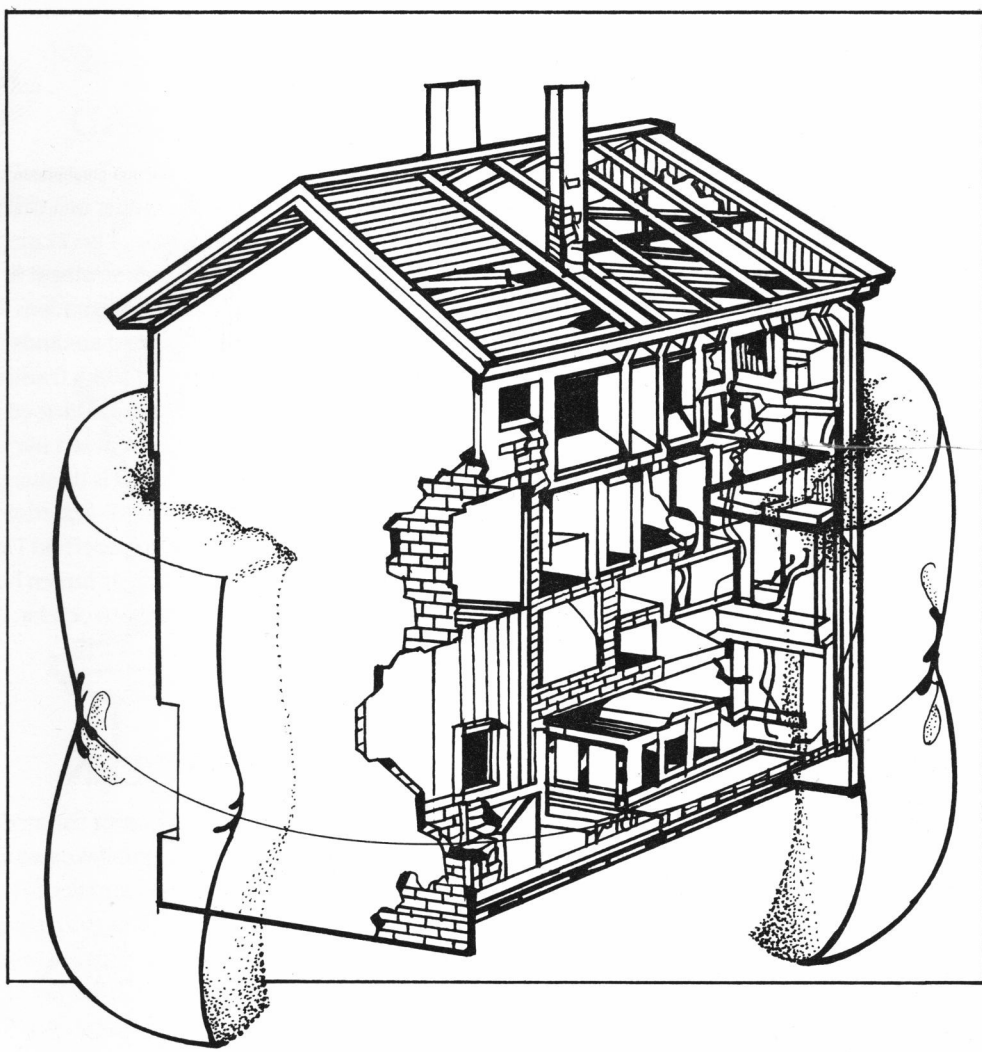
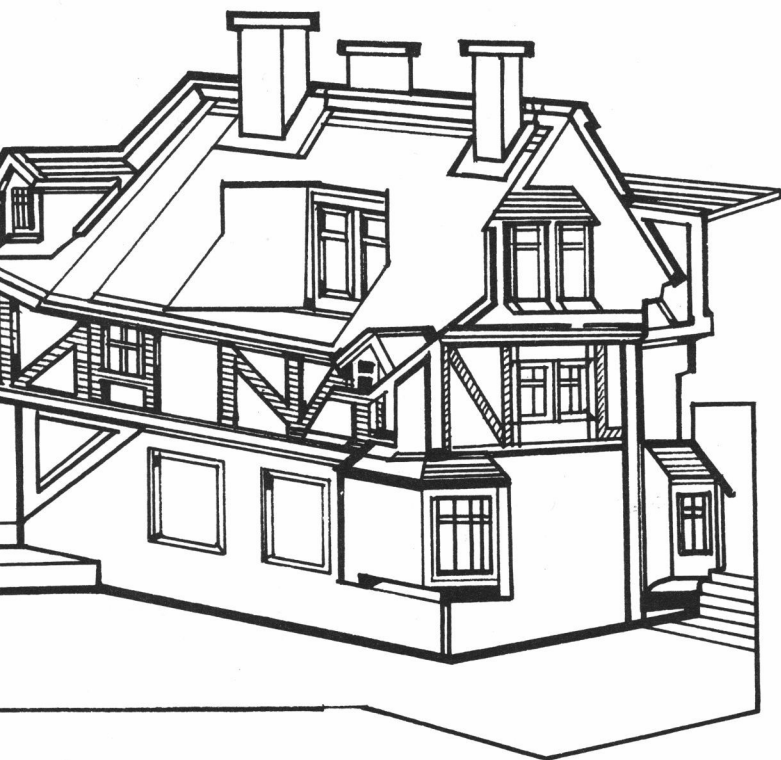


