

EnergiLedning

Att hantera energirelaterade frågor i företag och organisationer

av

CIT Energy Management AB

Göteborg 2000

FÖRORD

Föreliggande skrift har utarbetats av CIT Energy Management AB, Göteborg, på uppdrag av Energimyndigheten. Arbetet har i huvudsak utförts av Per-Erik Nilsson, med bistånd av Stefan Aronsson (ekonomiexempel), Bengt Bergsten (energieffektiviseringsexempel) och Lars Ekberg (inneklimat). Vidare har synpunkter från Tero Nikkonen, TAC, på avsnittet om styr, regler och övervakning, tacksamt tagits emot.

Författarna hoppas att skriften dels kan inspirera personer inom företag och organisationer som överväger att starta upp energieffektiviseringsprogram men ännu inte tagit steget, dels kan bistå de som redan arbetar med frågor av denna typ men känner att behov finns av en tydligare struktur i sitt arbete.

Skriftens huvudtitel, EnergiLedning, är vald därför att den på ett heltäckande sätt innefattar just vad som bör innefattas av ett arbete med energirelaterade frågor. Här avses främst den helhetssyn som krävs och det sätt på vilket frågor av denna typ kan eller bör hanteras inom företag och organisationer.

Göteborg i mars 2000

Per-Erik Nilsson

SAMMANFATTNING

I företag och organisationer är ett av de första hindren vid initiering av energibesparingsprogram, att man är osäker på hur frågeställningar av denna typ skall handhas. Eftersom frågeställningarna sällan tillhör ett företags kärnverksamhet och eftersom frågeställningarna karaktär kräver att man från företagsledningens sida sätter sig in i dessa innan beslut kan tas om eventuella ekonomiska avsättningar, är det vanligt att de ges låg prioritet.

Det är här begreppet energiledning kan spela en avgörande roll. Om ledningen för företag och organisationer kan utgå ifrån en given, väl genomarbetad arbetsgång vid igångsättande av energisparprogram, innebär det att det första hindret i många fall kan övervinnas relativt enkelt. Man behöver helt enkelt inte internt lägga ner så mycket tid innan beslut kan tas om uppstartande av eventuella energisparprogram (man behöver inte uppfinna hjulet på nytt i varje företag). Det här innebär givetvis inte att alla företag och organisationer i detalj kan följa samma mall. Däremot kan de få svar på frågor av den typ alla kommer att ställas inför vid initieringen av projekt av denna karaktär. Föreliggande skrift presenterar en sådan arbetsgång som beskrivs ovan, anpassad för svenska förhållanden.

Eftersom arbete med energifrågor dels bygger på att identifiera byggnader med åtgärdsbehov, dels att kunna motivera en finansiering av energibesparande åtgärder, koncentreras en stor del av diskussionerna på just detta. En grundlig genomgång görs av hur byggnader skall kunna identifieras och hur man vidare skall kunna bedöma vad i byggnaderna som är i störst behov att åtgärdas.

En genomgång görs också av olika metoder för att jämföra förbrukningsstatistik för byggnader mellan olika år. Här är det viktigt att hänsyn tas på ett korrekt sätt till hur klimatet varierar mellan enskilda år. Endast genom att korrigera för skillnader i klimatet kan rättvisa jämförelser göras mellan olika år.

För att i praktiken genomföra åtgärder i energibesparande syfte måste normalt en bedömning göras av åtgärdernas kostnadseffektivitet. En redovisning görs därför av hur man kan gå till väga för att göra en korrekt bedömning och hur man kan ta hänsyn till olika aspekter, som t ex framtida energiprisökningar. En genomgång görs även av skillnaderna mellan modeller som bör användas för att gallra bort projekt ur en samling tekniskt möjliga och modeller som bör användas för att rangordna de alternativ som därefter återstår.

Sammantaget syftar föreliggande skrift till att ge en bred överblick över området energieffektiviseringar i byggnader, med de kopplingar som måste göras mot krav och kravformuleringar vad gäller inneklimatet i byggnaden, samt hur möjliga åtgärder på ett lämpligt sätt kan bedömas ur kostnadseffektivitetssynpunkt.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING

1	INLEDNING	1
1.1	Begreppet energiledning	1
1.2	Begreppet energieffektivitet	2
1.3	Byggnaders energibehov	3
1.4	Byggnader igår och idag	4
1.5	Byggandet under 1900-talet	8
1.6	Innehåll och läsanvisning	9
2	ENERGILEDNING	11
2.1	Bygg upp en intern organisation	12
2.2	Granskning av historiska data	14
2.3	Energibesiktning	15
2.4	Prioritering av möjliga åtgärder	16
2.5	Genomförande	16
2.6	Underhållande åtgärder och uppföljning	17
2.7	Att motivera personalens medverkan	17
2.8	Styr- och övervakningssystem	18
3	KRAV OCH KRAVSPECIFIKATIONER	22
3.1	Verksamhetsknutna krav och byggnadsknutna krav	22
3.2	Verksamhetsknutna krav	23
3.3	Verksamhetsanknutna krav vid nybyggnation	27
3.4	Inomhusklimat och luftkvalitet	30
3.4.1	Definitioner och begrepp	30
3.4.2	Problem som kan kopplas till inommiljön	31
3.4.3	Krav på inomhusklimatet	35
4	METODIK FÖR IDENTIFIERING AV ÅTGÄRDSBEHOV	38
4.1	Synpunkter från användare	38
4.2	Genomgång av nyckeltal	39
4.3	Energiförbrukningen i varje byggnad jämförs fortlöpande med sig själv	44
4.3.1	Graddagsmetoden	45
4.3.2	Energisignatur	47
4.4	Behovet av mjukvara för uppföljning av energianvändning	50
4.5	Kontinuerligt pågående arbete med analytisk genomgång av energibehov hos byggnader	51
5	EKONOMISKA MODELLER	52
5.1	Metod för utgallring av projekt	52
5.2	Modeller för prioritering och rangordning	53
5.2.1	Annuitetsmodell	53
5.2.2	Nuvärdesmodell	54
5.2.3	Internräntemodell	56
5.2.4	Jämförelse av modeller för lönsamhetsberäkning	56

5.3	Kalkylränta	57
5.3.1	Kalkylräntans inverkan på lönsamhetsbedömningen	58
5.3.2	Antaganden om framtida energiprisändringar	60
5.4	Lönsamhetskalkyl som hjälpmedel vid val mellan åtgärdsalternativ	63
5.5	Exempel – lönsamhetsberäkning	63
6	ENERGIBESIKTNINGAR	69
6.1	Vad studeras i en energibesiktning?	69
6.2	System för byggnadens klimatisering	71
6.2.1	System med luftburen kyla	72
6.2.2	Alternativ utformning av luftbehandlingsaggregat	74
6.2.3	System med vattenburen kyla	75
6.2.4	Kombinerade system	78
6.3	Skillnaden mellan luftburen komfortkyla och vätskeburen	78
6.4	Energibesparande åtgärder	80
6.5	Tappvarmvatten	82
6.6	Värmedistributionssystem	82
6.7	Värmeproduktions- och kylproduktionsanläggningar	83
6.8	Elektriska installationer	84
6.8.1	Belysning	84
6.8.2	Övrig utrustning	87
7	ENERGIBERÄKNINGAR – EXEMPEL	89
7.1	Bostadshus	89
7.2	Kontorshus	92
7.3	Sjukhus	96
8	BEDÖMNING AV SPARPOTENTIAL	99
8.1	Uppbyggnaden av ett varaktighetsdiagram	101
8.2	Byggnadens energibalans i varaktighetsdiagrammet	101

REFERENSER

BILAGA 1	Nuvärdesfaktorn för ett årligen utfallande konstant belopp	B1:1
BILAGA 2	Annuitetsfaktorn	B2:1
BILAGA 3	Nuvärdesfaktorn för enstaka belopp	B3:1
BILAGA 4	Detaljerad resultatredovisning – energiberäkningar	B4:1
BILAGA 5	Sammanställning av förutsättningar – energiberäkningar	B5:1

1 INLEDNING

Inom de flesta företag och organisationer finns i grunden en stark vilja att hushålla med energi. Att spara energi är dock i sig oftast inte en tillräcklig drivkraft för att investera i energieffektiviseringsåtgärder, utan energibesparingar måste resultera i någon annan form av "vinst" för företaget. Normalt kommer här möjliga ekonomiska besparingar i första hand. Andra positiva effekter som energibesparingar ofta resulterar i är ökat värde på fastigheter, miljöprofilering av företaget, nöjdare medarbetare, etc.

