEK. Optimal extra isolertjocklek blev då 10 cm. Om motsvarande åtgärd vidtas för elasten, dvs någon av variablerna  $D_1$  till  $D_6$  tvingas att bli lika med 1, ökar kostnaden endast med 48 MSEK i stället. Optimal extra isolering blev även här 10 cm. Det är således uppenbart att sparåtgärder på elsidan kommer in betydligt tidigare än vad besparingar av värme gör.

### 7.2.10 Ökad elproduktion - elbrist

Ytterligare ett fall som måste undersökas är om fler energisparåtgärder kommer in vid en eventuell elbrist. Sådan kan inträffa exempelvis om elnätet i vissa stycken är underdimensionerat eller om kraftverken kopplade till elnätet inte förmår att hålla rätt frekvens. I denna modell simuleras detta med antagande om att det finns möjlighet att bygga ytterligare en elproducerande enhet, en gasturbinanläggning. Denna enhet skall också kunna komma ifråga om el- eller effektpriserna ökar tillräckligt mycket. Vidare måste det vara möjligt att gasturbinen bara kommer att utnyttjas i vissa tidssegment. Se ekvationerna (7.2), (7.3), (7.5) m. fl. I referens [38] har man beräknat en sådan som skulle kunna motsvara Sydkrafts kostnad för att bygga en gasturbinanläggning. Effektagiften har då beräknats till c:a 570 SEK/kW, att jämföra med 235 SEK/kW som använts tidigare i denna rapport. Här räcker dock inte en sådan effektagift till för att erhålla några åtgärder men en serie optimeringar med olika effektagifter i referens [18] visar att en gasturbinanläggning blir optimal om effektagiften är av storleksordningen 700 SEK/kW. Där visas också att det är billigare att bygga en sådan anläggning än att utföra några besparingsåtgärder på el- eller värmelast. Ytterligare ett antal körningar visade att besparingsåtgärder på el kommer in först när effektagiften blir i storleksordningen 1 100 SEK/kW och då för en kostnad på gasturbinanläggningen om c:a 4 200 SEK/kW. Om effekttaxan sänks kommer inte gasturbinen att väljas och om verket är billigare kommer det att väljas större för att kompensera för uteblivna besparingsåtgärder. Det synes

därför som om klimatåtgärder i bebyggelsen kommer förhållandevis långt ner i prioritetsordning om möjligheter finns att förändra produktionen av elektricitet i stället för att införa besparingsåtgärder. En förändring nedåt av priset för gasturbinen, innebär att denna blir lönsam att köra men endast under elleverantörens högpristid. Kostnaden för el från gasturbinen ligger på 340 SEK/MWh vilket är högre än elleverantörens pris men detta tillsammans med effektagifterna innebär att en gasturbinanläggning blir optimal om investeringskostnaden är tillräckligt låg.

### 7.2.11 Laststyrning av byggnader

Av det ovanstående synes det som om såväl traditionella besparingsåtgärder på klimatlasten i byggnader som ytterligare produktionsresurser för el eller värme inte i dagsläget kan konkurrera med ökade elleveranser från den nu använda elleverantören. Detta beror på att såväl effekt- som energiavgifter har en förhållandevis låg nivå jämfört med vad besparingsåtgärderna kostar och vilka konsekvenser dessa åtgärder får på el- och värmelast. Billigare åtgärder måste således prövas vilka dessutom måste specialanpassas för att utnyttja förhållandena i taxestrukturen. En sådan åtgärd kan vara att installera ett värmelager där värme lagras under lågpristid i ex. vis en vattentank och lagret sedan urladdas under högpristid. Det är naturligtvis viktigt att lagret blir precis lagom stort för att bästa resultat ska kunna uppnås. Värmelagringsförmågan i vatten uppgår till c:a  $4.18 \text{ kJ/kg} \times ^\circ \text{C}$  vilket innebär  $1.16 \text{ kWh/m}^3$ . Om det antages att det temperaturspann som kan användas uppgår till c:a  $40 \text{ }^\circ \text{C}$  innebär detta att  $46 \text{ kWh}$  kan lagras i en  $\text{m}^3$  vatten.

Kostnaden för en ackumulatortank anges i anslutning till ekv (7.24). Värdet där har inhämtats från referens [18].

Optimeras systemet enligt ovan finner man att lagret inte kommer in då kostnaden är så hög som  $150 \text{ SEK/kWh}$ . Notera återigen att kostnaden avser energimängden i lagret och inte den energimängd som lagras under ett helt år. Ett antal optimeringar i referens [18] med olika lagerkostnader visar att denna måste sjunka till c:a en tiondel, eller omkring  $15 \text{ SEK/kWh}$  och att ett mycket stort lager då blev optimalt. Se även referens [44] för en utförligare diskussion om lager i fjärrvärmeområden.

Då skillnaden i kostnad mellan lönsamt och verkligt lager är så stor synes det ligga utom möjligheternas ram att erhålla lönsamhet även för tappvarmvattenackumulering med de taxor som gäller idag. En ökning av priserna vad gäller elleveranserna innebär att kommunen istället kommer att producera egen el hellre än att spara i form av en lägre ellast. Det visade sig nämligen i referens [18] att en gasturbinanläggning kom in som optimal före en ackumulering av varmvatten.

## 7.3 Sammanfattning energisparåtgärder i kraftvärmnät

Ovan har visats att vanliga energisparåtgärder i bebyggelsen, som tilläggsisoleringar och byte av fönster, troligen inte blir lönsamma för energileverantören. Detta om kostnaden för sparåtgärden belastar denne. Det är också tveksamt om leverantören skulle kunna erhålla en högre vinst om fastighetsägaren helt

bekostar åtgärden då leverantören i så fall inte får någon vinst på sin energiförsäljning. Ett sparande som medför en minskad försäljning av fjärrvärme innebär en minskad intäkt av storleksordningen 0.20 SEK/kWh medan kostnaderna för att producera en ytterligare enhet kan vara så låg som 0.05 SEK/kWh. Som vi ser det finns således inga eller mycket små incitament för energileverantören att uppmuntra till besparingar av fjärrvärme i bebyggelsen. Inte heller ser vi att det finns några motiv för att spara el via elleverantörens försorg. Skillnaden mellan energiverkets inköpspris för el och den intäkt man får in vid försäljning är så stor att en besparingsåtgärd resulterar i en minskad vinst.

Om enbart kommunens kostnader studeras har en energisparåtgärd på elsidan en avsevärt högre lönsamhet än en åtgärd som företas på värmesidan men i det fall vi studerat kommer inga åtgärder alls att falla ut som optimala. Det är viktigt att notera att alla kostnader inte finns med vid beräkningarna. T. ex. finns ingen värdering gjord av de utsläpp som sker vid el- och värmeproduktionen vare sig hos kommunen eller hos Vattenfall som är elleverantör.

## Kapitel 8

# FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER I "NORMALA FLERBOSTADSHUS"

Som visats ovan finns det i dagsläget inte många energisparåtgärder som lönar sig enbart av energiskäl. Om man skall åtgärda en byggnad av andra skäl kan det dock vara lönsamt att välja en lösning som resulterar i ett lägre behov av energi. I området Grevegården förutsattes att den befintliga fjärrvärmeanläggningen skulle behållas. De enda åtgärder som gav en lägre LCC var byte av befintliga tvåglasfönster till treglasfönster samt tätning av byggnaden. Två ytterligare åtgärder som kom ifråga om det befintliga bostadsfinansieringsstödet utnyttjades var en tilläggsisolering av ytterväggarna och installation av en frånluftvärmepump. Resultatet från analyserna här i denna rapport strider inte mot våra tidigare erfarenheter. En åtgärd som skulle kunna komma ifråga är en tilläggsisolering av vindsbjälklaget. I fallet Grevegården föll dock denna ifrån främst pga att bjälklaget redan idag hade en mycket god isolerstandard.

Vad gäller elbesparingar finns det normalt goda möjligheter att åtgärda gemensamma tvättstugor där både tvättmaskiner och torkutrustning vanligen är helt eldrivna. En förändring till moderna maskiner med varmvattenanslutning samt en effektivare torkutrustning visar på god lönsamhet om bytet sker i anslutning till ett mera omfattande normalt underhåll. Om man ändå ska byta utrustning lönar det sig många gånger att välja en utrustning som är mera elsnål än den tidigare. Skillnaden mellan fjärrvärmepris och elpris är dock mycket liten under helger och vardagsnätter men då utrustningen vanligen används under höjpristid kommer detta faktum att inverka endast i mindre grad. Ventilationssystemen i modernare bostadshus använder också mycket el. Byte till andra fläktar och framför allt en noggrann dimensionering gör att ett byte av sådan utrustning kan ge ett positivt utfall. Numera består belysningen i flerbostadshusens gemensamma utrymmen av lysrörsarmaturer med tids- eller dagsljusstyrning. Modern armatur kan i och för sig ge ett lägre elbehov men då livslängden på den befintliga utrustningen ofta är betydande är det svårt att uppnå någon lönsamhet vid ett byte. Ett problem med lysrör som kanske inte tillräckligt uppmärksammas är dessas innehåll av kvicksilver. På senare tid har man dock lyckats att minska kvicksilvermängden men faktum kvarstår att

metallen kommer att få en ökad spridning i naturen då användningen av lysrör ökar.

Inom bostäderna är det vanligare med glödljusarmaturer. Byte till lysrörsarmatur kan här ge god lönsamhet. Den största effekten synes dock erhållas vid byte av kyl- och frysutrustning. Genom bättre isolering av apparaterna har man numera erhållit avsevärda minskningar av elbehovet. Enskilt ägda tvättmaskiner skulle också med fördel kunna anslutas till det ordinarie tappvarmvattnet. För den enskilde skulle ett sådant alternativ vara speciellt lönsamt då varmvattnet oftast betalas av kollektivet medan elräkningen debiteras hyresgästen i fråga.

Det visar sig att många åtgärder inte kommer till stånd även om en god lönsamhet kan påvisas. Detta beror många gånger på att den enskilde och husägaren inte har full kännedom om marknaden. Energiverket skulle således kunna föreslå speciellt elsnåla apparater men det är viktigt att man hela tiden håller sig ajour med marknaden så att apparaterna verkligen finns att tillgå i den öppna handeln. I ett eventuellt reklammaterial är det också viktigt med några enklare beräkningsexempel så att den enskilde själv kan övertyga sig om apparaternas förträfflighet. Man måste dock notera att en kommun här har en känslig position som opartisk allmännytta. Protester från tillverkare av icke föreslagen utrustning lär inte kunna undvikas om inte motiven är mycket starka.