ENERGI

MINIMERING AV LIVSTIDSKOSTNAD VID HUSRENOVERING



TEKNISKA HÖGSKOLAN I LINKÖPING
BYGGFORSKNINGSRÅDET
MALMÖ STAD FASTIGHETSKONTORET
MALMÖ ENERGIVERK



INTRODUKTION

När en byggnad skall renoveras, finns det möjlighet att förändra huset som energisystem. Det är emellertid viktigt att välja en strategi som minimerar den återstående livstidskostnaden, LCC, för byggnaden. Statens Råd för byggnadsforskning och Malmö Kommun har därför finansierat ett forskningsarbete, vid Tekniska Högskolan i Linköping, som syftar till att utveckla en metod för att hitta denna optimala strategi. Inom projektet, som startade våren 1985, samarbetar högskolan med en grupp byggföretag, som är verkamma i hela Sverige. Här presenteras det första resultatet från vårt arbete. Det gäller två byggnader, ägda av ABV resp Svenska Riksbyggen AB.

LIVSTIDSKOSTNAD

Livstidskostnaden, LCC, för en byggnad består av byggnadskostnader, installationskostnader och driftkostnader inkl energikostnaden under husets livstid. I beräkningsprogrammet har vi utgått ifrån att den optimala strategin är att minimera den totala livstidskostnaden över byggnadens återstående livstid. För beräkning av denna kostnad används nuvärdemetoden. Denna innebär, att alla aktuella och framtida kostnader räknas om till värdet idag, dvs nuvärdet. Därmed kan kostnadsjämförelse göras över alla utgifter oavsett när under livstiden de görs. I programmet redovisas dels de energirelaterade livstidskostnaderna utan att några ROT-åtgärder vidtagits, dels beräknar programmet vilken spareffekt i kronor resp åtgärd medför. Av det följande framgår hur en beräkning är genomförd i två hus i kv. Hövitsmannen och kv. Jämtland i Malmö.

OPERA-MODELLEN

De inmatade parametrarna för modellen består av byggnadsgeometrin, byggnadskostnader för olika ombyggnader, installationskostnader för de uppvärmningssystem som kan komma ifråga, energitariffer, klimat, mm. Resultatet från modellen presenteras i några tabeller där påverkan från kalkylränta, optimeringstid osv tagits med i beräkningen. I tabellerna framgår LCC för byggnaden ifråga och besparingar från lönsamma åtgärder. Den bästa lösningen framgår också och även resulterande energibehov, mm. Genom små förändringar i programmeringskoden är det möjligt att få information om den bästa möjliga strategin och lösningen kan studeras i detalj. Modellen och nödvändiga indata framgår av det följande.

OPERA, BERÄKNINGSMODELL FÖR OPTIMERING AV ENERGIHUSHÅLLNINGÅTGÄRDER VID OMBYGGNAD.

OPERA, är en förkortning för "Optimal Energy Retrofit Advisory model". Modellen är en metod för livstidskostnadsanalys som ger oss möjlighet att bedöma hur en byggnad skall åtgärdas så att husets energirelaterade kostnader minimeras för dess återstående livstid. Programmet beräknar således vilken kombination av åtgärder på såväl klimatskärm som installationer, som blir billigast i längden. Utvecklingsarbetet har utförts på Linköpings tekniska högskola vid avdelningen för energisystem med stöd från Malmö kommun och Byggforskningsrådet. Modellen har också testats i samverkan med byggföretagen ABV, BPA, JCC, Kullenberg, SIAB, Skanska och PEAB på fastigheter inom ROT-programmet i Malmö.

I beräkningsmodellen, som är datorbaserad, räknar programmet igenom alla alternativa val och hittar den optimala lösningen. Det går inte att hitta någon annan kombination av de undersökta åtgärderna som blir billigare totalt. Naturligtvis finns det osäkerhetsfaktorer, t ex framtida energipriser, men klart är att beslutsunderlaget blir väsentligt bättre och mera heltäckande än med många andra urvalsmetoder. Genom att ansätta t ex olika realprisökningar, får man som resultat en känslighetsanalys av vad förändringar i energipriset betyder och man kan därmed bättre gardera sig för framtiden.

HUSET SOM ENERGISYSTEM

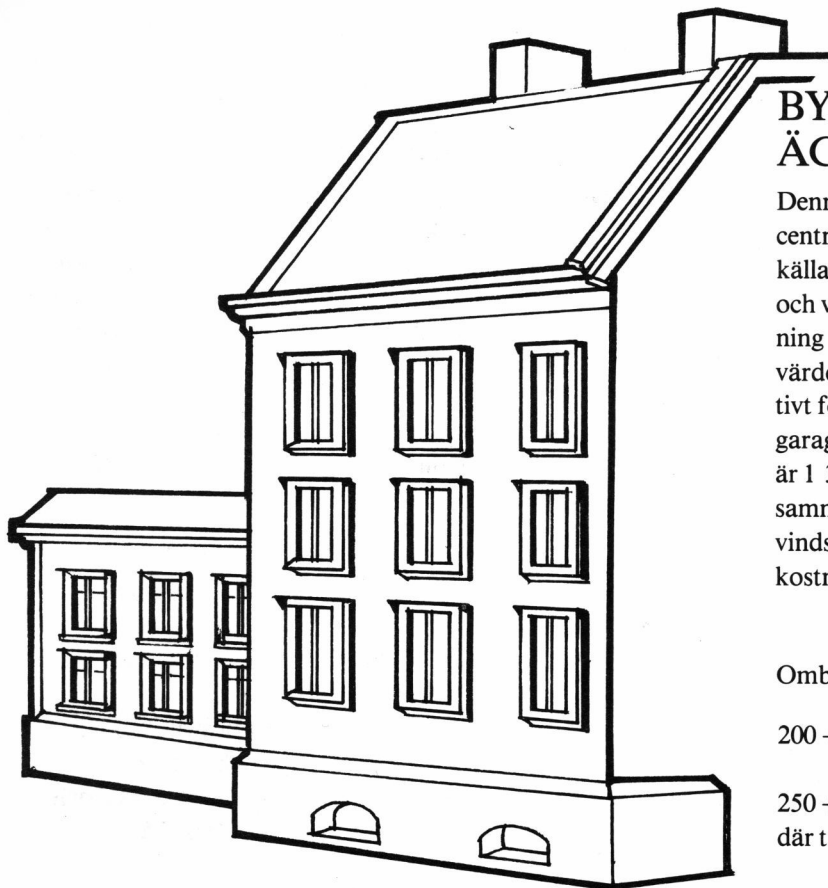
Vid studier av en byggnad är det ett villkor att huset betraktas som ett energisystem där utsidan av husets ytterskal utgör en systemgräns gentemot omgivningen. Vid kostnadsförhållanden, då en viss komfortnivå skall hållas, balanseras värmeförlusterna från systemet av den effekt som tillförs. Vid en optimering av energisystemet är det följande 8 parametrar som fastighetsägaren kan påverka och förändra:

- verkningsgrad för installerad uppvärmningsanordning
- "gratis"-bidrag från solinstrålning, hushållsel, mm.
- värmegenomgångstal, k-värde för samtliga omslutningsytor, även fönster
- storlek på omslutningsytor
- inomhustemperatur
- nettoventilationsflöde
- tappvarmvattenflöde
- temperaturhöjning för tappvarmvatten.

Att minimera den inköpta energin för uppvärmning av det renoverade flerfamiljshuset är dock inte målet.

Alla förändringar medför kostnader och detta måste beaktas i totaloptimeringen. Ett mycket väl isolerat och "energiåtgärdat" hus kan t ex ha mycket låga energikostnader, medan kostnaderna för genomförda åtgärder mycket väl kan överstiga energibesparingen. Denna syn på totaloptimering beaktas i OPERA, där uppgiften är att optimera huset med avseende på alla energirelaterade kostnader.





BYGGNAD 1. HÖVITSMANNEN 6, ÄGARE ABV

Denna byggnad från 1934 består av 18 lägenheter och ligger i centrala Malmö. Huset har tegelfasad medan grunden och källaren är av betong. Det finns ett ganska stort garage under och vid sidan om själva huset. Detta garage får sin uppvärmning från samma panna och det är därför svårt att få några värden betr energibehov osv som skulle kunna vara representativt för ett flerfamiljshus i Malmö. Vi har därför uteslutit garaget från beräkningarna. Den sammanlagda lägenhetsytan är 1 308 kvm. Utöver källaren finns det 5 våningar. Den sammanlagda glasytan är 160 kvm tvåglasfönster. K-värde för vindsbjälklag och ytterväggarna är 0.9 och 1.2 (W/m²K). Alla kostnader har tagits fram av ägaren.

Ombyggnadskostnaden är:

$200 + 475 \cdot t_{af}$ kr för isolering av vindsbjälklag/m²

$250 + 2500 \cdot t_{ew}$ kr för isolering av yttervägg/m²,
där t står för den nya isoleringens tjocklek i meter.

I detta fall finns inget oundvikligt reparationsbehov och siffrorna ovan visar därför bara den antagna isoleringskostnaden.

Kostnaden för byte av fönster är:

1300 kr för tvåglasfönster

2250 kr för treglasfönster

2650 kr för fyrglasfönster.

Tätning av fönster och dörrar kostar

200 kr för ett fönster.

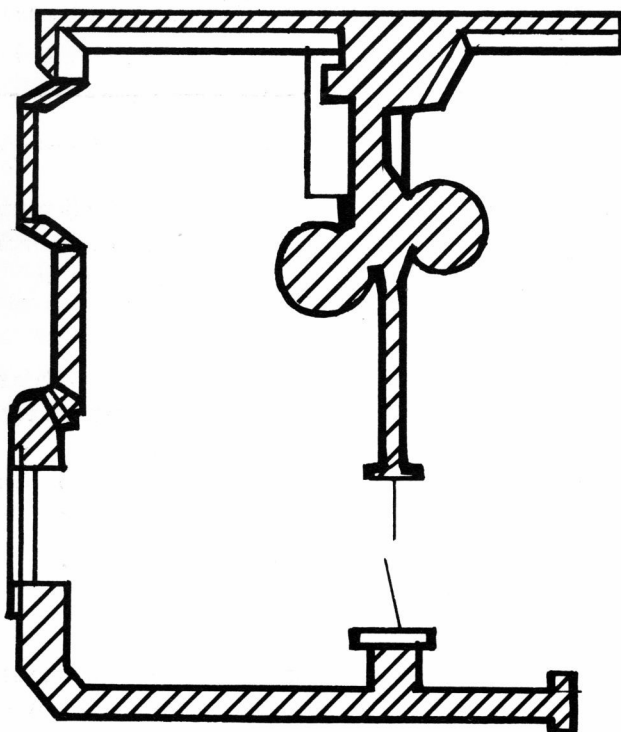
En frånluftsvärmepump kostar ca:

$30\,000 + 6\,000 \cdot P$ kr

där P betecknar pumpens värmeeffekt i kW. Ledningar mm som kopplas till pumpen beräknas kosta 2 000 kr per lägenhet.