Nästan undantagslöst leder arbete med energihushållning till ekonomiska besparingar som direkt kommer att märkas i ett företags resultaträkning. I resultaträkningen är varje krona lika mycket värd, oavsett om den kommer ur ökade intäkter eller minskade utgifter. Ett högre värde på fastigheter får genomslag först vid en framtida avyttring, men kan då vara nog så intressant som de direkta besparingarna i driftkostnader. Värdet av miljöprofilering är givetvis svår att uppskatta och beror i hög utsträckning på hur företaget hanterar möjligheten till profilering.

Vid arbete med energieffektivisering står inneklimatet i byggnaderna ofta i fokus. Man får här möjlighet att berätta om hur man vill att klimatet i byggnaden skall vara och åtgärder anpassas efter detta. Samtidigt som personalen får möjlighet att påverka inneklimatet bör de ges möjlighet att aktivt delta i arbetet med energibesparingar och därigenom samtidigt göra en nyttig insats och känna sig delaktiga. Att engagera och göra personal delaktig leder ofta till en nöjdare personal. Hur detta sedan kan omsättas i eventuellt högre produktivitet eller minskad sjukfrånvaro, är givetvis svårt eller rent av omöjligt att ge svar på. Man kan nog konstatera att nöjda medarbetare i vart fall inte producerar sämre och är oftare sjuka än vice versa.

Ur företagsledningens synvinkel är det, i samband med att investeringar görs i energieffektiviserande åtgärder, viktigt att man har en fullständig kontroll över vad som genomförs, varför, till vilken kostnad och eventuella övriga positiva effekter, utöver ekonomiska, som kan uppnås. I synnerhet gäller detta om de åtgärder som kan komma ifråga kräver betydande investeringar.

Om inte beslutsvägar för energibesparande åtgärder kan följa normala rutiner inom företaget, kan det vara svårt att initiera och genomföra mera omfattande energieffektiviseringsprogram som ska löpa över längre tidsperioder. Om sådana inte redan finns, är det därför viktigt att skapa beslutsvägar som gör att hantering av energifrågor kan skötas på ett för företaget rationellt sätt.

1.1 Begreppet energiledning

I många länder börjar begreppet energiledning (Energy Management) bli både etablerat och inarbetat. Begreppet innefattar, utöver det rent administrativa handhavandet av energifrågor, i sin vidaste bemärkelse det sätt på vilket användningen av energi i byggnader/byggnadsbestånd kontinuerligt kan effektiviseras genom att målmedvetet arbeta för en minskad

energianvändning. I begreppet innefattas även drift och underhåll av byggnaderna/byggnadsbeståndet på ett sätt som möjliggör att besparingseffekter kan bibehållas över tiden.

I företag och organisationer är ett av de första hindren vid initiering av energibesparingsprogram, att ledningen är osäker på hur man skall handha frågeställningar av denna typ. Eftersom dessa frågeställningar sällan tillhör ett företags kärnverksamhet och eftersom frågeställningarna kräver att man från företagsledningens sida sätter sig in i dessa innan beslut kan tas om eventuella ekonomiska resurser, är det vanligt att de ges låg prioritet.

Det är här begreppet energiledning kan spela en avgörande roll. Om ledningen för företag och organisationer kan utgå ifrån en given, väl genomarbetad arbetsgång vid igångsättande av energibesparingsprogram, innebär det att det första hindret i många fall kan övervinnas relativt enkelt. Man behöver helt enkelt inte internt lägga ner så mycket tid innan beslut kan tas om uppstartande av eventuella energibesparingsprogram (man behöver inte uppfinna hjulet på nytt i varje företag). Det här innebär givetvis inte att alla företag och organisationer i detalj kan följa samma mall. Däremot kan de få svar på frågor av den typ alla kommer att ställas inför vid initieringen av projekt av denna karaktär.

Föreliggande skrift presenterar en sådan arbetsgång som beskrivs ovan, anpassad för svenska förhållanden. Utöver detta ges en översikt över de områden inom byggnader där energibesparingar är möjliga att göra. Stor vikt läggs även vid metoder att finns energibesparande åtgärder och att bedöma såväl besparingspotential som kostnadseffektivitet.

1.2 Begreppet energieffektivitet

Innan ett resonemang förs om energieffektiviseringar och energibesparingar är det lämpligt att närmare tala om begreppet energieffektivitet. Endast om begreppet som sådant har samma innebörd för de som diskuterar området, kan en meningsfull diskussion föras utan att missförstånd uppstår. Därför ges nedan ett förslag till tolkning av begreppet som entydigt talar om begreppets innebörd, samtidigt som avgränsningar görs. Vi kan tala om att begreppet "ringas in".

En fundamental del av begreppet innefattar att användningen av energi skall vara låg, dvs en energieffektiv byggnad skall ha en låg energiförbrukning. Talar vi om energieffektiviseringar för en given byggnad innebär det att byggnadens energianvändning skall minskas.

I realiteten är det mycket enkelt att spara energi. Värmesystem kan kopplas ifrån i en byggnad, ventilationen kan stängas av, belysningen kan släckas, mm. Härigenom kommer stora besparingar att kunna göras både vad avser värme och el. Vi inser givetvis att det inte är möjligt att i realiteten förfara på detta sätt, utan det är ett antal krav som måste vara uppfyllda vad gäller klimatet inne i en byggnad.

Detta leder nu in på den första begränsningen, eller de första gränserna som ringar in det område inom vilket arbete med energibesparingar kan pågå. Innan några som helst energibesparande åtgärder genomförs i befintliga byggnader måste en lista på de krav som skall vara uppfyllda upprättas (om en sådan inte redan finns). En närmare genomgång av vilka krav som kan ställas och hur en kravlista kan vara utformad ges i kapitel 3.

När väl de krav som skall vara uppfyllda har bestämts, finns det fortfarande ytterligare begränsningar som ramar in begreppet energieffektivitet. Ett exempel som belyser detta kan vara en villa som i energibesparande syfte tilläggsisolerar, får alla fönster bytta, byter uppvärmningssystem, byter alla hushållsmaskiner till nya energisnåla, etc. Vi inser att villan kommer att bli mycket energisnål, men att kostnaderna för att genomföra alla förändringar kommer att vara mycket höga. Termen ”mycket höga” säger givetvis inte något om man inte kan relatera den till något absolutmått. Ett lämpligt absolutmått är de energikostnader man har i villan före och efter åtgärder.

Detta leder nu in på den andra begränsningen, nämligen att det även finns en ekonomisk dimension som skall kopplas till begreppet energieffektivitet. Givetvis går det att spara mycket energi om det inte finns några ekonomiska begränsningar för vad som kan genomföras. Härigenom inses att den andra uppsättningen begränsningar som måste kopplas till begreppet energieffektivitet är ekonomiska.

Således har vi nu resonemangsvis kommit fram till att begreppet energieffektivitet ringas in av begränsningar som utgörs av krav på inneklimat och ekonomiska krav. Det här kan sammanfattas på följande, kortfattade vis:

Med begreppet energieffektivitet avses minsta möjliga användning av energi, såväl värme som el, under förutsättning att i förväg uppställda krav på inneklimat och kostnadseffektivitet uppfylls.

Med denna definition av begreppet energieffektivitet har vi fått ett enkelt, användbart begrepp.