## Kapitel 9

# CHECKLISTA

Som visats ovan är problemet med energisparåtgärders lönsamhet mycket komplext. Det är också svårt, för att inte säga omöjligt, att korrekt beräkna en åtgärds lönsamhet då många antaganden måste göras ex. vis vad gäller framtida energipriser. För att man inte skall fastna i alla detaljer måste man därför acceptera en viss osäkerhet och man får känna en tillfredställelse i att man utrett problemet så gott som det låter sig göras. Man kommer i alla fall att ha väsentligt mera fakta bakom ett ställningstagande om man angriper problemet med de metoder som ovan beskrivits än om man använder ett traditionellt tillvägagångssätt. Nedan har vi försökt att ställa samman ett antal enkla frågor som beroende på svaret ger förslag till olika handlingsalternativ.

**Vilken typ av uppvärmningssystem finns idag?** Som visats ex. vis i figur 3.1 har det befintliga uppvärmningssystemet stor betydelse för lämpliga åtgärder. Om man har ett system med höga driftkostnader, ex. vis elvärme, erhålles många åtgärder på klimatskalet. Den mest lönsamma åtgärden är dock oftast att byta värmesystem till ett som ger låga driftkostnader. Detta byte innebär samtidigt att endast få och billiga ROT-åtgärder skall utföras på klimatskalet, ex. vis bjälklagsisolering och tätning.

**Vilken ålder har den befintliga byggnaden?** Om byggnaden är yngre än c:a 30 år har den ofta en förhållandevis god isolering i bjälklag och ytterväggar. Våra erfarenheter visar att det är svårt att få en lönsam tilläggsisolering om U-värdet är bättre än c:a  $0.4 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ . Däremot kan det vara lönsamt att byta fönster speciellt om de befintliga har en dålig status.

**I vilket skick är byggnaden?** En yttervägg i gott skick lönar sig så gott som aldrig att tilläggsisolera. Samma förhållanden gäller fönster. Om man bedömer att den återstående livslängden på byggnadsdelen är längre än 10 år föreslås att man avvaktar med åtgärden.

**Vilket krav har ägaren på lönsamhet?** Många energisparåtgärder har mycket lång återbetalningstid. En aktör som är ute efter ”snabba klipp” finner inte dessa genom att tilläggsisolera sitt hus.

**Kommer man att ansöka om statliga bostadslån?** Under vissa förhållanden kan man erhålla statligt bostadsfinansieringsstöd med räntegaranti. Detta innebär att en mycket låg ränta behöver betalas de första åren.

Detta innebär dessutom att flera åtgärder som visat sig vara olönsamma utan systemet nu kan falla över gränsen.

**Finns krav på något visst värmesystem?** Kommunerna hävdar ofta att man måste ansluta byggnaden till fjärrvärmenätet. Detta är inte helt korrekt. Om värmeförsörjningen med större fördel kan ordnas på annat sätt är detta tillåtet även om bostadsfinansieringsstödet skall utnyttjas. Vad vi förstår kan bara tvång tillämpas om fjärrvärmeanläggningen allmänförklaras. Någon sådan anläggning finns dock ej ännu. Det kan dock vara besvärligt att visa att en alternativ värmeanläggning innebär en större fördel vid en eventuell tvist.

**Hur stort är huset?** I ett litet hus används inte mycket värme. Därför finns inte heller så stort ekonomiskt utrymme för mer avancerade tekniska lösningar vad gäller värmesystemet. Större hus, med fler än c:a 20 lägenheter, kan ge utrymme för ett sk bivalent system, dvs en oljepanna och en värmepump. Detta gäller framför allt om det redan finns en väl fungerande oljepanna.

**Hur ser gemensamma tvättstugor ut?** I äldre tvättstugor har man ofta en hög elförbrukning för tvätt- och torkändamål. Om utrustningen är så sliten att den ändå måste bytas ut finns anledning att studera nya maskiner. En anslutning av tvättmaskinen till tappvarmvattnet och en torkutrustning med värmepump kan löna sig på sikt.

**Vilken typ av ventilation är installerad?** Omoderna och felaktigt dimensionerade ventilationssystem kan ofta skapa en onödigt hög elförbrukning. Byte av fläkthjul, rengöring och injustering kan vara åtgärder med mycket kort återbetalningstid.

**Belysning i gemensamma utrymmen m.m.** I trapphus finns ofta belysning som är påslagen dygnet runt. Tids- eller ljusstyrning samt lysrörsarmatur kan innebära stora elbesparingar.

**Vilken status har hyresgästernas kyl- och frysskåp m.m.?** Under senare år har avsevärda förbättringar skett vad gäller kyl- och frysanläggningarnas isolering, kompressorer mm. Ett byte till modern utrustning då man ändå skall byta kan vara väl motiverat. Enskilda tvätt- och diskmaskiner skulle kunna anslutas till det kollektiva tappvarmvattensystemet vilket skulle innebära besparingar för den enskilde.

Listan kan göras mycket längre men vi tror att de viktigaste synpunkterna tagits upp ovan.

# Litteraturförteckning

- [1] Gustafsson Stig-Inge. *The Opera model. Optimal Energy Retrofits in Multi-Family Residences*. PhD thesis, Institutionen för Konstruktions- och Produktionsteknik, Tekniska Högskolan. Linköpings Universitet, Linköping, Sverige, 1988. ISBN 91-7870-335-2.
- [2] Gustafsson S-I. Optimal energy retrofits on existing multi-family buildings. Avdelning Energisystem. Institutionen för Konstruktions- och Produktionsteknik. Tekniska Högskolan, Linköpings Universitet. Linköping., 1986. Licentiatavhandling nr 91. ISBN 91-7870-118-X.
- [3] Gustafsson S-I., Karlsson B.G. and Sjöholm B.H. Renovation of Dwellings - Life-Cycle Costs. In *Advancing Building Technology, Translating Research Into Practice*, volume 9, pages 3886–3893. CIB-86, September 1986.
- [4] Elgestad S. *VVS-handboken*. Förlags AB VVS, Stockholm, 1963.
- [5] Van Dyke J., Hu P. Determinants of Variation in Calculating a Discount Rate. *Energy*, 14(10):661–666, 1989. Pergamon Press.
- [6] Gustafsson Stig-Inge. A Computer Model for Optimal Energy Retrofits in Multi-Family Buildings. The OPERA model. Technical report, Byggeforskningsrådet, Dokument D21, Stockholm, 1990.
- [7] Gustafsson S-I. and Karlsson B.G. Why is Life-Cycle Costing Important when Retrofitting Buildings. *The International Journal of Energy Research*, 12(2):233–242, 1988. ISSN 0363-907X.
- [8] Wikells Byggberäkningar. Sektionsfakta ROT. Växjö.
- [9] Gustafsson S-I, Karlsson B.G. Window Retrofits: Interaction and Life-Cycle Costing. *Applied Energy*, 39(1):21–29, 1991.
- [10] Gustafsson S-I., Karlsson B.G. and Sjöholm B.H. Differential Rates for District Heating and the Influence on the Optimal Retrofit Strategy for Multi-Family Buildings. *Journal of Heat Recovery Systems & CHP*, 7(4):337–341, 1987.
- [11] Diczfalusy B. and Rapp B. A Model for Assessment of the Profitability of New Energy Technologies in Buildings. Technical report, Byggeforskningsrådet, Dokument D22, Stockholm, 1988. ISBN 91-540-4951-2.

- [12] Gustafsson Stig-Inge och Karlsson Björn G. Energy Conservation and Optimal Retrofits in Multi-Family Buildings. *Energy Systems and Policy*, 14:37–49, 1991.
- [13] Backvik B. *VVS-handboken. Tabeller och diagram*. Förlags AB VVS, Stockholm, 1974.
- [14] Holman J. P. *Heat Transfer*. McGraw-Hill International Book Co., Singapore, 1989. First printing. ISBN 0-07-100487-4.
- [15] Werner S. E. *The heat load in district heating systems*. PhD thesis, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1984.
- [16] Gustafsson S-I, Karlsson B. G. and Redegren N. B. Optimal Energy Retrofits in Multi-Family Residences. In *Energy use and conservation*, pages 143–153. The Swedish-Soviet Seminar on Use and Conservation of Energy, Gävle, Sverige, 1988. Rapport nr. SB:13, Statens Institut för Byggnadsforskning.
- [17] Markus T.A. The Window as an Element in the Building Envelope; Techniques for Optimization. In , volume 2, Köpenhamn, Danmark, . CIB 79.
- [18] Gustafsson Stig-Inge and Karlsson Björn G. Bostadslånens inverkan på optimala energisparåtgärder i flerbostadshus. Avdelning Energy Systems. Institutionen för Konstruktions- och Produktionsteknik, Tekniska Högskolan. Linköping, Sweden., 1991. LiTH-IKP-R-644.
- [19] Wikells Byggeberäkningar. Sektionsfakta el, 92 93, 1992. Kalmar.
- [20] Berntsson L. och Nord B. Hur används fastighetselen i flerbostadshus? Resultat från mätningar i tre objekt. Technical report, Rapport R108:1988, Byggforskningsrådet, 1988.
- [21] Sjöstedt et al. Eleffektivisering inom bostadsrättsföreningen Biet nr 1. Vattenfall Västsverige, 461 88 Trollhättan, 1991.
- [22] Jagemar I. Energiekonomi. Val av fläktar och kanalutformning för luftbehandlingssystem i servicelokaler och industrier. Dokument D10:1991, Avdelning Installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, 1991. ISSN 0283-8761.
- [23] Berntsson L. Den elsnåla tvättstugan. HSB:s Riksförbunds Förvaltningsavdelning, 1991. 1991-05-15.
- [24] Bergman K. och Isaksson H. Energianvändning för tvätt- och torkutrustning avsedd för fastighetstvättstugor. Statens Vattenfallsverk, Älvkarlebylaboratoriet, Dokumentationscentralen, 810 71 Älvkarleby, 1990. K-Konsult, Stockholm.
- [25] Angelin C. G. et al. Ny tvättutrustning i flerbostadshus. Botkyrkavägen 1-11. Energikartläggning och utvärdering. Statens Vattenfallsverk, Älvkarlebylaboratoriet, Dokumentationscentralen, 810 71 Älvkarleby, 1991.