Kostnaderna för de olika uppvärmningsutrustningarna är:

$30\,000 + 200 \cdot P_{OB}$ kr	för en ny oljepanna
$25\,000 + 150 \cdot P_{EB}$ kr	" elpanna
$30\,000 + 70 \cdot P_{DH}$ kr	" värmeväxlare, fjärrvärme
$30\,000 + 6\,000 \cdot P_{HP}$ kr	" värmepump



BYGGNAD 2. JÄMTLAND 9, ÄGARE SVENSKA RIKSBYGGEN AB

Detta objekt består av 2 byggnader med 105 lägenheter och en totalyta på ca 6 500 kvm. K-värdet för väggen, vindsbjälklaget och golvet är 0,91, 0,55 och 0,83 W/m²,K. Fönsterna är tvåglas med K-värde 3,0 W/m², K. Byggnadsåret är 1956. De utvändiga väggarna är tegel, vindsbjälklaget betong och mineralull och källarbjälklaget av betong med träullsplattor. Byggnaderna värms med fjärrvärme och värmesystemet har en effekt på 570 kW för uppvärmning och 670 kW för varmvatten. Det totala energibehovet under 1985 var 1,4 GWh, en aning mindre än beräknat.

Ombyggnadskostnaderna för de olika åtgärderna är:

200 + 200*T _{af} kr	för isolering av vindsbjälklag/m ²
350 + 300*T _{cw} kr	'' yttervägg ''
1000 + 800*A _w kr	för ett tvåglasfönster, area = A _w m ²
1100 + 900*A _w kr	'' treglasfönster ''
1200 + 1200*A _w kr	'' fyrglasfönster ''

Tätning av fönster och dörrar kostar 200 kr/fönster, etc., och en frånluftsvärmepump kostar ca 30 000 + 3 000*P kr.

Kostnader för värmesystemen är:

50 000 + 350*P _{OB} kr	för oljepannor med effekten P _{OB}
20 000 + 100*P _{EB} kr	för elpannor med effekten P _{EB}
100 000 + 400*P _{DH} kr	för fjärrvärme med effekten P _{DH}
150 000 + 3000*P _{HP} kr	för värmepumpanordningar, effekt P _{HP}

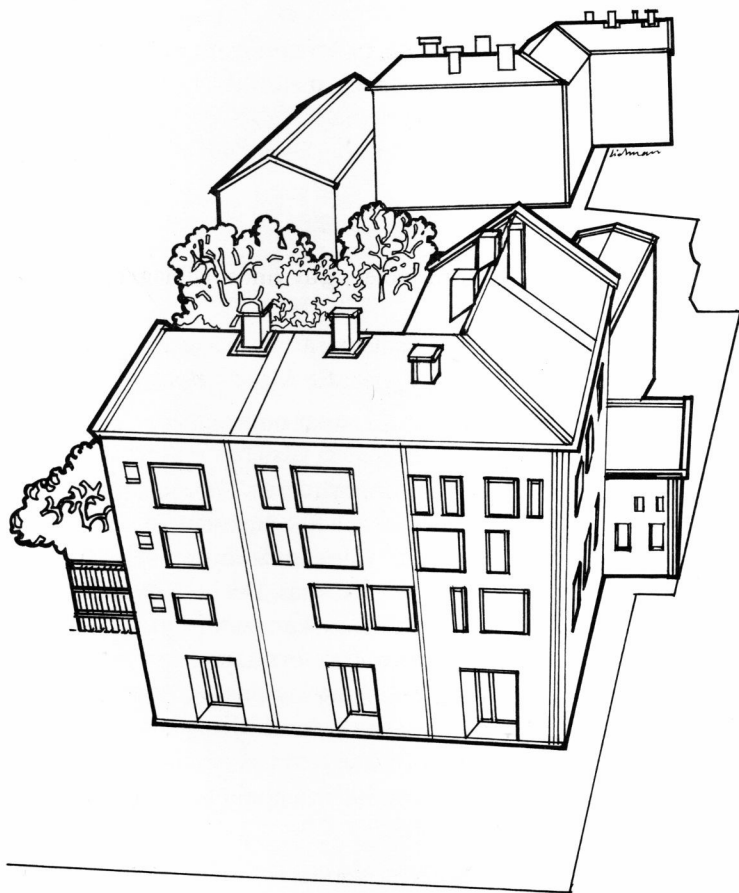
Det bör noteras att den höga fasta kostnaden för oljepannan ovan beror på att en skorsten som var i mycket dåligt skick måste renoveras. Alla kostnader och uppgifter ovan har tillhandahållits av fastighetsägaren.