1.3 Byggnaders energibehov

Det krav som i första hand ställs på inneklimatet i en byggnad är att rumstemperaturen skall ligga på en komfortabel nivå oberoende av vilket väder som råder utomhus. Det får inte bli obehagligt kallt inne under den kalla årstiden och inte heller får det bli olidligt varmt under den varma årstiden. Dessutom skall luften inomhus vara acceptabelt ren, ljusförhållandena skall vara goda, tekniska apparater och installationer får inte ge upphov till störande ljud osv. Ändå är den första förutsättningen för att byggnaden överhuvudtaget skall kunna användas att temperaturkomforten inomhus är acceptabel.

Så snart utetemperaturen är lägre än innetemperaturen strömmar värme ut från byggnaden till omgivningen på grund av transmission och luftläckage genom byggnadens väggar, fönster, dörrar och tak. Då man normalt vill hålla rumstemperaturen vid +20°C eller något högre och utetemperaturen endast under en mycket begränsad del av året når upp till detta värde, förlorar byggnaden under nästan hela året värme till den omgivande luften.

Emellertid har man också alltid en intern generering av värme, när en byggnad används. Inne i byggnaden alstras värme av människor och av elektriska apparater och utrustningar. Det tillförs också värme genom solinstrålning på dagen, vilket bidrar till den interna värmegenereringen.

I bostadshus är den interna värmegenereringen normalt relativt begränsad, vilket innebär att det råder värmeunderskott under en stor del av året. Under de relativt begränsade perioder då den interna värmegenereringen är större än värmeförlusterna eller då utetemperaturen är högre än temperaturen inomhus, och man således faktiskt har ett värmeöverskott, öppnar man fönster eller accepterar helt enkelt att det blir varmare inomhus. I bostadshus behövs därför normalt inga speciella tekniska system för att föra bort överskottsvärme. Däremot måste man alltid ha ett värmesystem som garanterar att rumstemperaturen inte sjunker när värmeförlusterna är större än den interna värmegenereringen. Bostäder är, utöver systemet som tillför värme, oftast försedda även med ett separat system som tillgodoser kraven på ventilation (dvs tillförsel av uteluft).

I lokaler och industribyggnader är den interna värmegenereringen ofta relativt hög. Byggtekniken har utvecklats så att byggnaderna är väl isolerade och täta och värmeförlusterna därmed små. I nya kontorshus, varuhus, sjukhus och andra byggnader inom lokal- och industrisektorn, har man därför ofta värmeunderskott endast under nätter och helger medan man under arbetstid nästan alltid har betydande värmeöverskott.

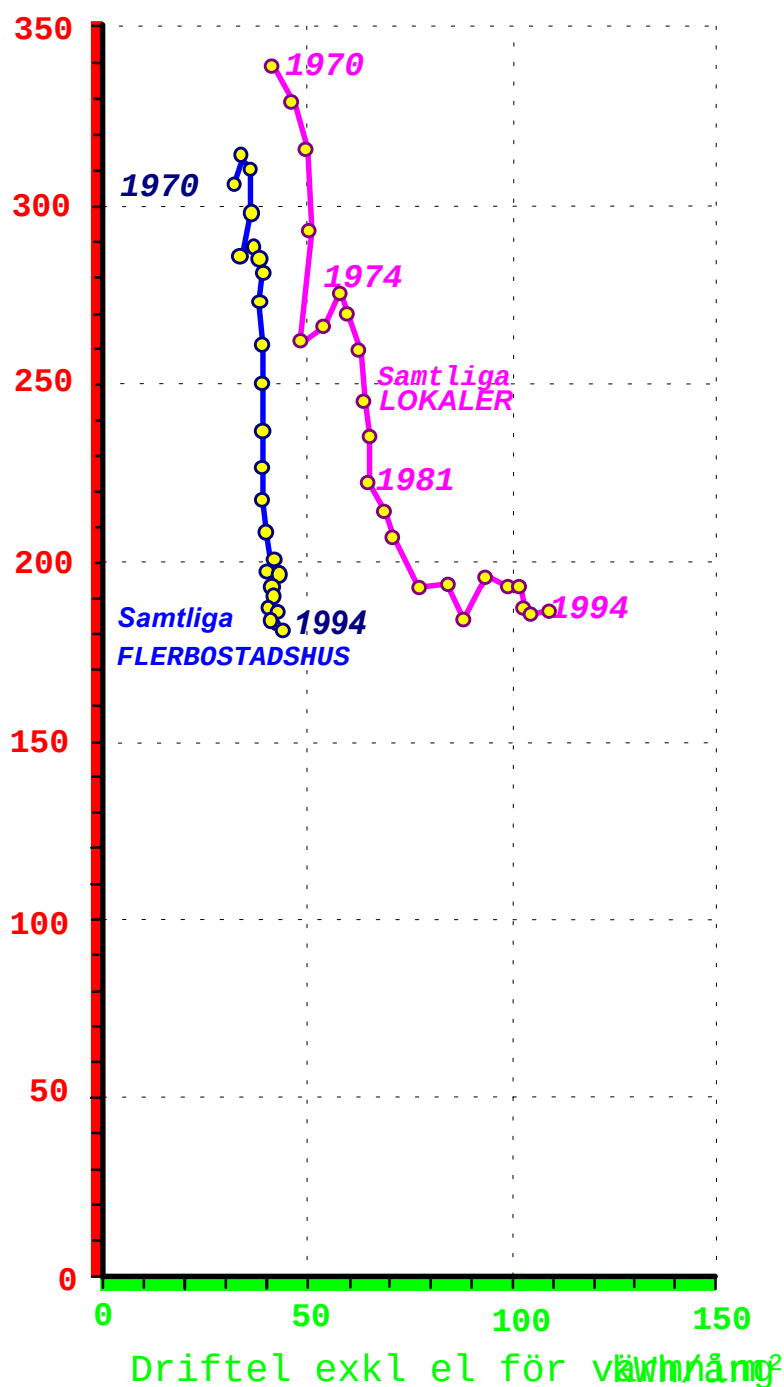
I dessa byggnader är värmebehovet under året ofta så litet att endast enkla värmeförsörjningssystem kan komma ifråga. Däremot erfordras system som bemästrar de stora värmeöverskotten och därmed hindrar temperaturen inomhus att bli oacceptabelt hög under arbetstid. Dessa klimatanläggningar är i de flesta fall helt nödvändiga för att byggnaderna skall kunna användas för sitt ändamål. Detta betyder dock inte att byggnaden inklusive sin klimatanläggning alltid är utförd på ett i alla avseenden bästa sätt.

Då kraven i fråga om rumstemperatur är givna bestäms klimatanläggningens kapacitet i huvudsak av hur stort värmeöverskott den måste bemästra. Dessutom gäller rent allmänt att ju större värmeöverskottet är, och därmed den kapacitet som klimatanläggningen måste ha, desto svårare är det att klara ett i alla avseenden bra rumsklimat. Vid utformning av byggnader inom lokalsektorn är därför en viktig uppgift att finna lösningar som ger låga värmeöverskott. Detta kräver en helhetssyn på byggnaden och dess klimatsystem både då man projekterar nya byggnader och ombyggnader.

1.4 Byggnader igår och idag

Om byggnader betraktas ur en energianvändarperspektiv så har utvecklingen sedan 1970-talet visat en tydlig tendens. I figur 1.1 kan ses hur värme- och elanvändningen utvecklats i Sverige från 1970 till 1994.

Uppvärmning och tappvarmvatten inkl e kWh/år m²



Figur 1.1 Utvecklingen av värme- och elanvändningen i Sverige från 1970-talet. Observera att varje punkt visar den genomsnittliga förbrukningen för hela beståndet under ett givet år.

Energianvändningen i bostäder i form av värme har stadigt minskat sedan 1970-talet. Från att i början av 1970-talet ha legat på årsförbrukningar runt 310 kWh/m² golvarea, har användningen successivt minskat till årsvisa nivåer runt 180 kWh/m², eller med motsvarande ca 40%. Samtidigt har den genomsnittliga användningen av el också ökat något, men inte alls

på ett lika markant sätt som minskningen i värmeanvändning. Sedan mitten av 1970-talet har elanvändningen i bostäder legat mellan 30 och 40 kWh/m² per år.