- [26] Nörgård J. Low electricity Appliances - Options for the Future. Electricity. Lund University Press, 1989.
- [27] Anonym. Göteborgs energisystem - ett forskningsprojekt. Chalmers Tekniska Högskola, 1990.
- [28] Anonym. Mätning av hushållens elkonsumtion uppdelad på de viktigaste elapparaterna. Vattenfall FUD, 1985.
- [29] Anonym. Mätning av hushållens elkonsumtion uppdelad på de viktigaste elapparaterna. Rapport 2. Vattenfall FUD, 1987.
- [30] Sjöstedt et al. Energikartläggning bostadsrättsföreningen Myggan nr 1. Vattenfall Västsverige, 461 88 Trollhättan, 1990.
- [31] Schipper L. Vitvaror i hushållen. Teknisk utveckling internationellt och elanvändning i Skandinavien. Rapport R66:1990 Byggnadsrådet, 1990.
- [32] Horlock J.H. *Cogeneration: Combined Heat and Power. Thermodynamics and Economics*. Pergamon Press, 1987. ISBN 0 08 034796 7.
- [33] Bohman M. och Andersson R. Pricing Cogenerated Electricity and Heat in Local Communities. *Journal of Public Economics*, 33:333–356, 1987. North-Holland.
- [34] Karlsson Björn G. Microcomputer Based Electricity Meter for Household Consumers. In *Instrument Society of America*, Philadelphia, Pennsylvania, 1982. ISA 82, International Conference and Exhibit.
- [35] Foulds L. R. *Optimization techniques*. Springer Verlag, New York Inc., 1981.
- [36] Lewald Anders. ELVA-modellen, Elvärmens alternativ. Licentiatavhandling. Linköpings Tekniska högskola, Avdelning Energisystem, 1990. LIU-TEC-LIC-1990:22.
- [37] Gustafsson Stig-Inge och Karlsson Björn G. Linear Programming Optimization in CHP Networks. *Heat Recovery Systems & CHP*, 11(4):231–238, 1991.
- [38] Ottosson Hans och Söderström Mats. Teknikstyrning av elanvändning. Rapport 1 och 2, Svensk Energi Utveckling AB, 1990. Sydkraft AB.
- [39] Gustafsson Stig-Inge och Karlsson Björn G. Insulation and Bivalent Heating System Optimization; Housing retrofits and Time-Of-Use Tariffs for Electricity. *Applied Energy*, 34(?):303–315, 1989.
- [40] Marsten R. Users Manual for ZOOM. Dept. of Management Information Systems. University of Arizona, U.S.A.
- [41] Andersson R. och Bohm P. Samhällsekonomisk Utvärdering av Energiprojekt, 1981. Nämnden för Energiproduktionsforskning, Report NE 1981:12, ISBN 91-38-06451-0.

- [42] Gustavsson Leif. Framtida Fjärrvärmesystem, 1989. Institutionen för Miljö och Energisystem, Lunds Universitet, ISBN 91-7970-765-3.
- [43] Gustafsson Stig-Inge och Karlsson Björn G. Production or Conservation in CHP Networks? *Heat Recovery Systems & CHP*, 10(2):151–159, 1990.
- [44] Gustafsson Stig-Inge och Karlsson Björn G. Heat Accumulators in CHP Networks. *Energy Conversion & Management*, 33(12):1051–1061, 1992.



# Kapitel 10

# BILAGOR

## 10.1 Bilaga 1

GÖTEBORG ENERGI AB

1991-03-12

TAXA FÖR LEVERANS AV FJÄRRVÄRME FRÅN GÖTEBORG  
ENERGI AB ATT GÄLLA FRÅN OCH MED 1983-08-01

$$S = \frac{I}{133} (C1 + C2 \times \text{kW}) + E_S \times \text{MWh}_S + E_V \times \text{MWh}_V$$

### EFFEKTAVGIFT

Effektavgiften grundas på fastighetens behov av värme och varmvatten, vilket uttrycks i abonnemangseffekten kW. Avgiften påverkas av konsumentprisindex I/133.

Effekt (kW)	C1	C2
0 - 100	0	170
101 - 500	3 000	140
501 - 2 000	13 000	120
2 001 - 5 000	53 000	100
> 5 000	103 000	90

### ENERGIAVGIFT

Energivavgiften utgår efter gällande energipris  $E_S$  och  $E_V$  i kr/MWh och med förbrukningen under perioden i MWh. Energipriset som fastställs kvartalsvis av GE, är olika under sommar- och vinterperioden.

Sommarperioden april - september  $E_S \times \text{MWh}_S$   
Vinterperioden oktober - mars  $E_V \times \text{MWh}_V$

### BETECKNINGAR

S = värmeavgift i kronor per år  
I = gällande konsumentprisindex för debiteringsperioden (indexserie 1980)  
kW = abonnemangseffekt i kW  
 $\text{MWh}_S$  = energiförbrukning i MWh under sommarperioden  
 $\text{MWh}_V$  = energiförbrukning i MWh under vinterperioden  
 $E_S$  = energipris i kr/MWh under sommarperioden  
 $E_V$  = energipris i kr/MWh under vinterperioden

### ABONNEMANGSEFFEKT

Abonnemangseffekten fastställs av GE genom beräkning. Vid beräkningen används den av Svenska Värmeverksföreningen anvisade kategoritalsmetoden. Metoden innebär att medeltalet av de senaste två årens energiförbrukning i kWh, normalårskorrigerad med hänsyn till utomhustemperaturen, divideras med ett kategorital som för bostadsfastigheter är 2 100 och för övriga fastigheter 1 600. Kategoritalet kan i vissa fall fastställas på annat sätt. Andra kategorital än ovan angivna kan tillämpas. Abonnemangseffekten ändras per den 1 januari varje år.



**Eltariffer för yrkesändamål - lågspänning**

7/19/16

**VILKEN TARIFF?**

Tarifferna varierar beroende dels på energiförbrukningen och dels på den avsevärda storleken på måtarsäkring eller genom uppmätning.

**BESTÄMMELSER FOR TILLÄMPNING**

Abonnementsavgift utgår för varje mät-punkt. Anslaget mätuppsättningar fastställs av Göteborgs Energis kundservice. Installation av mätarsäkring och mätare utförs av behörig installatör, som har Göteborgs Energis tillstånd att utföra byte. Med mätarsäkring avses den säkring (smältbrytare) som styr säkringsapparaten närmast före mätaren. Påträffas vid Göteborgs Energis kontroll större mätarsäkring än vad som motsvarar abonnementsavgiften, har Göteborgs Energi rätt att debitera den högre avgiften. Byte av tariff får inte ske mer än en gång per år. Övriga bestämmelser för elleverans framgår av Allmänna bestämmelser för leverans av elektricitet som du kan få efter hän-vändelse till Göteborgs Energi.

**SÄKRINGSTARIFFER**

**Tariff 551, en- och tvåfasabonnemang**

Mätarsäkring Ampere	Abonnementsavgift kr/år	Energipåläggning öre/kWh
max 25	550	32,5

**Tariff 555, abonnemang med låg energiförbrukning**

Mätarsäkring Ampere	Abonnementsavgift kr/år	Energipåläggning öre/kWh
16	500	57,0
20	860	57,0
25	1280	57,0

**Tariff 556, tillfälliga abonnemang**

Mätarsäkring Ampere	Abonnementsavgift kr/år	Energipåläggning öre/kWh
25	75	
35	100	
50	145	
60	185	
80	235	
100	295	
125	370	
160	475	
200	590	

**Tariff 570, normaltariff**

Mätarsäkring Ampere	Abonnementsavgift kr/år	Energipåläggning öre/kWh
16	690	
20	1050	
25*	1480	
35*	2120	
50*	3050	
63*	3800	
80*	4900	
100*	6150	
125	7600	
160	9800	
200	12300	

\* Abonnemangen inom säkringsstorlekarna 25-100A kommer successivt att översättas till förenklat löst-konsumtionspris för abonnemang inom säkringsstorlekarna 125-200A. Kommer att bli tillämpligt tidpunkt med början 1992.

**Tariff 591/590, förenklat lösttariff**

Mätarsäkring Ampere	Abonnementsavgift kr/år	Energipåläggning öre/kWh
25	1460	nov-mars månd-fred, kl 07-22
50	2120	56,5
63	3060	56,5
	3900	övrig tid
		20

**EFFEKTARIFF 583**  
För abonnemang med större mätarsäkring än 200A

Fast avgift	400 kr/månad
Abonnementsavgift	6 kr/kWh, månad
Högbelastningsavgift	60,0 kr/kWh, månad
jan, febr, mars, nov, dec	
andra månader, 06-22	
Energipåläggning	38,0 öre/kWh
jan, febr, mars, nov, dec	
övrig tid	22,0 öre/kWh
april, sept, okt	3,0 öre/kWh
maj-aug	13,0 öre/kWh

**EFFEKTARIFFENS AVGIFTER**

**Fast avgift**  
Fast avgift debiteras varje månad under årets samtliga månader.

**Energipåläggning**  
Energipåläggning debiteras månadsvis för under månaden uttagen energi.

**Abonnementsavgift**  
Abonnementsavgift debiteras varje månad, under årets samtliga månader baserade på föregående års högsta effekttäta.

**Högbelastningsavgift**  
Högbelastningsavgift debiteras varje månad under månaderna jan, febr, mars, nov och dec på högsta effekttäta under respektive månad uppmätt månad-med, 06-22.

**SKATTER**

På engliga priser tillkommer lagstadgade skatter och mervärdesskatt. Energiskatten är för närvarande (jan 1991) 7,2 öre/kWh. För kraft som förbrukas i industriell verksamhet tillkommer en skatt på 5 öre/kWh. Mervärdesskatten som för närvarande är 25% tillkommer på samtliga avgifter inkl. energiskatt.

TARIF: 1350	TARIFF: 591
Gäller fr o m 1991-01-01	Gäller fr o m 1991-01-01
TIDSTARIFF	TIDSTARIFF
EI	EI
Nyttighet:	Nyttighet:
Tariffen avsedd för: Industri- och yrkesab. med mätarskring mellan 25-63 amp. alltid i kombination med tariff 591	Tariffen avsedd för: Industri- och yrkesab. med mätarskring mellan 25 - 63 amp. alltid i kombination med tariff 590
Abonnemangsavgift: 25 A mätarsäkr = 1 850 kr 35 A " = 2 650 kr 50 A " = 3 812 kr 63 A " = 4 750 kr	Abonnemangsavgift: 0 kr (Debiteras på tariff 590)
Energilavgift: 34.0 öre/kwh Apr-okt all tid Nov-Mars mån - fre kl 22-07 lör - sön all tid	Energilavgift: 79.6 öre/kwh Gäller nov - mars mån - fredag kl 07 - 22
Avläsningsfrekvens: 25 A = 01/03 35 A = 02/06 63 A = 02/06	Avläsningsfrekvens: 25 A = 01/03 35 A = 02/06 63 A = 02/06
INKL ENERGISKATT INKL MOMS	INKL ENERGISKATT INKL MOMS
7.2 ÖRE/KWH 25 §	7.2 ÖRE/KWH 25 §

Göteborgs Energi AB  
25-Jan 1991 /LJH

Fjärrvärmesatser år 1991 Prognos

Moms 25%  
Konsumentprisindex 225

	kvartal 1	kvartal 2	kvartal 3	kvartal 4	årsmed
Energipris 1991	245	120	120	255	210,5
Värmefördelning	40%	20%	10%	30%	100%