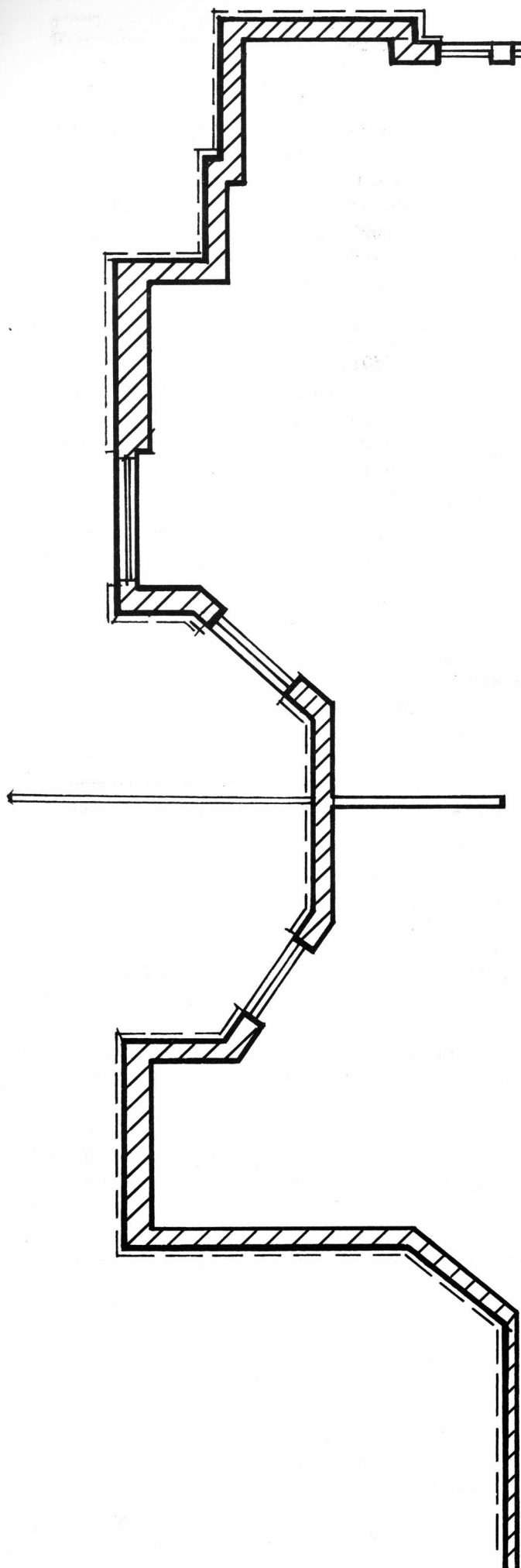
Det är naturligtvis omöjligt att visa all inmatning av data som ligger till grund för beräkningarna och vi rekommenderar den som är intresserad

av mer detaljerad information att kontakta projektansvariga (se folderns baksida).

ENERGIKOSTNADER, OLIKA TAXOR, ETC

I tabellerna nedan har LCC för olika värmesystem räknats ut. Energikostnaden för byggnaden skiljer sig sålunda beroende på utrustningen. Oljepriset som vi använde oss av var 0,24 SEK/kWh med beaktande av pannans effektivitet. Elpriset beror på årstiden och tiden för förbrukningen. Energiverken har en differentierad taxa. Medelkostnaden under ett år är ca 0,30 SEK/kWh, inkl skatt. Priset på fjärrvärme beror på samma sätt av årstiden. Vinterpriset är ca 20 öre/kWh och sommarpriset är 10 öre/kWh. Medelvärdet på fjärrvärmeenergi för ett år är ca 0,20 SEK/kWh. Värmepumpen har en antagen COP = 3,0 och sålunda blir energikostnaden ca 0,10 SEK/kWh.





Ekonomiska parametrar, klimat etc

LCC beräknas genom att använda nuvärdesmetoden.

Denna metod måste emellertid använda den verkliga kalkylräntan och optimeringstiden. Tyvärr finns det inga bestämda värden för dessa parametrar, men av de flesta rekommendationer framgår det att kalkylräntan befinner sig inom intervallet 3-10%, exkl inflationen. Den verkliga optimeringstiden kan heller inte fastställas med säkerhet, men påverkan från händelser som ligger mycket långt fram i tiden är mycket små och sålunda ändras den optimala ombyggnadsstrategin mycket litet om den optimala tiden ändras från t ex 50 till 70 år.

Dessa två objekt ligger i Malmö, och antalet gradtimmar kan beräknas till 105 000. Detta minskas emellertid genom den gratisenergi man får genom solvärme och bidrag från hushållsel och följaktligen får man beräkna efter ett mindre antal gradtimmar.

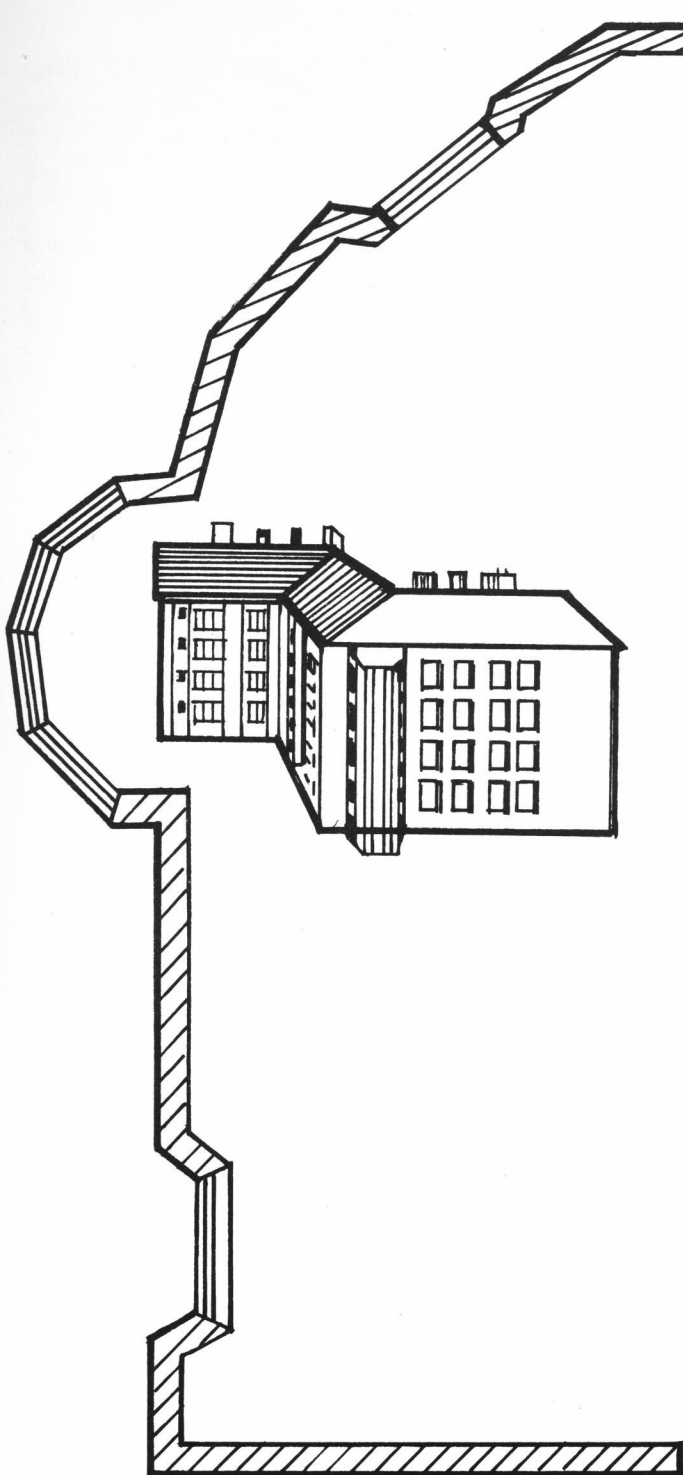
Problemen som tas upp ovan är inte lätta att lösa och därför måste vi studera strategin för några olika inmatade parametrar dvs en känslighetsanalys måste göras.