Motsvarande siffror för kommersiella byggnader visar även här på en minskning av den genomsnittliga användningen av värme, från 330-340 kWh/m² i början av 1970-talet, till nivåer runt 180 kWh/m² i början av 1990-talet, motsvarande ca 45%. Däremot uppvisar elanvändningen en helt annan utveckling för kommersiella lokaler än för bostäder. Från att i början av 1970-talet ha legat på en genomsnittlig elanvändning runt 40 kWh/m², har förbrukningen accelererat och ligger i början på 1990-talet runt 110 kWh/m², en ökning motsvarande ca 175%. Det finns flera anledningar till den kraftiga ökningen av el i dessa lokaler. Ökad användning av maskinell utrustning och användning av kyla är ett par.

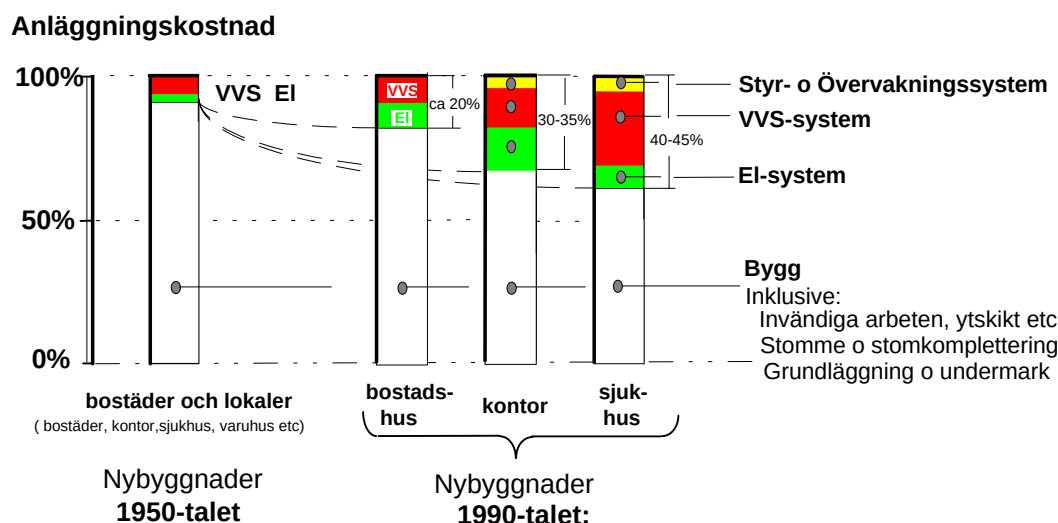
Om man tittar på enskilda fastigheter, istället för att som ovan titta på landets hela bestånd, finns det givetvis en kraftig spridning mellan de ur energisynpunkt bästa och de sämsta. I nya bostadshus har man visat att det är möjligt att komma ner i betydligt lägre värmeförbrukning än i äldre. Här är det framför allt dels byggnadstekniska åtgärder som isoleringsnivåer och tätning av hus, dels åtgärder som ger möjlighet att återvinna värme ur frånluften, som får stort genomslag. I t ex Stockholmsprojektet [1] finns exempel på bostadshus med uppmätta värmeförbrukningar på 60-70 kWh/m², medan elanvändningen för flertalet exempel ligger över 50 kWh/m². Man hittar här exempel på elanvändning upp emot 70 kWh/m².

Vad gäller energianvändningen i enskilda kommersiella byggnader, i det här fallet kontorsbyggnader, finns exempel [1] på byggnader med en årlig värmeförbrukning ner mot 50 kWh/m² och ändå lägre. Samtidigt är elanvändningen 80-90 kWh/m². Dessa siffror gäller såväl nybyggda fastigheter som åtgärdade befintliga.

Siffrorna för de enskilda fastigheterna ovan kan tas som en indikation på potentialen för energibesparingar.

Ser man på den del av byggnaden som utgörs av de tekniska installationerna kan man konstatera att det skett betydande förändringar under de senaste decennierna. Ett sätt att belysa detta är att jämföra installationernas relativa andel i byggnadsprojekt, dels för byggnader producerade i början av 1950-talet, dels idag.

KOSTNADSFÖRDELNING BYGGNAD INSTALLATIONER



Figur 1.2 De installationstekniska systemens andel av den totala byggkostnaden vid nybyggnation. Utveckling från 1950-talet fram till idag. Lokaler är den sammanfattande benämningen för kontor, sjukhus, varuhus, skolor, etc, dvs det mesta som inte är bostadshus.

I byggnader som uppfördes under 1950-talet och tidigare fanns ett värmesystem, i större hus enstaka frånluftsfläktar, elsystem med ett eller ett par väguttag per rum samt vatten och avlopp. Tillsammans svarade installationerna normalt för mindre än 10% av husets totala byggkostnad, i stort oberoende om det var fråga om bostäder eller lokaler. I speciella byggnader, som laboratorier, vissa sjukhus, etc, kunde installationernas andel vara något större, men de var ändå en relativt marginell andel av den totala byggkostnaden.

Situationen idag är dramatiskt förändrad. De tekniska installationernas andel av totala byggkostnaden har fördubblats för bostäder. I lokaler har den ökat 3-4 gånger.

För byggandet under 1950-talet fram till idag kan således konstateras att:

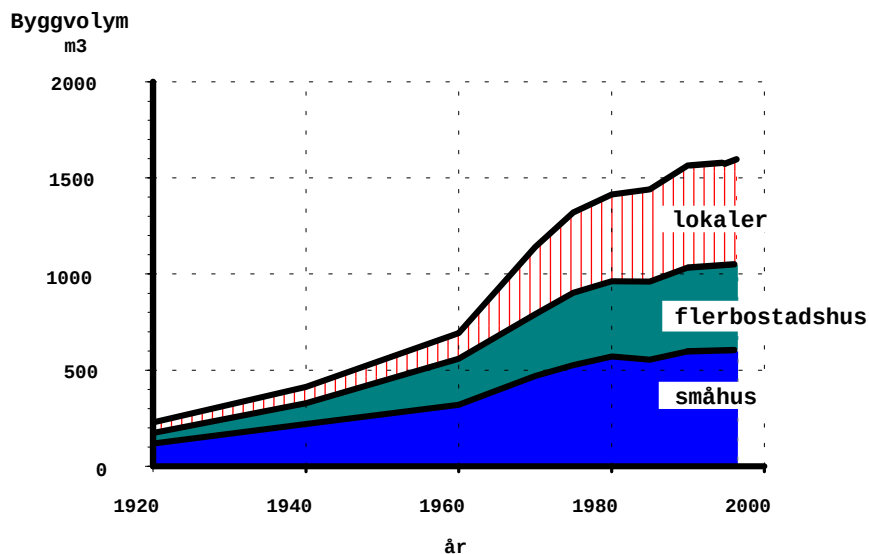
- Installationernas andel av byggkostnaden har ökat kraftigt för alla typer av byggnader;
- Byggnader inom lokalsektorn har blivit alltmer olika bostadshus – byggnader inom lokalsektorn har blivit mycket installationstätare än bostadshusen.

Det här är en utveckling som inneburit en förändring av byggnadernas karaktär, deras sätt att fungera och de krav som ställs på omsorg och underhåll. Varför har då denna utveckling ägt rum och vad har den för konsekvenser? För att få en uppfattning av detta är det nödvändigt att studera vad som hänt med byggandet och byggnadstekniken i stort under de senaste 70 åren.

1.5 Byggandet under 1900-talet

I Sverige, liksom i huvuddelen av den industrialiserade världen, har det under främst de senaste 30 åren skett en betydande ökning av byggnadsbeståndet. Detta avspeglas i figur 1.3

som innehåller den förändringen av den sammanlagda volymen av enfamiljshus, flerbostadshus och lokaler mellan 1920 och 1995 i Sverige.



Figur 1.3 Byggnadsbeståndets utveckling i Sverige 1920-1995, innefattande den sammanlagda volymen (miljoner m³) av alla byggnader i Sverige med undantag av industribyggnader.