Utnyttningstid (kategori), timmar: 2100										
		Priser exklusive moms				Priser inklusive moms				
Effekt kW	Energi MWh	Effekt kr/kW	Effekt kr/MWh	Energi kr/MWh	Fj.värme kr/MWh	Effekt kr/kW	Effekt kr/MWh	Energi kr/MWh	Fj.värme kr/MWh	Fj.värme kr/MWh
10	21	287,59	136,95	210,50	347,45	359,49	171,19	263,13	434,31	434,31
100	210	287,59	136,95	210,50	347,45	359,49	171,19	263,13	434,31	434,31
200	420	262,22	124,87	210,50	335,37	327,77	156,08	263,13	419,21	419,21
300	630	253,76	120,84	210,50	331,34	317,20	151,05	263,13	414,17	414,17
400	840	249,53	118,82	210,50	329,32	311,91	148,53	263,13	411,65	411,65
500	1050	246,99	117,62	210,50	328,12	308,74	147,02	263,13	410,14	410,14
600	1260	239,66	114,12	210,50	324,62	299,58	142,66	263,13	405,78	405,78
700	1470	234,43	111,63	210,50	322,13	293,03	139,54	263,13	402,66	402,66
800	1680	230,50	109,76	210,50	320,26	288,12	137,20	263,13	400,33	400,33
900	1890	227,44	108,31	210,50	318,81	284,30	135,38	263,13	398,51	398,51
1000	2100	225,00	107,14	210,50	317,64	281,25	133,93	263,13	397,05	397,05
2000	4200	214,00	101,91	210,50	312,41	267,50	127,38	263,13	390,51	390,51
10000	21000	169,68	80,80	210,50	291,30	212,10	101,00	263,13	364,13	364,13

Utnyttningstid (kategori), timmar: 1600										
		Priser exklusive moms				Priser inklusive moms				
Effekt kW	Energi MWh	Effekt kr/kW	Effekt kr/MWh	Energi kr/MWh	Fj.värme kr/MWh	Effekt kr/kW	Effekt kr/MWh	Energi kr/MWh	Fj.värme kr/MWh	Fj.värme kr/MWh
10	16	287,59	179,75	210,50	390,25	359,49	224,68	263,13	487,81	487,81
100	160	287,59	179,75	210,50	390,25	359,49	224,68	263,13	487,81	487,81
200	320	262,22	163,89	210,50	374,39	327,77	204,86	263,13	467,98	467,98
300	480	253,76	158,60	210,50	369,10	317,20	198,25	263,13	461,37	461,37
400	640	249,53	155,96	210,50	366,46	311,91	194,95	263,13	458,07	458,07
500	800	246,99	154,37	210,50	364,87	308,74	192,96	263,13	456,09	456,09
600	960	239,66	149,79	210,50	360,29	299,58	187,24	263,13	450,36	450,36
700	1120	234,43	146,52	210,50	357,02	293,03	183,14	263,13	446,27	446,27
800	1280	230,50	144,06	210,50	354,56	288,12	180,08	263,13	443,20	443,20
900	1440	227,44	142,15	210,50	352,65	284,30	177,69	263,13	440,82	440,82
1000	1600	225,00	140,63	210,50	351,13	281,25	175,78	263,13	438,91	438,91
2000	3200	214,00	133,75	210,50	344,25	267,50	167,19	263,13	430,32	430,32
10000	16000	169,68	106,05	210,50	316,55	212,10	132,56	263,13	395,69	395,69

## 10.2 Bilaga 2

```

C      THIS WILL BECOME A MIXED INTEGER PROGRAM
      PROGRAM GOTE1

      REAL ELHLAST(12), ELLLAST(12), VLAST(12), ELEFFH(12), KWHELH(12),
&      KWHELL(12), ELEFFL(12), ELMAX, ETTF, REH(12), REL(12), ELTAH(12),
&      ELTAL(12), EM(5), PM, EFFAVG, ALFA, SKATTG, GPRIS, VERKG, GASP,
&      VEFH(12), VEFL(12), KOLP, KPRIS, SOPP, SPRIS, KOLEM, SOPEM,
&      SOPEF(12), KOLEF(12), SPIP, SPPRIS, SPIEM, SPIEF(12), HPP, HPPEM,
&      HPEF(12), HPPRIS, VERKH, SKATTH, SKATTK, VERKK, ELMIN, INI, AK, AKO,
&      AREA, THI, STEG, INCO(6), DEGH(12), OTEMP(12), INTEMP, UEXI, UNEW,
&      LA, UDIFF, ENEDEC, RATE, LIFE, WUEXI, WUNEW, W2COST1, W2COST2, WCOST
&      AWIN, NOWIN, W3COST1, W3COST2, WPREW, WUDIFF, WPCOST, ELTRAN,
&      AREAEL, MINSKE, DIMO, GASTU, GASTEF, GTHL(12), GTLL(12), GASTPR,
&      GTMBR, LAGEF(12), LAGKOS, VLASTH(12), VLASTL(12), LAGK02, LAGK03
      INTEGER TIMH(12), TIML(12), I, J, K, L, LADDT(12)

      CHARACTER*25 MODNAM

      DATA ELHLAST/218920., 193127., 202263., 149572., 155627., 132545.,
&      127185., 164474., 164369., 210117., 228766., 178852./
      DATA ELLLAST/170020., 148124., 154390., 170359., 140166., 116899.,
&      101341., 110119., 136431., 144568., 165765., 219783./
      DATA TIMH/352, 320, 368, 320, 368, 352, 336, 368, 336, 352, 352, 336/
      DATA TIML/392, 352, 376, 400, 376, 368, 408, 376, 384, 392, 368, 408/
      DATA LADDT/184, 160, 176, 168, 184, 168, 176, 184, 160, 184, 176, 168/
      DATA ELMAX/40./, ETTF/1./, EFFAVG/235./, ALFA/0.333/, SKATTG/.029/
      DATA GPRIS/0.085/, VERKG/0.85/, KPRIS/0.042/, SPRIS/0.05/
      DATA EM/701.0, 669.8, 654.3, 751.1, 765.0/, SOPEM/120./, SPPRIS/0.07/
      DATA ELTAH/.23, .23, .23, .145, .09, .09, .09, .09, .145, .145,
&      .23, .23/
      DATA ELTAL/.16, .16, .16, .12, .08, .08, .08, .08, .12, .12,
&      .16, .16/
*      DATA VLAST/356100., 323075., 312940.2, 239334.7, 173949.1, 113233.9,
*      &      84184., 91423.1, 134250.7, 204353.4, 254747., 304253.3/
      DATA KOLEM/125./, SPIEM/85./, HPPEM/150./, HPPRIS/0.198/, VERKH/3./
      DATA SKATTH/0.05/, SKATTK/0.055/, VERKK/0.8/, ELMIN/16./
      DATA INI/0./, AK/260./, AKO/530./, AREA/3.1E6/, THI/0.05/, STEG/0.05/
      DATA INTEMP/21./, UEXI/0.5/, LA/0.04/, LIFE/50./, RATE/.05/
      DATA OTEMP/-9., -1.2, 1.3, 6., 11.5, 15.2, 17.5, 16.8, 13.1, 8.6, 4.5, 1.8/
      DATA WUEXI/3.0/, WUNEW/2.0/, W2COST1/0./, W2COST2/1100./
      DATA W3COST1/0./, W3COST2/1300./, WPREW/1.202/, AWIN/1.5/
      DATA NOWIN/1.2E6/, ELTRAN/1.975/, AREAEL/0.276608E6/, DIMO/-14./
      DATA GASTU/3000./, GASTEF/0.25/, LAGKOS/.15/, LAGK02/150./
      DATA LAGK03/0.15/
&      DATA VLASTH/168500., 144500., 158000., 110900., 75200., 48400.,
&      40500., 43000., 77800., 120200., 180500., 182900./
&      DATA VLASTL/187600., 158900., 161400., 138700., 76800., 50500.,
&      49200., 43900., 88900., 133800., 188700., 222100./

      UF=2
      MODNAM='GOTE1'
      OPEN(UF, FILE=' IN :MPS')
      WRITE(UF, 10) 'NAME', MODNAM
      WRITE(UF, 20) 'ROWS'
      WRITE(UF, 30) 'N OBJ'
      DO 110 I=1, 12
          WRITE(UF, 30) 'E KEH', I
          WRITE(UF, 30) 'E KEL', I
          WRITE(UF, 30) 'L EMAN', I
          WRITE(UF, 30) 'L EMAL', I
          WRITE(UF, 30) 'E VKRH', I
          WRITE(UF, 30) 'E VKRL', I
          WRITE(UF, 30) 'E VKRTH', I
          WRITE(UF, 30) 'E VKRTL', I
          WRITE(UF, 30) 'L SOPEH', I
          WRITE(UF, 30) 'L SOPEL', I
          WRITE(UF, 30) 'L KOLEH', I
          WRITE(UF, 30) 'L KOLEL', I
          WRITE(UF, 30) 'L SPIEH', I
          WRITE(UF, 30) 'L SPIEL', I
          WRITE(UF, 30) 'E HPEH', I
          WRITE(UF, 30) 'E HPEL', I
          WRITE(UF, 30) 'L HPH', I