Resultat

Resultatet av kalkylerna visas här i två tabeller. Det första värdet i dessa visar LCC utan att någon ombyggnad alls genomförs i dagsläget. Därefter visas vilka belopp som sparas under optimeringstiden för Rot-åtgärderna. Om summan = 0 befanns åtgärden vara olönsam och Rot-åtgärden förkastas. Den optimala lösningen för det existerande värmesystemet kan därför hittas och resulterande LCC visas. Det hela upprepas sedan för de andra värmesystem som kan komma ifråga och lägsta LCC kan hittas i tabellen. Den första tabellen visar situationen för ett basfall där optimeringstiden är 50 år, kalkylräntan är 5%, den årliga energiprishöjningen är 0% och antalet gradtimmar är 105 000. Detta visar situationen i Malmö utan att man tar hänsyn till den gratisenergi man får från människor och hushållsel.

Tabell 1. LCC och besparingar för objektet Hövitsmannen 6. Siffror i 10⁶ kr. Basfall.

	Olje-panna	El-panna	Fjärrvärme.	Värme pump	Kombinerad oljepanna/värmepump
LCC utan åtgärder	1.71	1.96	1.30	2.01	1.53
Besparing					
Isolering vindsbjälklag	0.03	0.06	0	0.07	0
Isolering yttervägg	0	0.06	0	0.08	0
Fyrglasfönster	0.09	0.15	0.04	0.17	0.07
Tätning	0.16	0.21	0.11	0.25	0.14
Frånluftsvärmepump	0	0	0	0	0
Nytt LCC	1.43	1.48	1.14	1.44	1.33



Att döma efter tabell 1 är det uppenbart att den bästa ombyggnadsstrategin är att behålla den existerande fjärrvärmens och kombinera den med tätning och fyrglasfönster. Att fönsterna bytes ut beror här huvudsakligen på den dåliga befintliga kvaliteten. Det är nödvändigt att byta ut dem i vilket fall som helst. Den optimala strategin sparar emellertid inte mycket energi. Behovet är 87 kW och 328 000 kWh per år före ombyggnaden. Efter den optimala strategin genomförs minskar detta till 58 kW och 243 000 kWh per år. Det årliga behovet per kvm minskar från 250 till 185 kWh. Tabell 1 visar också att det är de höga driftkostnaderna t ex en eluppvärmd byggnad som genererar flest rotåtgärder.

Frånluftsvärmepumpen var emellertid inte lönsam i något fall. I detta fall kan det bero på att byggnaden var relativt liten. Det finns inte mycket värme att återvinna i frånluften.

Känslighetsanalysen visar att den optimala lösningen är mycket tillförlitlig. Fjärrvärme är den bästa lösningen för

- Optimeringstider från 0-50 år
- Kalkylräntor från 3-21%
- Mindre än 3% årlig höjning av energipriset.
Högre än så är inte undersökt
- 70 000-130 000 gradtimmarsklimat

Tätning var ett lönsamt alternativ för alla parametrar ovan. Det bör nämnas här, att det i vissa fall befunnits mer lönsamt att installera en frånluftsvärmepump och eliminera tätningen. Detta p g a att tätning minskar frånluftsflödet genom byggnaden.

Vindbjälklagsisolering är olönsamt när

- Kalkylräntan är högre än 3%
- Den årliga höjningen av energipriset är lägre än 1%
- Klimatet är varmare än 130 000 gradtimmar.

Tjockleken på den optimala nya vindbjälklagsisoleringen varierar mellan 0.15-0.20 m.