Under tiden från 1920 till 1990 ökade Sveriges befolkningens mängd med ca 40%. Figur 1.3 visar att under samma tidsperiod ökade den sammanlagda byggnadsvolymen ca 7 gånger.

Idag är således den sammanlagda byggnadsvolymen per svensk ca 5 gånger större än den var 1920.

Den mycket stora ökningen av byggnadsbeståndet är en direkt följd av Sveriges förändring från ett utpräglat jordbrukssamhälle till ett nästa helt urbaniserat industrisamhälle, i kombination med allt högre krav på levnadsstandard.

Med den arbets- och resurskrävande teknik som fanns på 1920-talet och som egentligen i väsentliga delar tillämpades ända in på 1940-talet, hade det i praktiken inte varit möjligt att bygga den väldiga mängd hus det är fråga om. Den utveckling av byggtekniken som skett främst under de senaste 30 åren, har varit en av förutsättningarna för den samhällsutveckling som skett efter andra världskriget

Utvecklingen av byggtekniken har emellertid också inneburit mer komplexa konstruktioner med minskade marginaler för felaktigheter i konstruktioner och utförande. Man har fått konstruktioner som är materialeffektiva, som är väl lämpade för effektivt byggande, som har förnämliga värmeisolerande egenskaper, mm. Samtidigt har konstruktionerna blivit känsligare. Brister i byggnadernas detaljkonstruktion och byggande får ett större genomslag i dagens byggnader än vad som var fallet med den byggnadsteknik som tillämpades på exempelvis 1920-talet.

Byggnadsteknikens förändring, effektivisering av planlösningar och volymutnyttjande samt en ökad användning av eldrivna och därmed värmealstrande apparater och utrustningar, har bidragit till att framför allt de klimatstyrande installationernas omfattning ökat.

I bostadshus har införandet av nya ventilationssystem starkt bidragit till denna utveckling. Under 1970-talet utvecklades byggtekniken snabbt mot lufttätare byggnadskonstruktioner. Den okontrollerade inläckningen av uteluft och utläckningen av rumsluft var tidigare i många fall så stor att det behövdes endast marginella ventilationsåtgärder. De lufttätare konstruktionerna bidrog till att byggnadernas värmebehov minskade och att störande kalldrag genom otätheter i fönster och vägar i stort eliminerades, men i gengäld krävdes mer styrd ventilation för att luften inomhus inte skulle bli för dålig. Mer kompakta byggnadslösningar har haft en likartad inverkan. Starkt ökade krav på installationer för teknisk betjäning i bostäder har också bidragit till installationstätheten.

I lokalsektorn är det byggnadernas utformning, bland annat ökade glasade ytor och kompaktare huslösningar med ökade belysningskrav, samt ett stort utnyttjande av värmeavgivande och ibland föroreningsemitterande apparater och utrustningar som lett till att man måste ha omfattande klimatinstallationer.

I delar av lokalsektorn som i laboratorier, sjukvårdslokaler, varuhus och i många av industrins lokaler har dessutom klimatkraven ökat.

Man kan konstatera att de byggnader som uppförs idag är komplexa både vad gäller den byggnadstekniska konstruktionen och de installationstekniska systemen och apparaterna. Man kan säga att byggnaderna blivit mer ”tekniska” än de var tidigare. Ofta framkommer inte med tillräcklig tydlighet och man inser inte nödvändigheten att idag se byggnaden som en helhet och inte som ett hus bestående av stomme, fasader, bjälklag och tak, till vilka adderas ett antal tekniska system.

1.6 Innehåll och läsanvisning

Föreliggande skrift är uppdelad i 8 kapitel. I kapitel 2 ges en översikt över hur ett energiledningsprogram kan organiseras och initieras i ett företag eller en organisation. Här ges en första genomgång av olika moment som ingår i ett arbete med energifrågor. Vissa av momenten som bedöms särskilt viktiga för framställningen och redovisas därför senare mer i detalj i separata kapitel.

Kapitel 3 innehåller ett utförligt resonemang om hur olika typer av krav kan ställas inför ett energieffektiviseringsarbete. Som en del av kapitlet ingår ett allmänt avsnitt om inneklimat, vilket är det som i de flesta fall är avgörande för vilka och hur stränga krav som skall/bör ställas.

I kapitel 4 görs en genomgång av hur man i ett givet byggnadsbestånd stegvis kan identifiera de byggnader som är i behov att åtgärdas, och hur man kan arbeta inom varje steg.

Kapitel 5 tar upp metoder för att gallra ut åtgärder som kan komma ifråga för genomförande och att därefter rangordna dessa. Metoderna bygger på ekonomiska modeller vars uppbyggnad går igenom och vilka anpassas för att fungera just i energiledningssammanhang.

I kapitel 6 redovisas hur en energibesiktning kan genomföras och vilka komponenter den kan bestå av.

För att ytterligare belysa inverkan av olika typer av åtgärder visas i kapitel 7 ett antal exempel på hur olika åtgärder påverkar byggnadens energibehov i tre olika typer av byggnader – flerbostadshus, kontor, sjukhus.

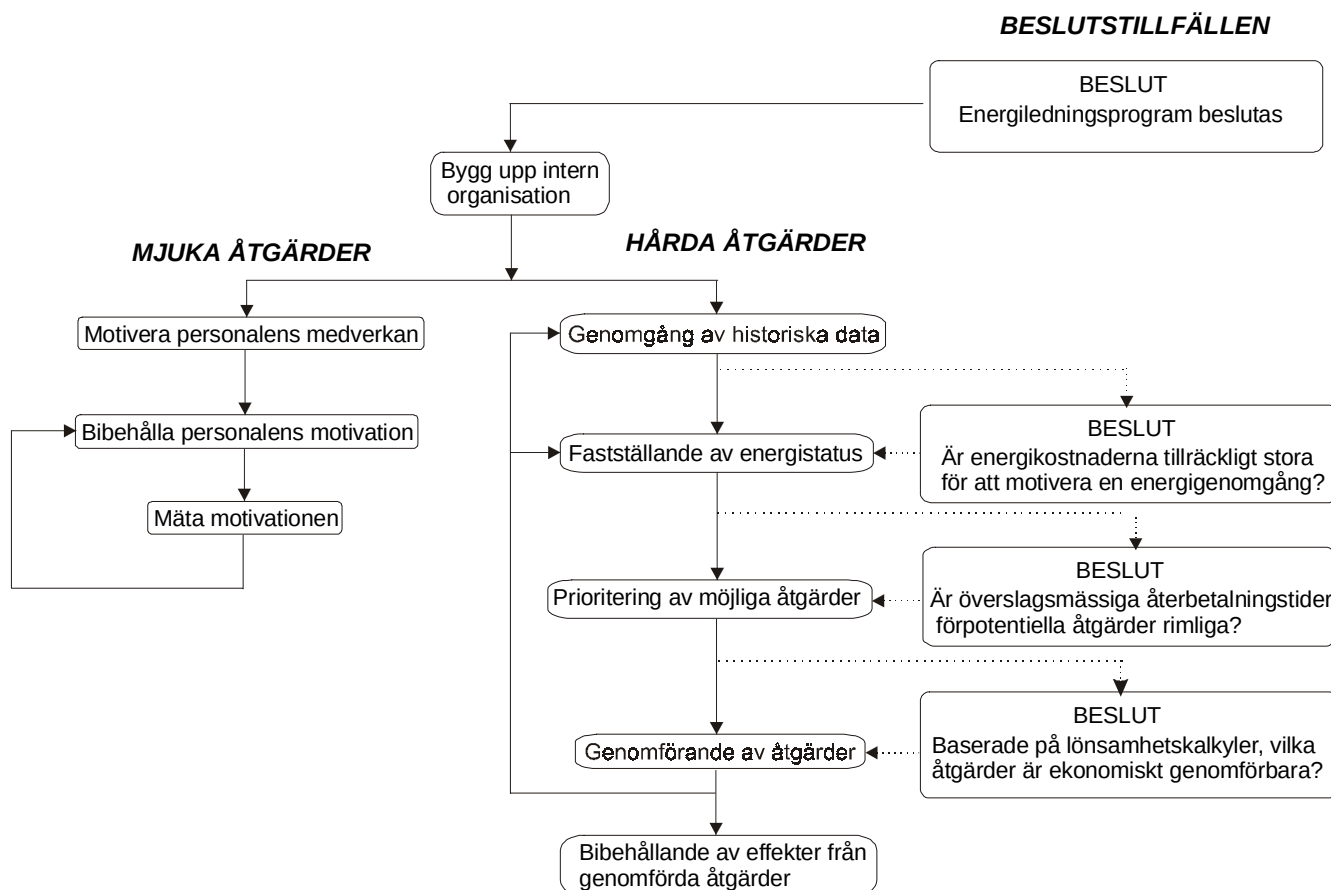
För att förstå hur byggnadens klimatskal, verksamheten i byggnaden och de tekniska installationerna samverkar och tillsammans bestämmer byggnadens överskott respektive underskott av värme, ges i kapitel 8 en relativt ingående genomgång av hur byggnadens värmebalans är uppbyggd. Kapitlet syftar till att öka läsarens förståelse för hur olika åtgärder i energibesparande syfte påverkar en byggnads totala energibalans.