```

```

WRITE(UF,30)'L HPL',I
WRITE(UF,30)'G EH',I
WRITE(UF,30)'G EL',I
WRITE(UF,30)'L GTMH',I
WRITE(UF,30)'L GTML',I
WRITE(UF,30)'L LAGM',I
WRITE(UF,30)'E LAGER',I
WRITE(UF,30)'E VARML',I
WRITE(UF,30)'E LAGE2',I
WRITE(UF,30)'L LAGM2',I
WRITE(UF,30)'E LAGE3',I
WRITE(UF,30)'L LAGM3',I
110 CONTINUE
DO 120 I=1,5
WRITE(UF,30)'G MEF',I
120 CONTINUE
WRITE(UF,20)' L LIKA'
WRITE(UF,20)' L LIKA1'
WRITE(UF,20)'COLUMNS'
GASP=(GPRIS/VERKG)*1000.
KOLP=(KPRIS*1000./VERKK)+SKATTK*1000.
SOPPR=SPPRIS*1000.
SPIP=SPPRIS*1000.
***** HPP=(HPPRIS*1000./VERKH)+SKATTH*1000.
GASTPR=(GPRIS/GASTEF)*1000.
PREV=(1.-(1+RATE)**(-LIFE))/RATE
WCOST=(W3COST1+W3COST2*AWIN)-(W2COST1+W2COST2*AWIN)*NOWIN
WPCOST=WCOST*WPREW*1.0E-6
WUDIFF=WUEXI-WUNEW
DO 100 I=1,12
WRITE(UF,40)'ELEFFH',I,'OBJ',PREV*GASP*TIMH(I)/1.E+6
WRITE(UF,60)'ELEFFH',I,'KEH',I,TIMH(I)/ETTF
WRITE(UF,60)'ELEFFH',I,'EMAH',I,ETTF
WRITE(UF,60)'ELEFFH',I,'VKRH',I,(-ETTF/ALFA)
WRITE(UF,60)'ELEFFH',I,'EH',I,ETTF
J=I
IF (I.GE.11)THEN
J=I-7
ENDIF
IF (I.LE.3.OR.I.GE.11)THEN
WRITE(UF,60)'ELEFFH',I,'MEF',J,ETTF
ENDIF
WRITE(UF,60)'ELEFFL',I,'EMAL',I,ETTF
WRITE(UF,60)'ELEFFL',I,'EL',I,ETTF
WRITE(UF,40)'ELEFFL',I,'OBJ',PREV*GASP*TIML(I)/1.E+6
WRITE(UF,60)'ELEFFL',I,'KEL',I,TIML(I)/ETTF
WRITE(UF,60)'ELEFFL',I,'VKRL',I,(-ETTF/ALFA)
WRITE(UF,60)'REH',I,'KEH',I,TIMH(I)/ETTF
WRITE(UF,40)'REH',I,'OBJ',PREV*ELTAH(I)*TIMH(I)/1.E+3
WRITE(UF,60)'REL',I,'KEL',I,TIML(I)/ETTF
WRITE(UF,40)'REL',I,'OBJ',PREV*ELTAL(I)*TIML(I)/1.E+3
WRITE(UF,60)'VEFH',I,'VKRH',I,ETTF
WRITE(UF,40)'VEFH',I,'OBJ',(TIMH(I)*(GASP+SKATTG*1000.)/
& /1.E+6)*PREV
WRITE(UF,60)'VEFH',I,'VKRTH',I,TIMH(I)*ETTF
WRITE(UF,60)'HEVL',I,'VARML',I,-ETTF*TIML(I)
WRITE(UF,60)'HEVL',I,'VKRTL',I,TIML(I)*ETTF
WRITE(UF,60)'VEFL',I,'VARML',I,ETTF*TIML(I)
WRITE(UF,60)'VEFL',I,'VKRL',I,ETTF
& /1.E+6)*PREV
WRITE(UF,60)'KOLEFH',I,'VKRTH',I,TIMH(I)*ETTF
& WRITE(UF,40)'KOLEFH',I,'OBJ',(KOLP*TIMH(I)/
& /1.E+6)*PREV
WRITE(UF,60)'KOLEFH',I,'KOLEH',I,ETTF
& WRITE(UF,60)'KOLEFL',I,'VKRTL',I,TIML(I)*ETTF
WRITE(UF,40)'KOLEFL',I,'OBJ',(KOLP*TIML(I)/
& /1.E+6)*PREV
WRITE(UF,60)'KOLEFL',I,'KOLEL',I,ETTF
& WRITE(UF,60)'SOPEFH',I,'VKRTH',I,(TIMH(I))*ETTF
WRITE(UF,40)'SOPEFH',I,'OBJ',(SOPPR*TIMH(I)/
& 1.E+6)*PREV A
WRITE(UF,60)'SOPEFH',I,'SOPEH',I,ETTF
& WRITE(UF,60)'SOPEFL',I,'VKRTL',I,(TIML(I))*ETTF

```

```

WRITE(UF,40)'SOPEFL',I,'OBJ',(SOPPR*TIML(I)/
& 1.E+6)*PREV
WRITE(UF,60)'SOPEFL',I,'SOPEL',I,ETTF
WRITE(UF,60)'SPIEFH',I,'SPIEH',I,ETTF
WRITE(UF,60)'SPIEFH',I,'VKRTH',I,(TIMH(I))*ETTF
WRITE(UF,40)'SPIEFH',I,'OBJ',(SPIP*TIMH(I)/
& 1.E+6)*PREV
WRITE(UF,60)'SPIEFL',I,'SPIEL',I,ETTF
WRITE(UF,60)'SPIEFL',I,'VKRTL',I,(TIML(I))*ETTF
WRITE(UF,40)'SPIEFL',I,'OBJ',(SPIP*TIML(I)/
& 1.E+6)*PREV
WRITE(UF,60)'HPEFH',I,'HPEH',I,-ETTF
WRITE(UF,60)'HPEFH',I,'VKRTH',I,(TIMH(I))*ETTF
WRITE(UF,60)'HPEFH',I,'HPH',I,ETTF
WRITE(UF,60)'EHPH',I,'HPEH',I,VERKH*ETTF
WRITE(UF,60)'EHPH',I,'KEH',I,-TIMH(I)*ETTF
IF(I.LE.3.OR.I.GT.11)THEN
    WRITE(UF,60)'EHPH',I,'MEF',J,-ETTF
ENDIF
WRITE(UF,60)'HPEFL',I,'HPEL',I,-ETTF
WRITE(UF,60)'HPEFL',I,'HPL',I,ETTF
WRITE(UF,60)'HPEFL',I,'VKRTL',I,(TIML(I))*ETTF
WRITE(UF,60)'EHPL',I,'HPEL',I,VERKH*ETTF
WRITE(UF,60)'EHPL',I,'KEL',I,-TIML(I)*ETTF
WRITE(UF,60)'GPEFH',I,'VKRTH',I,(TIMH(I))*ETTF
WRITE(UF,40)'GPEFH',I,'OBJ',((GASP+SKATTG*1000)*TIMH(I)
& /1.E+6)*PREV
WRITE(UF,60)'GPEFL',I,'VKRTL',I,(TIML(I))*ETTF
WRITE(UF,40)'GPEFL',I,'OBJ',((GASP+SKATTG*1000)*
& TIML(I)/1.E+6)*PREV
WRITE(UF,60)'INTH',I,'EMAH',I,-ELMAX
WRITE(UF,60)'INTH',I,'EH',I,-ELMIN
WRITE(UF,60)'INTL',I,'EMAL',I,-ELMAX
WRITE(UF,60)'INTL',I,'EL',I,-ELMIN
WRITE(UF,40)'GTHL',I,'OBJ',GASTPR*PREV*TIMH(I)/(1.E6)
WRITE(UF,60)'GTHL',I,'KEH',I,TIMH(I)/ETTF
WRITE(UF,60)'GTHL',I,'GTMH',I,ETTF/GASTE
IF(I.LE.3.OR.I.GE.11)THEN
    WRITE(UF,60)'GTHL',I,'MEF',J,ETTF
ENDIF
WRITE(UF,40)'GTL',I,'OBJ',GASTPR*PREV*TIML(I)/(1.E6)
WRITE(UF,60)'GTL',I,'KEL',I,TIML(I)/ETTF
WRITE(UF,60)'GTL',I,'GTML',I,ETTF/GASTE
WRITE(UF,60)'HS2H',I,'LAGE2',I,ETTF*TIMH(I)
WRITE(UF,60)'HS2H',I,'KEH',I,ETTF*TIMH(I)
IF(I.LE.3.OR.I.GE.11)THEN
    WRITE(UF,60)'HS2H',I,'MEF',J,ETTF
ENDIF
WRITE(UF,60)'HS2L',I,'KEL',I,-ETTF*LADDT(I)
WRITE(UF,60)'HS2L',I,'LAGM2',I,ETTF*LADDT(I)/(LADDT(I)/8.)
WRITE(UF,60)'HS2L',I,'LAGE2',I,-ETTF*LADDT(I)
WRITE(UF,60)'HS3H',I,'LAGE3',I,ETTF*TIMH(I)
WRITE(UF,60)'HS3H',I,'VKRTH',I,ETTF*TIMH(I)
WRITE(UF,60)'HS3L',I,'VKRTL',I,-ETTF*LADDT(I)
WRITE(UF,60)'HS3L',I,'LAGE3',I,-ETTF*LADDT(I)
WRITE(UF,60)'HS3L',I,'LAGM3',I,ETTF*LADDT(I)/(LADDT(I)/8.)
WRITE(UF,60)'LAGEFH',I,'LAGER',I,ETTF*TIMH(I)
WRITE(UF,60)'LAGEFH',I,'VKRTH',I,ETTF*TIMH(I)
WRITE(UF,60)'LAGEFL',I,'VARM',I,-ETTF*LADDT(I)
WRITE(UF,60)'LAGEFL',I,'LAGM',I,ETTF*LADDT(I)/(LADDT(I)/8.)
WRITE(UF,60)'LAGEFL',I,'LAGER',I,-ETTF*LADDT(I)
100 CONTINUE
DO 301 I=1,12
    WRITE(UF,50)'GTMBR','GTMH',I,-ETTF
    WRITE(UF,50)'GTMBR','GTML',I,-ETTF
301 CONTINUE
WRITE(UF,70)'GTMBR','OBJ',GASTU/1000.
DO 302 I=1,12
    WRITE(UF,50)'LAGMX','LAGM',I,-ETTF
302 CONTINUE
WRITE(UF,70)'LAGMX','OBJ',LAGKOS
DO 303 I=1,12
    WRITE(UF,50)'LAG2X','LAGM2',I,-ETTF
303 CONTINUE

```

```

WRITE(UF,70)'LAG2X','OBJ',LAGK02
DO 304 I=1,12
    WRITE(UF,50)'LAG3X','LAGM3',I,-ETTF
304 CONTINUE
WRITE(UF,70)'LAG3X','OBJ',LAGK03
WRITE(UF,70)'PM','OBJ',PREV*EFFAVG/1000.
DO 130 I=1,5
    J=I
    IF(I.GE.4)J=I+7
    WRITE(UF,50)'PM','MEF',I,ETTF
130 CONTINUE
*****INSULATION*HEAT*AND ELECTRICITY*****
DO 220 K=1,6
    UNEW=UEXI*LA/(LA+UEXI*THI)
    UDIFF=UEXI-UNEW
    INCO(K)=(INI+AK+AKO*THI)*AREA*1.E-6
    WRITE(UF,40)'A',K,'OBJ',INCO(K)
    THI=THI+STEG
    WRITE(UF,40)'A',K,'LIKA',ETTF
DO 230 I=1,12
    DEGH(I)=(INTEMP-OTEMP(I))*TIMH(I)+TIML(I))
    ENEDEC=DEGH(I)*UDIFF*AREA*1.OE-6
    WRITE(UF,60)'A',K,'VKRTH',I,ENEDEC
    WRITE(UF,60)'A',K,'VKRTL',I,ENEDEC
230 CONTINUE
220 CONTINUE
*****ELECTRICITY*****
THI=0.05
DO 250 K=1,6
    UNEW=UEXI*LA/(LA+UEXI*THI)
    UDIFF=UEXI-UNEW
    INCO(K)=(INI+AK+AKO*THI)*AREAE*1.E-6
    WRITE(UF,40)'D',K,'OBJ',INCO(K)
    THI=THI+STEG
    WRITE(UF,40)'D',K,'LIKA1',ETTF
DO 260 I=1,12
    DEGH(I)=(INTEMP-OTEMP(I))*TIMH(I)
    ENEDEC=DEGH(I)*UDIFF*AREAE*1.OE-6
    WRITE(UF,60)'D',K,'KEH',I,ENEDEC
    L=I
    IF(I.LE.3.OR.I.GE.11)THEN
        IF(I.GE.11)L=I-7
        MINSKE=UDIFF*(INTEMP-DIMO)*AREAE*1.OE-6
        WRITE(UF,60)'D',K,'MEF',L,MINSKE
    ENDIF
    DEGH(I)=(INTEMP-OTEMP(I))*TIML(I)
    ENEDEC=DEGH(I)*UDIFF*AREAE*1.OE-6
    WRITE(UF,60)'D',K,'KEL',I,ENEDEC
260 CONTINUE
250 CONTINUE
*****WINDOW RETROFITS*****
WRITE(UF,70)'B','OBJ',WPCOST
DO 240 I=1,12
    WRITE(UF,50)'B','VKRTH',I,DEGH(I)*WUDIFF*AWIN*NOWIN*1.OE-6
    WRITE(UF,50)'B','VKRTL',I,DEGH(I)*WUDIFF*AWIN*NOWIN*1.OE-6
240 CONTINUE
WRITE(UF,20)'RHS'
DO 200 I=1,12
    WRITE(UF,50)'RHS','KEH',I,ELHLAST(I)
    WRITE(UF,50)'RHS','KEL',I,ELLLAST(I)
    WRITE(UF,50)'RHS','VKRTH',I,VLASTH(I)
    WRITE(UF,50)'RHS','VKRTL',I,VLASTL(I)
    WRITE(UF,50)'RHS','SOPEH',I,SOPEM
    WRITE(UF,50)'RHS','SOPEL',I,SOPEM
    WRITE(UF,50)'RHS','KOLEH',I,KOLEM
    WRITE(UF,50)'RHS','KOLEL',I,KOLEM
    WRITE(UF,50)'RHS','SPIEH',I,SPIEM
    WRITE(UF,50)'RHS','SPIEL',I,SPIEM
    WRITE(UF,50)'RHS','HPL',I,HPEM
    WRITE(UF,50)'RHS','HPL',I,HPEM
200 CONTINUE
DO 140 I=1,5
    WRITE(UF,50)'RHS','MEF',I,EM(I)
140 CONTINUE