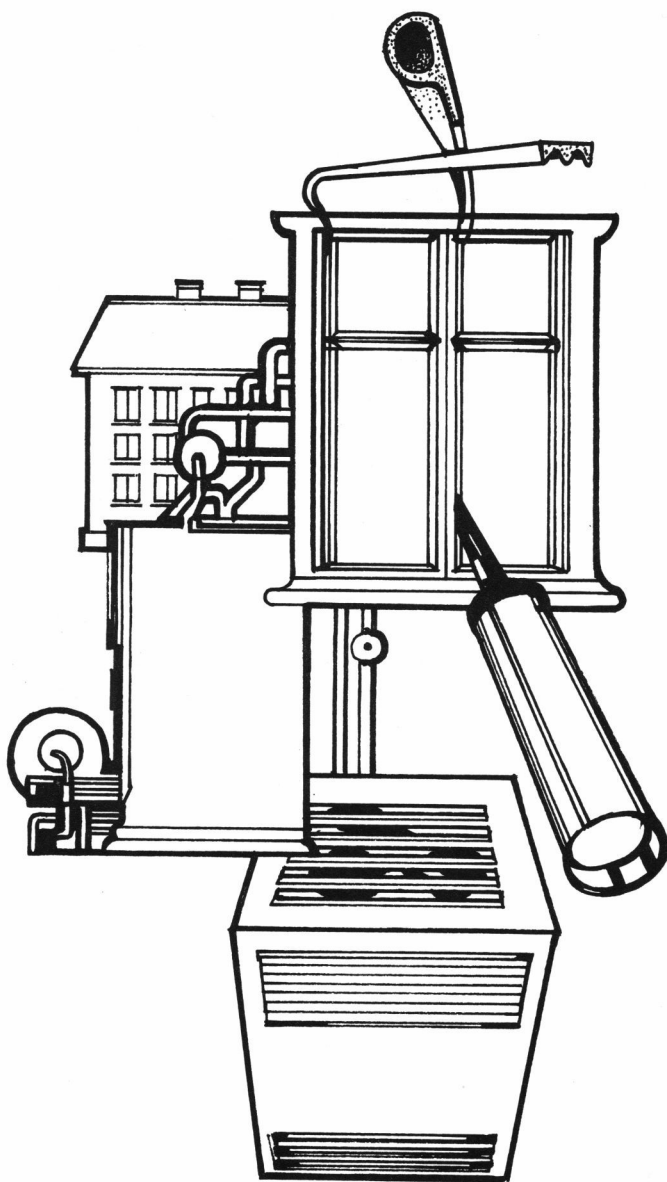
Utvändig väggisolering väljs bara när kalkylräntan är 3% eller lägre och den årliga höjningen av energipriset är 2% eller högre. Den optimala tjockleken på den nya isoleringen är ca 0.07 m i dessa fall.

Fyrglasfönster väljs inte när

- Optimeringstiden är mindre än 10 år
- Kalkylräntan är högre än 7%
- Klimatet är varmare än 70 000 gradtimmar.

Pga ovissheten när det gäller kalkylräntan, bör man kanske avstå från fyrglasfönster. De gamla fönsterna bör i sådana fall ersättas med nya tvåglasfönster. Den optimala strategin blir då: "Ingen åtgärd utom tätning av fönster".

Den andra byggnaden presenteras i följande tabell.