2 Energiledning

I sin vidaste bemärkelse avses med energiledning en hantering av energirelaterade frågor som leder till en långsiktigt effektiv användning av energi, både ekonomiskt och miljömässigt. Inom begreppet inryms således frågor som uppföljning av energianvändning, besiktning av anläggningar för att fastställa energistatus, bildande av företagsinterna enheter som handhar frågor av denna typ, utbildning av nyckelpersonal, fastställa inneklimat i befintliga byggnader, etc.

Redan på projekteringsstadiet av nya byggnader är det viktigt att tänka på att utforma byggnaden med sina installationer på ett sätt som möjliggör framtida energieffektiv förvaltning. Detta inkluderar möjligheter till mätning av energiförbrukning på ett rationellt sätt för olika förbrukare. I detta kapitel kommer dock diskussionen att koncentreras mot befintliga byggnader och hur energifrågor bör hanteras där.

Även om organisationer och företag är uppbyggda på olika sätt och även om beslutsvägar och företagskultur skiljer, finns det ett antal steg som måste tas för att påbörja och genomföra ett energiledningsprogram. Dessa gemensamma steg redovisas nedan.



Figur 2.1 Att introducera och genomföra ett energiledningsprogram

I figur 2.1 redovisas gången för att bygga upp den interna organisationen som handhar denna typ av frågor, samt hur det praktiska arbetet med att genomföra projekt kan struktureras.

Vidare redovisas i vilka skeden olika typer av beslut behöver fatta. För att betona vikten av att på rätt sätt motivera personal att medverka i energibesparingsprogram, finns även detta medtaget som en parallell genomförandeväg till den traditionella och den som man oftast förknippar energibesparande åtgärder med. I figur 2.1 har de två vägarna getts namnen ”hårda åtgärder” respektive ”mjuka åtgärder”. I fortsättningen av detta kapitel görs en genomgång av de olika stegen som visas i figur 2.1. Tre av stegen under ”hårda åtgärder” är i sig så viktiga och mer omfattande än övriga att de i detta kapitel endast översiktligt går igenom. Istället ägnas vart och ett av dessa steg ett eget kapitel. Det här gäller *Genomgång av historiska data* (Kapitel 4), *Fastställande av energistatus* (Kapitel 6) och *Prioritering av möjliga åtgärder* (Kapitel 5).

2.1 Bygg upp en intern organisation

För att ge energiledning tillräcklig företagsintern betydelse, och för att tillse att programmet blir effektivt, bör det ges samma organisatoriska vikt som andra kostnadsställen inom företaget. Det bör ha sin egen budget och sitt eget resultatansvar. Ett sätt att lägga upp budgeten är att ge den som en procentsats av den årliga energikostnaden. Enligt [2] är en procentsats i storleksordningen 3-10% av den årliga energiförbrukningen vanlig (inbegriper inte industriföretag med en stor andel processenergi).

Redan här kan nämnas vikten av företagsledningens förhållningssätt gentemot ett program av denna typ. För att starta upp energiledningsprogram och för att kunna genomföra dem på det sätt som avses och, kanske viktigast, för att kunna nå uppställda mål, är det ytterst viktigt att företagsledningen fullt ut stöder dessa program. Detta understryks också i de flesta demonstrationsprojekt som finns redovisade i litteraturen, t ex i [3].

Bidragen från företagets ledning i initialfasen av ett energiledningsprogram kan innefatta [2], [4]:

- Upprätta kostnadsstället inom företaget/organisationen;
- Dra upp gränser för ansvarsområden;
- Utse en ansvarig person för programmet;
- Tilldela programmet resurser;
- Tillse att information om programmet når ut i organisationen;
- Bestäm hur programmets kostnadseffektivitet skall kontrolleras;
- Sätt upp tydliga mål för programmet;
- Bestäm hur måluppfyllelse skall kontrolleras.

Som redan nämnts kan introduktionen av ett energiledningsprogram genomföras på olika sätt. Men oavsett hur introduktionen går till är det mycket viktigt att ha en organisation som dagligen arbetar med dessa frågor och inom vilken det finns klara ansvarsavgränsningar för varje hierarkisk nivå.

Eftersom varje seriöst energiledningsprogram kommer att vara en kontinuerligt pågående aktivitet i ett företag måste en person utses som ska vara ansvarig för programmet. När det

kommer till större företag eller organisationer är det ibland lämpligt att inordna denna verksamhet i en redan befintlig enhet eller avdelning. Ifall ingen sådan enhet finns inom företaget som naturligt kan ta hand om dessa frågor är det lämpligt att bilda en sådan.

Om en person inom företaget görs ansvarig för att hålla i energiledningsprogrammet är det både viktigt och nödvändigt att personen inte får dessa arbetsuppgifter på toppen av sina tidigare, utan att personen får tid frigjord för att arbeta effektivt med dessa frågor. Det är dessutom viktigt att den person som får ansvaret för dessa frågor från början har en tillräcklig insikt i de tekniska frågeställningar kopplade till verksamheten personen är satt att leda eller, om så inte är fallet, att personen ges möjlighet att genomgå utbildning som svarar mot de krav som ställs. För att fungera effektivt som energi ansvarig är det viktigt att personen har kompetens inom områden som:

- byggnadens energisystem; uppbyggnad och funktion,
- taxekonstruktioner för el och i förekommande fall för fjärrvärme/fjärrkyla,
- förståelse för när energibesiktningar behöver göras,
- verbal och skriftlig förmåga att kommunicera med såväl ledning som personer som praktiskt arbetar med energifrågor,
- etc

I de arbetsuppgifter en energi ansvarig har ingår:

- utarbeta strategier för energistyrning,
- tillse att berörd personal får erforderlig utbildning,
- upprätta total mediabudget,
- initiera och leda energiprojekt,
- handha analyser av energistatistik

Med ledning av ovanstående inses att det ställs mycket höga krav på en energi ansvarig. Det blir därför ofta nödvändigt att ta in kompletterande kompetens utifrån, t ex i skedet när energibesiktningar skall göras.

När konsulter tas in för att genomföra en energibesiktning är det viktigt att veta att kostnaden för konsulten inte blir högre än det belopp som rimligen kan komma att sparas in genom senare energibesparande åtgärder. Det är alltså lämpligt att kontrollera storleksordningen på de energibesparingar som är möjliga, för att som energi ansvarig ha en känsla för hur mycket en konsultinsats kan få kosta.

En energi ansvarig kan behöva ta hjälp av energikonsulter i flera olika led i ett energiledningsprogram. I vissa fall kan en utomstående energikonsult vara ansvarig för att introducera och kontrollera funktionen i programmet. Det är lämpligt att ställa mycket höga krav på kompetensen hos den konsult man anlitar.

Det är viktigt att övergripande mål ställs upp i inledningsfasen av energiledningsprocessen, vilka i sig är tuffa men nåbara, och möjliga att mäta. Samtidigt med att målen tydligt formuleras bör en realistisk tidplan för när målen skall vara uppfyllda fastslås.