```

```

WRITE(UF,90)'RHS','LIKA',ETTF
WRITE(UF,90)'RHS','LIKA1',ETTF
WRITE(UF,20)'BOUNDS'
DO 150 I=1,12
    WRITE(UF,80)'BV BOUNDS','INTH',I
    WRITE(UF,80)'BV BOUNDS','INTL',I
150 CONTINUE
DO 270 I=1,6
    WRITE(UF,80)'BV BOUNDS','A',I
270 CONTINUE
DO 280 I=1,6
    WRITE(UF,80)'BV BOUNDS','D',I
280 CONTINUE
WRITE(UF,85)'BV BOUNDS','B'
WRITE(UF,20)'ENDATA'
10 FORMAT(A,T15,A)
20 FORMAT(A)
30 FORMAT(T3,A,I2)
40 FORMAT(T5,A,I2,T15,A,T25,E11.4)
50 FORMAT(T5,A,T15,A,I2,T25,E11.4)
60 FORMAT(T5,A,I2,T15,A,I2,T25,E11.4)
70 FORMAT(T5,A,T15,A,T25,E11.4)
80 FORMAT(T2,A,T15,A,I2)
85 FORMAT(T2,A,T15,A)
90 FORMAT(T5,A,T15,A,T25,E11.4)
CLOSE(UF)
WRITE(*,*)'INDATAFIL KLAR'
END

```

### 10.3 Bilaga 3

Referenserna 48 - 52 är tyvärr okända!

#### INCITAMENT TILL FÖRÄNDRAD ENERGIANVÄNDNING

Då projektet ovan redovisades för Göteborgs Energi AB framkom att man önskade en tydligare redovisning av de incitament till en förändrad energianvändning i Grevegården som borde finnas mellan olika aktörer. Vi har därför i denna bilaga försökt att påvisa speciella avsnitt i rapporten, lägga till ytterligare stoff som inte finns med och vidga det betraktade energisystemet mot den europeiska gemenskapen. Först kommer vi dock att ge en kort teoribakgrund.

#### KORTSIKTIG MARGINALKOSTNAD

Energiförsörjningssystemen i ett samhälle har tenderat att bli mer och mer omfattande. Klara stordriftfördelar finns ex. vis vid byggnation av ett vattenkraftverk eller en fjärrvärmeanläggning. Samtidigt är dessa anläggningar, trots att mångmiljonbelopp investeras, tämligen värdelösa för annan verksamhet än de var avsedda. Den alternativa användningen för en kraftverksdamm är således begränsad. De investerade medlen i en sådan anläggning brukar benämnas "sunk costs", dvs det går inte att sälja anläggningen för investerat belopp om dess användningsområde måste förändras. Andra exempel på sådana verksamheter är avloppsnät, kraftledningar eller annan infrastruktur. Den nyttighet som anläggningen producerar betingar dock ett visst värde, dvs den kan säljas till konsumenterna. Ekonomisk teori, se bl. a. [48] och [49], säger nu att priset på varan som produceras skall sättas efter den kortsiktiga marginalkostnaden, dvs den besparing som erhålles om en enhet mindre av varan produceras eller den



kostnad som uppstår om en extra enhet produceras. Naturligtvis måste alla kostnader tas med vid analysen, t. ex. miljökostnader eller kostnader för rening av utsläpp m.m. Till denna kostnad skall dessutom läggas ett belopp som visar risken för brist.

Om nu priset för varan sätts högre än marginalkostnaden kommer anläggningen inte att utnyttjas fullt ut medan det om priset är lägre innebär att anläggningen inte längre räcker till. I det senare fallet kan det vara lönsamt att bygga ytterligare en anläggning vilket troligen innebär att den kortsiktiga marginalkostnaden kommer att öka. Detta innebär att, under förutsättning av att bägge anläggningarna används samtidigt, den kortsiktiga kostnaden, priset, skall sättas till denna högre marginalkostnad. Ett exempel kan tas från en kraftproducent som har en vattenkraftanläggning och en oljekondensanläggning. Under låglasttid räcker det med att använda vattenkraften vilket innebär en mycket låg rörlig kostnad åtminstone om vatten i annat fall måste spillas förbi kraftverket. Den kortsiktiga marginalkostnaden antas nu vara c:a ett öre per kWh. När vattenkraften inte längre räcker till måste oljekondens tillgripas, med en antagen kostnad om 15 öre per kWh, vilket innebär att hela energileveransen skall prissättas som om den kom från oljekondensanläggningen. Kraftleverantören kommer nu att erhålla ett betydande finansiellt överskott då endast en liten del av leveransen produceras i den dyra anläggningen medan hela leveransen prissätts efter 15 öre per kWh. Det är endast om detta överskott är större än producentens kostnad som det är lönsamt att bygga den nya anläggningen. Om behovet återigen minskar måste den kortsiktiga kostnaden också minska till det pris som gäller för den billigare anläggningen.

Ett problem kan uppstå om man ex. vis bygger en bro över ett vattendrag. Så fort bron finns kommer den kortsiktiga marginalkostnaden för ytterligare en överfart att vara mycket låg. Finansieras bron med vägavgifter innebär detta kanske att bron inte kan betalas enbart genom att sätta ett pris i enlighet med marginalkostnaden. Prissättning får då ske enligt en alternativkostnad, dvs den kostnad som trafikanten upplever om denne i stället måste ta färjan över sundet. Så länge priset är lägre för broöverfart kommer detta tillvägagångssätt att användas. Om broöverfarten är för dyr kommer en rationellt verkande trafikant att fortsätta med färjeöverfart.

Det nationella elnätet försörjs med hjälp av många olika kraftverk vilket innebär att den marginella kostnaden hela tiden kommer att variera. Då det finns svårigheter att förmedla den kortsiktiga kostnaden till kunden i varje stund har man istället infört sk tidsdifferentierade taxor där kostnaden sätts efter den tid på dygnet, och året, som elkraften tas i anspråk, se huvudrapporten sidan 20 och det där följande. Låt oss tills vidare anta att Göteborgs Energi AB köper elenergi från Vattenfall i enlighet med en korrekt taxa. Vid en viss tidpunkt kan detta innebära att Vattenfalls kortsiktiga marginalpris är högre än det pris som Göteborgs Energi AB själv skulle kunna producera el för. Om skillnaden är tillräckligt stor lönar det sig därför att producera egen el i exempelvis ett kondenskraftverk. Då det kommunala verket hela tiden har möjlighet att köpa el från Vattenfall är den alternativa kostnaden i alla tidpunkter känd.

Vid ren kondensdrift kommer c:a en tredjedel av bränslets värmeinhåll att resultera i electricitet medan två tredjedelar kommer att behöva kylas bort i kondensorn. Denom att höja temperaturen i kondensorn kan denna värme tas tillvara i ett fjärrvärmenät men samtidigt förloras tyvärr en del av den möjliga elproduktionen. Denna försämrade möjlighet borde vid en korrekt prissättning

belastas fjärrvärmekollektivet. Under vintertid behövs mycket el vilket innebär att marginalkostnaden för el är hög. Värmen från en kraftvärmeanläggning borde således vara mycket billig, då den utan fjärrvärmenätet måste kylas bort som spillvärme, se ex. vis referens [33]. Under vintertid kan man således betrakta den fjärrvärmeanslutna bebyggelsen som kylare till kraftverket.

Sommartid däremot behövs ingen el från kondensanläggningar, billig vattenkraft kanske räcker mer än väl, och den kortsiktiga marginalkostnaden blir låg. Bebyggelsen kräver dock fortfarande värme, om än i mindre grad, men denna måste nu produceras genom bränslen dock utan lönsam produktion av el. Detta innebär att priset på fjärrvärme borde vara högre på sommaren än under vintern. Motsatsen är för handen i dagsläget.

Vid en utbyggnad av en fjärrvärmeanläggning finns också stora kostnader för ledningsnät mm. Dessa kostnader borde belasta en abonnent som en fast kostnad vid anslutningen till anläggningen. Om delar av den fasta kostnaden i stället tas ut som ett rörligt pris per kWh kommer kunden inte att utnyttja fjärrvärmeverket på ett för leverantören optimalt sätt. En mindre mängd fjärrvärme kommer att kunna levereras än vad som vore önskvärt från strikt ekonomisk synvinkel. För fullständighetens skull skall det också nämnas att det finns författare som förordar en annan typ av prissättning, se ex. vis [50], men vi bedömer det som om dessa senare trots allt är i ett vetenskapligt underläge.