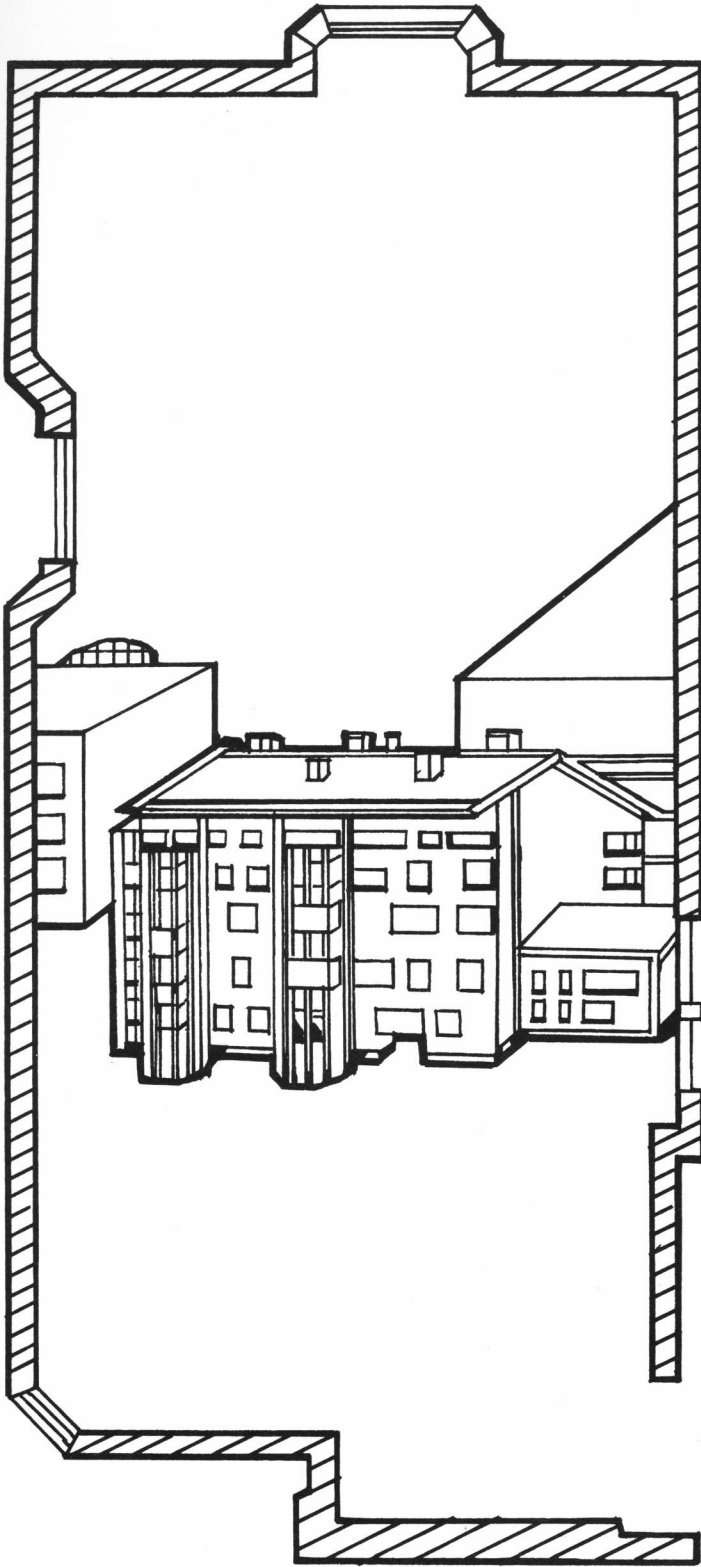


Tabell 2. LCC och besparingar för objektet Jämtland 9. Siffror i 10⁶ kr. Basfall.

	Olje-panna	El	Fjärrvärme	Värme-pump	Kombinerad olje-panna/värmepump
LCC utan åtgärder	9.96	11.85	8.09	7.18	6.71
Besparing					
Isolering vindsgolv	0	0.07	0	0	0
Isolering yttervägg	0	0.30	0	0	0
Treglas-fönster	0.48	0.69	0.33	0.26	0.19
Tätning	0.78	1.07	0.57	0.48	0.37
Frånlufts-pump	0	0	0	0	0
Nytt LCC	8.69	9.72	7.19	6.44	6.14

Tabell 2 visar LCC för en mycket större byggnad än tabell 1. I detta fall var den mest optimala lösningen att byta ut värmesystemet till en kombinerad värmepump och oljepanna. Värmepumpen står för värmeförsörjningen under normala förhållanden medan oljepannan utnyttjas under högförbrukningsperioder. Detta värmesystem är det bästa för alla parametrar enl ovan, utom för ett klimat varmare än 70 000 grad-timmar. Ombyggnaden av värmesystemet skall kombineras med tätning och utbyte av fönster till treglas. Denna lösning är så stabil att den aldrig ändras för de undersökta parametrarna. I detta fall är fönsterna också i så dåligt skick att de måste bytas ut omedelbart.

Som tidigare nämnts, måste också det bivalenta värmesystemet optimeras. Värmelasten, installationskostnaden för oljepannan och värmepumpen och energikostnaderna påverkar tillsammans den mest lönsamma lösningen. I detta fall är COP för värmepumpen konstant vilket kan accepteras för vissa värmepumpsinstallationer. Tillvägagångssättet är emellertid detsamma när denna är en funktion av utomhustemperaturen. I detta fall tillhandahåller värmepumpen värme hela året och oljepannan användes bara under högbelastning. Om hela åtgärdsstrategin införs ändras det totala energibehovet från 449 kW till 332 kW. Energiförbehovet sänks från 1 632 000 kWh per år till 1 291 000 kWh per år eller från 251 kWh/m² till 198 kWh/m². Det är tydligt att den bästa lösningen inte är att spara energi utan att göra den billigare. Värmepumpen i vårt fall skall ha effekten 216 kW och oljepannan 116 kW. Nästan all värme som produceras i systemet kommer från värmepumpen, medan oljepannan endast tillhandahåller en mindre del.



Från föregående resonemang kan slutsatsen dras att den lägsta möjliga LCC så gott som alltid nås om ett värmesystem med låga driftskostnader installeras i stora byggnader. Om byggnaden däremot är ganska liten kan inte den dyrare installationen för värmepumpsalternativet konkurrera med fjärrvärmealternativet. Om värmebehovet är stort, innebär det att ett kombinerat system bör övervägas. Åtgärder som isolering kan bli lönsamma om kostnaden är ganska låg. Isolering av vindbjälklag är därför ofta lönsamt. Om fönsterna är i bra skick är det för det mesta lönsamt att byta ut dem. Frånluftsvärmepumpar blir inte lönsamma om ett värmesystem med låga driftskostnader installeras. Tätning är nästan alltid lönsamt pga den låga "installationskostnaden". Det är emellertid ibland, för värmesystem med höga driftskostnader, mera lönsamt att installera en frånluftspump och avstå från tätningen. Den lägre luftgenomströmningen gör att värmepumpen är mindre lönsam än den behöver vara.

I många fall i Sverige är byggnaderna renoverade som om de hade ett värmesystem med höga driftskostnader. Därigenom blir värmelasten liten och följaktligen blir värmesystem med höga installationskostnader olönsamma. Det är därför väsentligt att den rätta ombyggnadsstrategin tillämpas från början.

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LINKÖPING
INSTITUTIONEN FÖR KONSTRUKTIONS— OCH
PRODUKTIONSTEKNIK. AVD FÖR ENERGISYSTEM
581 83 LINKÖPING Tel 013-28 1000

MALMÖ STAD FASTIGHETSKONTORET
PLANERINGS- OCH ENERIGBYRÅN
Box 2500
200 12 MALMÖ Tel 040-34 1000

MALMÖ ENERGIVERK
MARKNAD, PLANERINGSBYRÅN
Box 830
201 80 MALMÖ Tel 040-24 4000