När det konkreta arbetet påbörjas med att söka uppfylla uppställda mål, är det ofta lämpligt att bryta ned de övergripande målen i delmål, vilka sammantaget uppfyller de övergripande målen. Det kan t ex vara fråga om ett övergripande mål som säger att en energibesparing på 5% skall uppnås för ett fastighetsbestånd. När det konkreta arbetet påbörjas kan det vara så att beståndet består av fastigheter av olika typ, med olika verksamhet och med olika ålder. Här är det då lämpligt att börja med att spjälka upp målet i delmål för olika fastigheter, där de sammantagna besparingarna uppgår till 5%.

2.2 Granskning av historiska data

För att bestämma när en byggnad är i behov av åtgärder i energibesparande syfte eller för att bestämma vilka byggnader i ett bestånd som behöver genomgå en energibesiktning, är det utomordentligt värdefullt att ha tillgång till historiska data vad gäller energiförbrukningen. Ju mer detaljerade uppgifterna är, dvs uppdelad på fler förbrukare och uppdelning i tidsintervall, desto mer användbar är den vid en energibesiktning. Det gäller dock inte att bara ha tillgång till uppgifterna, utan även att bearbeta dessa på ett sådant sätt att de kan komma till praktisk nytta vad gäller energiuppföljningen.

Det finns gott om exempel på företag vilka innefattar ett antal byggnader, där hela energiförbrukningen mäts med en mätare per energislag. Denna mätare är densamma som används av energileverantören för debiteringsändamål. I sådana fall är det svårt att urskilja och rangordna vilka av byggnaderna som behöver energibesiktas. Här blir det istället nödvändigt att besikta byggnaderna en efter en, och i samband med detta föreslå installation av kompletterande mätutrustning för att underlätta framtida energiuppföljning

Initialt i ett energiprojekt är det med hjälp av genomgången av historiska data (både vad gäller energiförbrukning och kostnad för energi) som beslut tas för vilka byggnader och i vilken ordning en energibesiktning skall göras. Byggnader som är mindre energieffektiva än andra prioriteras normalt och energibesiktningar börjar i dessa. Givetvis skall hänsyn här tas till om andra typer av åtgärder skall göras för en byggnad, t ex om dåliga fönster behöver åtgärdas, om fasadmateriell skall bytas eller renoveras, etc. Detta blir aktuellt särskilt för företag som äger eller förvaltar större fastighetsbestånd och där prioriteringsordningen av energibesiktningar kräver stor omtanke.

I kapitel 4 görs en genomgång av hur uppgifter om energianvändningen kan användas för att ha en fortlöpande kontroll över byggnaders energianvändning. Dels hur en rationell metod för att snabbt bedöma hur byggnadens energiförbrukning ser ut, dels hur man bör gå till väga för att skilja ut (rangordna) de byggnader i ett bestånd som bäst är i behov av en energianalys.

2.3 Energibesiktning

I varje energiledningsprogram finns energibesiktningar med som en naturlig del av det fortlöpande arbetet. Eftersom begreppet energibesiktning inte är ett absolut begrepp, dvs det finns inte en given definition av begreppet, är det lämpligt att här redogöra för hur begreppet tolkas och används i denna skrift. Skillnaden mellan olika tolkningar består främst i hur många steg en energibesiktning bör bestå av och vilka delmoment som ingår i respektive steg.

Med energibesiktning avses i denna skrift en identifiering och funktionsanalys av alla förbrukare av energi hos det studerade objektet, en uppskattning av hur mycket energi som används av varje förbrukare och, slutligen, en bedömning av användningen i förhållande till budgeterad eller projekterad användning (besparingspotential).

Som nämnts tidigare är det ofta nödvändigt att ta hjälp av specialiserade konsulter vid genomförande av energibesiktningar. I detta läge är det givetvis bra för det företag som köper in tjänsten att kunna förse konsulten med så mycket adekvat information som möjligt. Ju mer information konsulten kan få av beställaren, desto mindre tid behöver konsulten lägga ner för att hitta dessa uppgifter och därigenom kommer också kostnaden för konsultinsatsen att minska.

Exempel på frågeställningar som kan vara till hjälp för en konsult vid en energibesiktning, eller som rent av kan fungera som del av underlaget vid ett anbudsförfarande, är ([2]).

- vem äger belysningssystemet, hyresgästen eller hyresvärden?
- hur används objektet? ,dvs timmar i drift, antal personer, etc.
- finns byggnadsritningar tillgängliga som ger en bild av hur byggnadens klimatskal är uppbyggt?
- mäts el för hela byggnaden, för varje våningsplan eller är mätningen uppdelad på annat sätt?
- vilken elleverantör och vilken tariff används?
- hur fördelas energikostnader mellan hyresgäster (t ex i affärskomplex)?
- har åtgärder för energibesparingar genomförts tidigare och i så fall när och vilka?

Hela energibesiktningen kan delas upp i olika nivåer och kan avslutas efter varje om så önskas. Före offerter tas in från konsulter är det bra att ha tänkt igenom efter vilken nivå energibesiktningen skall avslutas. Om det är svårt att förutsäga detta kan anbudsförfrågan vara upplagd så att offerterna är delade och pris ges för de olika nivåerna. På detta sätt fås redan initialt av konsulten priset för att genomföra en energibesiktning enligt olika nivåer. Hur en energibesiktning kan genomföras och vad den bör innefatta, redogörs närmare för i kapitel 6.

2.4 Prioritering av möjliga åtgärder

Det enklaste och mest använda sättet att prioritera energibesparande åtgärder är genom att titta på den ekonomiska lönsamheten. Utöver detta kan hänsyn tas till komfortmässiga aspekter, miljömässiga aspekter, estetiska aspekter, etc, vilka ofta är svåra att applicera någon ekonomisk modell på. "Nyttn" av dessa måste ofta vägas ihop med den ekonomiska lönsamheten på ett subjektivt sätt. Den subjektiva värderingen bör dock spegla det aktuella företagets syn på och inställning till dessa övriga parametrar. Om sådana här "mervärden" uppstår i och med att energibesparande åtgärder genomförs, är det viktigt att även dessa belyses.

När lönsamheten skall bestämmas behövs någon form av ekonomisk modell. Här finns ett antal modeller som kan komma ifråga, men det är viktigt att den modell man använder på ett korrekt sätt kan ta hänsyn till uppnådda besparingar under hela åtgärdens "livstid".

Alla företag och organisationer måste ta hänsyn till att återbetalningstiden för en investering inte blir orimligt lång. Hur lång återbetalningstiden kan tillåtas bli skiljer dock mellan olika företag och organisationer. Återbetalningstiden talar om hur lång tid det tar innan en investering är återbetald genom de besparingar den ger upphov till och beräknas som kvoten mellan investeringen (i kronor) och besparingen (i kronor per år).

Modellen med återbetalningstid skall inte förväxlas med en lönsamhetsmodell. Återbetalningstiden visar endast hur länge det dröjer innan en investering är återbetald. Den tar ingen hänsyn till de samlade besparingarna under åtgärdens hela "livslängd". Modellen med återbetalningstid har dock en stor fördel: den är mycket lätt att förstå. Den kan ge ett omedelbart svar på om man skall gå vidare med en möjlig investering och göra lönsamhetsberäkningar på den eller om det inte finns några som helst förutsättningar för att företaget skall kunna göra investeringen. Således är ett lämpligt sätt att använda modellen med återbetalningstid till att sälla bort energibesparande åtgärder som inte kan inrymmas inom rimliga återbetalningstider. De alternativ som blir kvar skall därefter behandlas med en korrekt lönsamhetsmodell.

Det finns, som nämnts tidigare, flera alternativa ekonomiska lönsamhetsmodeller som är möjliga att använda i detta skede. De vanligaste presenteras närmare i kapitel 5, utifrån perspektivet energieffektivisering.