## FÖRHÅLLANDENA I GREVEGÅRDEN

Låt oss starta diskussionen vid slutanvändaren av energislagen el och fjärrvärme. Vad gäller el finns två abonnenter, dels det enskilda hushållet och dels Familjebostäder. Den enskilde kommer, under förutsättning att denne är en rationell konsument, att spara el om kostnaden för elektricitet är högre än kostnaden för att minska förbrukningen. De priser den enskilde ser utgörs av den eltariff som Göteborgs energi tillämpar, se huvudrapporten sidan 53. Kostnaden uppgår till c:a 50 öre per kWh. Med detta elpris borde vissa besparingsåtgärder vara lönsamma, ex. vis bättre kyl- och frysskåp samt lågenergilampor. Om konsumenten inte sparar betyder detta att denne inte ser sina verkliga kostnader eller att den alternativa användningen för de finansiella medlen har en högre prioritet. Ett problem är att det endast är en ringa del av elanvändningen som den enskilde har rådighet över, i alla fall om han eller hon samtidigt önskar utnyttja nyttan av elanvändningen. Belysning, TV-apparater, hushållsassistenten m.m. har en låg elförbrukning medan kyl- och frysanläggningen använder betydligt mera el. De senare anläggningarna inköps och bekostas av hyresvärden vilket innebär att hela hyreskollektivet drabbas om en ur energisynpunkt bättre men samtidigt dyrare, apparat väljs. Anläggningar av denna typ finns dessutom oftast redan installerade då hyresgästen tillträder sin lägenhet. Som vi ser det måste därför hyresvärden bedöma vad som är en rationell avvägning mellan investerings- och driftkostnad utan att hyresgästen kan påverka detta. Då det inte är värden som betalar elräkningen i det enskilda hushållet har sådana avvägningar ofta satts på undantag. På samma sätt förhåller det sig med spisar och annan fastare installerad utrustning. Det borde inte vara någon omöjlighet att i samverkan med hyresgäströrelsen och andra intressenter komma fram till ett val av apparater som närmar sig lägsta möjliga livscykelkostnad. Tyvärr är det väl så att hyresgästen värderar hyreskostnaden för lägenheten högre än kostnaden för el även om de beloppsmässigt är lika. Här finns således utrymme för informa-

tionsinsatser där hyresvärden måste påtala att hyresnivån är något högre än för allmännyttan som helhet men att elräkningen blir avsevärt mycket lägre, vilket innebär att hyresgästen trots allt tjänar på detta.

Göteborgs Energi AB kommer således att erhålla ett mindre totalt belopp för sin vara under förutsättning att konsumenten sparar el. Till viss del uppvägs detta av att försäljningen av fjärrvärme kommer att öka då mängden tillgänglig gratisenergi i byggnaden kommer att minska. Ett annat exempel härpå är en varmvattenansluten disk- eller tvättmaskin där värmen till stor del kommer från fjärrvärmenätet. Frågan är nu om Göteborgs Energi tycker att detta är en bra lösning. Om det är så att kostnaden för elproduktion eller inköp av el överstiger den summa konsumenten får betala skulle energiverket tjäna på att konsumenten sparade. Vi tror dock att förhållandet är det omvända dvs att elleverantören i stället tjänar pengar på leverera el, se ex. vis på den stora skillnad mellan kostnaden för inköpt el och levererad el, sidorna 53 och 70. Inköpt el kostar mellan 8 och 23 öre per kWh medan den levereras för 50 öre kWh. I det senare priset ingår dock skatter men marginalerna synes ändå vara stora. Som vi ser det finns det därför idag inget ekonomiskt incitament för Göteborgs Energi AB att medverka till ett sparande.

I eltaxan finns dessutom effektagifter som uppgår till 235 SEK per kW under månaderna november till mars, vid leverans från Vattenfall till Göteborgs energi. Hushållskonsumenten har inga sådana avgifter vilket innebär att inget som helst incitament finns att spara på möjligt effektuttag. Vid installationen av elkablage mm i lägenheten bestäms vilken säkringsstorlek som skall tillämpas. En lägre storlek innebär en lägre kostnad men den enskilde konsumenten har inte heller här någon reell möjlighet att påverka situationen. Vad vi känner till har inte heller någon hyresgäst påtalat en önskan att erhålla mindre säkringar. Detta beror dessutom till stor del på att man inte känner till vilken effekt som verkligen är nödvändig och än mindre vet att det skulle kunna vara möjligt att sänka abonnemangsavgiften. Energiverket har redan byggt ut sina anläggningar utifrån installerade säkringsstorlekar i byggnaderna. Om hyresgästerna skulle önska en minskad säkringsstorlek skulle således Göteborgs Energi erhålla lägre intäkter för redan nedlagda investeringar. Något incitament för ett lägre effektbehov finns således inte heller här.

En möjlighet att påverka effektbehovet skulle kunna vara att dimensionera anläggningen så att konsumenten utan besvär skall kunna använda huvuddelen av sina elektriska apparater utan besvär men att alla anläggningar inte skall kunna användas samtidigt. Man skulle i så fall behöva komplettera elinstallationen med en effektvakt så att ex vis spisen eller frysskåpet slår ifrån en kortare stund då en effekttopp är för handen. Om kostnaden för en sådan apparat är lägre än den vinst man uppnår genom en lägre säkringsavgift skulle detta vara lönsamt. Energiverket skulle också tjäna på ett sådant förfarande under förutsättning att metoden var känd redan i utbyggnadsskedet. Konsumenten skulle därför dessutom kunna erhålla ett ytterligare bidrag då det är en uppoffring som sker.

Som vi ser det finns således inte några, eller i vart fall mycket små incitament för såväl den enskilde, pga okunskap eller brist på möjligheter att påverka, som för energiverket, då detta förlorar pengar, att förändra den nuvarande situationen i gränssnittet mellan hushållskund och Göteborgs Energi AB.

Förhållandena är likartade i snittet mellan Familjebostäder och energiverket. Skillnaden består främst i att bostadsföretaget har avsevärt mycket stör-

re apparater som drivs med el. En ombyggnad av tvättstugor och en minskad elanvändning i ventilationssystemet visar på god lönsamhet. Det är dock mycket viktigt att samma komfort som tidigare upprätthålls för hyresgästen. Om denne känner att förhållandena blir sämre, t. ex. en lägre grad av ventilation, accepteras inte detta då han eller hon inte ser någon minskad kostnad i hyressättning. Detta beror i stor utsträckning på det nu tillämpade systemet med bruksvärdeshyror. Hyran bestäms inte, annat än i ringa grad, av den standard bostaden har utan istället av en genomsnittlig nivå i allmännyttiga bostadsområden. En lägre standard innebär således inte omedelbart en lägre hyra och därför ses varje förändring till det sämre som en ren uppoffring. Det är således viktigare för bostadsföretaget att upprätthålla den befintliga funktionen på apparaterna än att göra förändringar som leder till omfattande klagomål. Förutsättningarna för att ett elsparande ändå kommer igång är här dock större då såväl anläggningar och driftkostnad ligger under samma ansvar. Hur anläggningarna brukas råder man dock endast i begränsad omfattning över.

Användningen av fjärrvärme betalas oftast av hushållen som kollektiv. Den enskilde ser därför ingen direkt koppling mellan en lägre inomhustemperatur och en minskad värmeräkning. Incitamentet att spara blir därför lågt. I många lägenheter har man därför värdringsfönster öppna dygnet runt samtidigt som elementen levererar full värme. Höga inomhustemperaturer är också vanliga. Om hyresvärden installerar strypventiler mm för att minska användningen av värme leder detta ofta till omfattande klagomål då man anser att man inte kan upprätthålla önskad inomtemperatur. Termostatventiler ger ofta sämre lönsamhet än väntat, dels pga dålig reglerförmåga, men dessutom beroende på att de ställs så att de är maximalt öppna hela tiden. Några incitament för att spara värme finns således ej för den enskilde hyresgästen.

Hyresvärden kan genom ombyggnationer och genom att installera mer sofistikerad värmeutrustning få ner användningen av fjärrvärme. Vanligen belastas dock inte värden med kostnaden för värmen då det är hyresgästerna som kollektivt som betalar värmen. Inte heller här finns det således något större incitament till besparingar. En mera omfattande ombyggnation resulterar dessutom oftast i ett annat hyresläge vilket gör att energisparåtgärder sällan kommer till stånd. Detta har, och är, ett stort problem inom bostadsrättsföreningar där den enskilde innehavaren kan påverka besluten vid föreningens möten.

I de beräkningar som utförts till grund för huvudrapporten visas dessutom att endast ett fåtal sk ROT - åtgärder är lönsamma, se sidan 42, nämligen treglasfönster och tätning. Om det svenska bostadsfinansieringssystemet används kommer dessutom en tilläggsisolering av ytterväggarna samt en frånluftvärmepump att falla in i den optimala lösningen, sidan 50. Här finns således ett incitament till sparande av fjärrvärme med nuvarande taxa men detta förutsätter att man kan behålla fastighetsägaren som fjärrvärmekund samt att det är fastighetsägaren som betalar hela räkningen. Den bästa lösningen som hittades var i stället ett sk bivalent system med en värmepump och en oljepanna som i samverkan svarar för husets värmeförsörjning. Väljs denna den billigaste lösningen kommer en isolering av ytterväggarna samt frånluftvärmepumpen att återigen falla bort från den optimala strategin även om det statliga lånesystemet tillämpas.

Frågan är då om det är önskvärt att fjärrvärmekunden sparar värme. Svaret torde återigen bli nej, åtminstone om kommunen bygger ut sitt kraftvärmeverk. Som vi diskuterat ovan, kommer kommunen under höglast vintertid att kunna

producera el billigare än vad man kan köpa den för från Vattenfall, sidan 77 i huvudrapporten. Under samma tidssegment måste då den marginella kostnaden för värmen bli utomordentligt låg, kanske under 5 öre per kWh. Under elanvändningens låglastperiod är priset på el avsevärt mycket lägre och det lönar sig därför inte använda kraftvärmeverket. Värmebehovet kräver nu att kol tillgrips på marginalen till en antagen kostnad om c:a 11 öre kWh, huvudrapporten sidan 75. Notera att konsumentpriset på fjärrvärme i samma stund är 30.6 öre varav en del dock är skatt. Som vi ser det finns det därför inget ekonomiskt incitament för Göteborgs Energi AB att subventionera eller ta initiativet till åtgärder för att konsumenten ska spara fjärrvärme. Sammanfattningsvis kan sägas för snittet mellan slutkonsument och energiverk att det finns incitament för ett sparande både på el och värme men att det ofta på grund av bl a administrativa orsaker inte kommer till stånd. Genom att ett kollektiv betalar ser inte konsumenten ett direkt samband mellan åtgärd, ex. mindre vädring, och verkan som borde ge en lägre värmeräkning. Slutkonsumenten av el kan heller inte annat än i undantagsfall påverka inköpet av utrustning till hushållet för att erhålla en lägre elräkning.

Det andra kostnadssnittet som måste studeras är det mellan energiverket och råkraftleverantören. Den taxa som tillämpas här speglar bättre de verkliga kostnaderna för att producera energin, i detta fallet el. Sommarpriset är avsevärt mycket lägre än vinterpriset vilket speglar verkliga förhållanden. Vi har dock inte kunnat bedöma om prisnivån är relevant men det synes som om elanvändningen under kvällstid från ex. vis 1900 till 2200 prissätts för högt då elanvändningen i riket då torde ha minskat så att inte de dyraste produktionsanläggningarna behöver användas. Å andra sidan finns tidssegment där priset är för lågt, ex. vis under korta belastningstoppar. Kommunen erhåller således ett överskott vid försäljning av el till konsumenterna. En minskad elanvändning hos dessa motsvaras därför troligen inte av en motsvarande sänkning av energiverkets kostnader. Detta skulle i så fall innebära att inget ekonomiskt incitament finns för att verket skulle gå in med några investeringar för att spara el. Den optimala lösning som togs fram enbart för produktionsidan, sidan 77 i huvudrapporten, visade sig gälla även för det fall då energiverket hade möjlighet att införa besparingsåtgärder. Några åtgärder kom dock ej att ingå i den optimala lösningen även om man endast tar hänsyn till energiverkets kostnader, och ingen intäkt från försäljning medräknas.

Ovan har främst beskrivits inverkan av energisparåtgärder och det visades att incitamenten för att spara energi är mycket måttliga. Det finns dock en möjlighet att brist skulle kunna uppstå någonstans i systemet. Bristkostnaden borde främst framgå av den avgift man betalar för antingen säkringsstorlek eller som effektavgift. Det är med denna utredning som grund svårt att avgöra om effektavgifterna ligger på en lämplig nivå. Andra utredningar [51] visar dock att avgiften borde tre- eller fyrdubblas innan den får någon inverkan på en optimal lösning.

## MILJÖAVGIFTER

På senare tid har stadsmakterna infört vissa sk miljöavgifter ex. vis koldioxidskatt på värmeproduktion. Dessa innebär att energipriserna till slutkonsumenten kommer att öka, i vart fall till vanliga hushållskunder. Ytterligare miljöavgifter och då också på el, kommer att öka priset ytterligare vilket innebär

att incitamenten för besparingar på energianvändningen också kommer att öka. I denna rapport har inte detta undersökts närmare men det är uppenbart att ett massivt införande av miljöavgifter, ex. vis sådana som fördubblar energipriset, kommer att inverka positivt på benägenheten att spara energi. Vi ser det dock som olyckligt att endast hushållskonsumenter drabbas i någon nämnvärd omfattning vilket är fallet idag. Industrins energianvändning är ju i dagsläget befriad från ex. vis moms. Vid arbete inom andra projekt har vi nämligen funnit att det ofta är avsevärt mycket enklare att nedbringa industriens användning av el och till lägre kostnader än de som är för handen inom bostadssektorn. Statsmakternas direktiv försvårar således detta.

## EG - PERSPEKTIV

Sverige har lämnat in en ansökan om medlemskap i den europeiska gemenskapen. Detta innebär friare rörelser för handelsvaror. En sådan handelsvara kommer att bestå av elektricitet. Just nu projekteras en kraftledningskabel mellan södra Sverige och norra Tyskland och flera projekt är under diskussion. Som vi förstår det kan elbehovet inom EG betraktas närmast som ett "svart hål", d.v.s. det finns ingen möjlighet för Sverige att påverka behovet annat än marginellt. En export av el från Sverige till EG kommer därför att leda till att priset för alternativanvändningen av el kommer att öka framför allt under den varmare årstiden. Inom EG används ju en avsevärd del av elanvändningen för kylmaskiner och samma uppdelning i vinter- och sommarlast som finns i Sverige låter sig inte göras. Sveriges möjligheter till export är dessutom alltför liten för att kunna påverka prissättningen inom EG i någon större grad. Detta innebär därför att Sverige kommer att kunna få avsättning för billig sommarel till avsevärt högre priser än vad som nu är fallet. Kraftleverantörerna kommer därför hellre att sälja el till EG där priset är högt än att sälja inom Sverige. Elpriserna inom vårt land kommer därför att öka, se bl a [ 52 ] . Vid en diskussion mellan Göteborg Energi AB och författarna föreslogs att man skulle göra en fördjupad studie av Grevegården och därvid använda de elpriser som tillämpas i det forna Västtyskland. Man skulle på detta sätt erhålla indikationer på vilka energisparåtgärder som faller ut då Sverige blir medlem i EG.

## FÖRUTSÄTTNINGEN FJÄRRVÄRME

Som nämndes i huvudrapporten, sidan 43, ingick som en förutsättning i studien att fjärrvärme skulle användas även i framtiden. Detta även om något annat värmesystem skulle vara billigare för fastighetsägaren med nuvarande taxa. Som också visades skulle ett bivalent värmesystem, dvs ett där en värmepump svarar för baslasten och en oljepanna svarar för topplasten, bli billigare för Familjebo-städer. Att förhållandena blir sådana beror på "felaktigheter" i taxsystemet. I verkligheten är fjärrvärme troligen det bästa systemet sett ur samhällets synvinkel, i alla fall om kraftvärmen byggs ut. Om värmen i nätet prissätts på ett korrekt sätt, dvs efter kortsiktig marginalkostnad, innebär detta ett så lågt pris på fjärrvärmen att det bivalenta systemet inte skulle kunna konkurrera. Det "riktiga" värmepriset innebär dessutom att inga sparåtgärder överhuvudtaget skulle bli lönsamma varför även de åtgärder som befanns vara lönsamma i figurerna 3.1 eller 5.1 skulle falla ur den optimala strategin. De incitament till sparåtgärder som finns med nuvarande fjärrvärmetaxa skulle således försvinna.

## STATLIGT BOSTADSSTÖD

Som visats i figur 5.1 i huvudrapporten kommer både en frånluftvärmepump och en tilläggsisolering av ytterväggarna att falla in i den optimala lösningen om det nu gällande bostadsfinansieringsstödet tillämpas. Det lönar sig därför för Familjebostäder att tillgripa fyra olika sparåtgärder i enlighet med figuren. Under förutsättning av en kraftvärmesituation kommer således fastighetsägaren att tillgripa en strategi som avsevärt sänker fjärrvärmeanvändningen, medan elanvändningen kommer att öka p.g.a. frånluftvärmepumpen. Ur samhällets synvinkel måste detta vara felaktigt då den kortsiktiga marginalkostnaden för fjärrvärme är så låg. Bostadsstödet kommer således att öka incitamenten att spara värme men kostnaden för detta uppvägs inte av de samhälleliga vinsterna härav.

Några speciella stödformer för att uppmuntra ett sparande av el finns inte vad vi vet. Om åtgärderna kan inrymmas i låneunderlaget finns dock möjligheter till räntebidrag men sparåtgärderna får då ingå som en del i övrig upprustning. Någon möjlighet till höjning av underlaget för elsparåtgärder finns inte. Resonemanget ovan visar att det främst är el som samhället borde spara medan värmen i ett kraftvärmenät är förhållandevis billig. Bostadsstödet verkar således här i omvänd riktning då det subventionerar en ökad elanvändning, pga av frånluftvärmepumpen, samtidigt som kraftvärmens värmeunderlag reduceras. Incitamenten finns således för att spara energi men av fel form.

## HYRESRÄTTEN SOM UPPLÅTELSEFORM

Som inledningsvis diskuterats i denna bilaga ger hyresrätten som upplåtelseform inga eller låga incitament för el- eller värmesparande. Detta beror främst på att hyreskollektivet betalar räkningen för värme och fastighetsel och att hyresrättsinnehavaren inte i någon nämnvärd grad kan påverka vilka apparater som ingår i köks och tvättutrustning. En energisnålare diskmaskin kostar kanske mera än den standardmodell fastighetsägaren valt vilket innebär att hyran kommer att höjas med ett känt belopp medan man inte klart kan avgöra den minskning av elräkningen den nya apparaten medför.

Systemet med en fastställd hyresnivå enligt bruksvärdet medför också att utrymmet för hyreshöjningar är låga även om kostnaderna minskar för hyresgästen totalt. För att öka incitamenten till, främst elsparande, borde man därför försöka få en förändring till stånd i de vanliga upplåtelseformerna. Detta är troligtvis ingen trivial uppgift men som vi ser det torde inledande diskussioner med hyresgäströrelsen vara en angelägen åtgärd.

## KRAFTVÄRMESITUATIONEN

Som vi beskrivit i huvudrapporten, bl. a. på sidan 85, kommer troligen inga besparingsåtgärder på värmesidan med undantag för mycket billiga sådana, att vara optimala sett ur samhällets synvinkel. Kostnaderna för åtgärderna överstiger vanligen avsevärt de minskade kostnaderna för att producera ytterligare värme. Detta gäller framför allt under ellastens högpristid då värmen från kraftvärmeverket nästan kan betraktas som spillvärme.

Besparingsåtgärder på elsidan visar en högre grad av lönsamhet men inte heller här befanns det vara möjligt att erhålla en lägre livscykelkostnad för

systemet som helhet med de priser mm som antagits gälla. Om marginalkostnadsprissättning genomförs från råkraftleverantören kommer åtminstone under korta belastningstoppar priset för elenergin att öka drastiskt. Andra utredningar visar att ett energipris på 40 SEK/kWh kan vara för handen om råkraftleverantören måste bygga nya produktionsenheter eller öka sin leveranskapacitet. En strikt prissättning enligt marginalkostnad kommer således att ge utomordentliga incitament till elsparande under tidsegment då detta verkligen behövs. Utrustning som ser till att toppbelastningarna minskar kommer därför att vara mycket intressanta. För att prissignalerna skall kunna förmedlas och dessutom initiera åtgärder måste elbesparingsåtgärderna på något sätt prioriteras så att endast utrustning som kan stängas av under kortare tid påverkas. Kunden måste bli medveten om kostnaden och elleverantören måste få kännedom om vid vilken kostnadsnivå man kan stänga av ex. vis värmning av vatten i en tvättmaskin.

## SAMMANFATTNING OCH FÖRSLAG

Under förutsättning att en fungerande fri marknad för el kommer igång inom det framtida EG där Sverige är medlem, kommer således en export av el att ske från Sverige. Samtidigt kommer vi att importera gemenskapens priser som t. ex. i det forna Västtyskland är dubbelt så höga som våra. Per capitaförbrukningen av el är dessutom hälften av den i Sverige vilket är ett bevis för en viss priskänslighet. Ju dyrare el ju mindre förbrukas. Då denna friare marknad för el finns kommer såväl Vattenfall som Göteborgs Energi AB att kunna sälja el till högstbjudande. Det finns således ingen anledning till motsättningar mellan sparande och försäljning. Den el som inte går åt inom landet kan hela tiden säljas utomlands och till de priser som gäller för marknaden.

Husen i Grevegården kommer att finnas kvar utan större renoveringsbehov under den närmaste femtioårsperioden varav Sverige i 45 år kommer att vara medlem i EG. Det finns således all anledning att införa åtgärder nu vilka svarar mot de priser vi kommer att ha i framtiden. Vi föreslår därför att ett projekt inleds där beräkningar sker efter de priser som gäller i Västtyskland idag. Samtidigt föreslås att nya elektriska installationer genomförs i två hus där apparater mm valts ut med utgångspunkt från ett livscykelkostnadsperpektiv och där EG - priser tillämpats.