2.5 Genomförande

Efter att beslut tagits om vilka energibesparande åtgärder som skall genomföras fortsätter arbetet med att realisera åtgärderna. I detta skede tas kontakter med tillverkare och, beroende på komplexiteten i åtgärdens/åtgärdernas genomförande, i vissa fall med konsulter som kan bistå vid eventuellt projekteringsarbete eller upphandlingsarbete. Om konsulter är nödvändiga att koppla in i detta skede bör hänsyn till detta ha tagits när de alternativa åtgärderna rangordnades (med den valda lönsamhetsmodellen).

Det är givetvis inte möjligt att redan under beräkningen av åtgärders lönsamhet i detalj kunna förutsäga hur mycket konsulter kommer att kosta i ett senare skede, men normalt går det att uppskatta med rimlig noggrannhet.

2.6 Underhållande åtgärder och uppföljning

Efter att åtgärderna genomförts skall ett underhållsprogram med uppföljning av resultaten startas upp. Underhållet är viktigt för att upprätthålla hög effektivitet och förhindra att fel uppstår. Uppföljningen av genomförda åtgärder och, så långt som möjligt, kontroll av andra förbrukare av energi kommer att göra det möjligt för den/de personer som arbetar med energiledning att ha en övergripande kontroll på energiförbrukningen. Kontrollen kommer att vara mycket viktig för att kunna identifiera felfunktioner hos komponenter i energisystemet och för att följa genomförda åtgärder och se att dessa inte försämras över tiden.

Ibland när en förbrukare av energi inte fungerar som den ska kan detta vara svårt att upptäcka eftersom andra delar av energisystemet tar över och ”döljer” felet. Ett exempel på detta är när mer värme än nödvändigt levereras till ett utrymme, där temperaturen samtidigt kontrolleras av ett kylsystem. I detta fall levereras således både värme och kyla till ett utrymme där behovet i grunden bestod i endast en del av värmetillförseln.

För att kunna följa upp och kontrollera användningen av energi är det nödvändigt att samla in och kontinuerligt bearbeta data över energianvändningen. I många byggnader finns styr- och övervakningssystem installerade som kan utnyttjas för att samla in data (se även kapitel 2.8). I samband med att data samlas in bör de bearbetas så snart som möjligt. Om insamling av data sker under längre tidsperioder utan att dessa bearbetas, blir datamängderna snart så stora att de blir svåra att överblicka och därigenom svårbearbetade.

2.7 Att motivera personalens medverkan

Ett sätt att åstadkomma energibesparingar i byggnader, som ofta förbises, är att involvera personer verksamma i byggnaderna. Om detta görs med omsorg kan det bli ett effektivt sätt att till mycket låga kostnader reducera energianvändningen. Besparingar kopplade till medverkan av personer verksamma i byggnaderna är framför allt beroende av två saker:

- Motivation och
- Information.

Typen av och innehållet i den information som måste göras tillgänglig för dessa personer, varierar under löptiden av ett energiledningsprogram. Tydlig och förståbar information är normalt nödvändig i initialfasen av ett projekt. Vanligen är det tillräckligt att i detta skede av ett projekt informera dessa personer om att ett projekt är i uppstartningsfasen och på vilka sätt dom kan medverka till besparingar och hur mycket man kan förvänta sig att deras medverkan kan komma att betyda, för att göra dom intresserade att delta i projektet. I detta läge kan det vara intressant att ge en kortare utbildning till personal som kan ses som nyckelpersoner vad gäller personalmedverkan. Det kan t ex röra sig om vaktmästare, städpersonal, etc. Samtidigt som motivationen ökar även förståelsen för energianvändning och anledningen till att det är viktigt att hushålla med energin. Det är viktigt att hålla i minnet att all personal skall medverka i projektet, från ledning ner genom organisationen.

I initialfasen av projektet är det normalt inga problem att motivera personal att aktivt ta del i projektet. Informationen om projektet, och kanske särskilt personalens medverkan, kan

presenteras i någon form av dokument som beskriver företagets övergripande målsättning vad gäller energianvändning och energibesparingar, gärna både på kortare och på längre sikt.

Efter att programmet löpt en tid kan man förvänta problem med motivationen hos personalen, om inte information (feed-back) kontinuerligt görs tillgänglig som talar om vilka resultat som uppnås genom personalens medverkan. Genom att förse personalen med information om vad deras ansträngningar leder till är det möjligt att bibehålla motivationen för att fortsätta med deras medverkan.

Det finns flera sätt på vilket information till personalen kan distribueras. Det kan till och med vara så att personalens motivation att medverka i programmet ökar genom en genomtänkt informationsåterföring. Ett enkelt sätt att återföra information är att använda ett kontinuerligt återkommande informationsblad som berättar om besparingarna. I större företag är en personaltidning vanligt förekommande. Här är det lämpligt att använda t ex en halvsida för att berätta om resultaten. Informationen kan ges i form av förbrukning i relation till en tidigare jämförbar period. Denna skriftliga information kan utformas på ett sätt som introducerar ett element av tävling mellan olika avdelningar, mellan olika delar av byggnaden, mellan olika byggnader, etc. Det här kan fungera som en morot för personalen att ytterligare öka sina ansträngningar för att spara mer energi.

De typer av åtgärder som all personal kan medverka i är t ex att se till belysning inte är tänd på ställen där den inte behövs, att se till att ingen belysning lämnas igång över natten, att samtliga datorskärmar har aktiverat strömsparfunktioner, etc. Ett ytterligare sätt att öka motivationen är att sätta upp förslagslådor där personalen kan lämna förslag till ytterligare besparingsmöjligheter.

Sammanfattningsvis kan konstateras att medverkan av personal i energisparprojekt i hög grad är en fråga om information. I initialfasen av ett projekt räcker ofta enkel information för att motivera personalen att delta. Under programmets gång blir det alltmer viktigt att informera personalen om vilka bidrag till energibesparingar deras ansträngningar ger. Det är också viktigt att företagets ledning deltar i programmet och att man tydligt redovisar sitt stöd för projektet.

2.8 Styr- och övervakningssystem

Ett sätt att automatisera styrning- och övervakning av installationstekniska system i byggnader är att installera någon form av styr- och övervakningssystem, SÖS (på engelska benämns dessa ofta BMS *Building Management System* eller mer specifikt BEMS *Building Energy Management System*). Med ett utbyggt SÖS kan de flesta installationer i en byggnad kontrolleras, inkluderande hissar, brandlarm, etc.

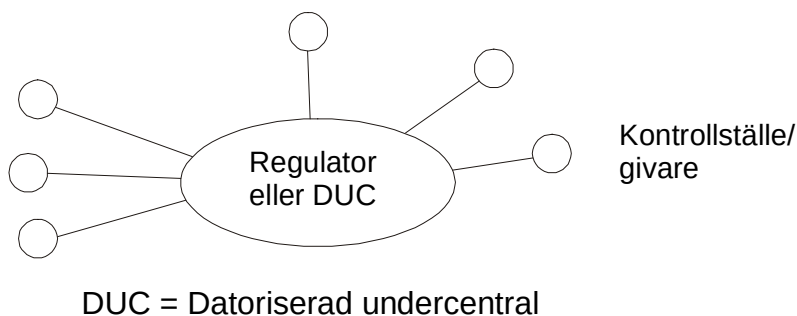
Skillnaden mellan olika typer av SÖS är stor. De enklaste systemen är fysiskt knutna till, och kontrollerar, en enstaka apparat. Ett exempel kan vara närvarogivare som är inbyggda i en lamparmatur och som tänder eller släcker belysningen beroende på om någon befinner sig i utrymmet eller inte. Om man använder endast lokala SÖS kan man inte utnyttja möjligheter till att centralt ändra börvärden (dvs inställda värden på t ex temperaturer eller driftstider). Lokala SÖS begränsar möjligheter till insamling och jämförelser av data för olika apparater och system. De system som använder tidur, bimetalldriftstater, etc, har funnits under en längre tid och kan refereras till som tidiga SÖS.

Mer avancerade SÖS är de centrala, helt datoriserade systemen. Med dessa system ges möjlighet att övervaka olika apparater och system, att lagra driftdata över tiden och att centralt

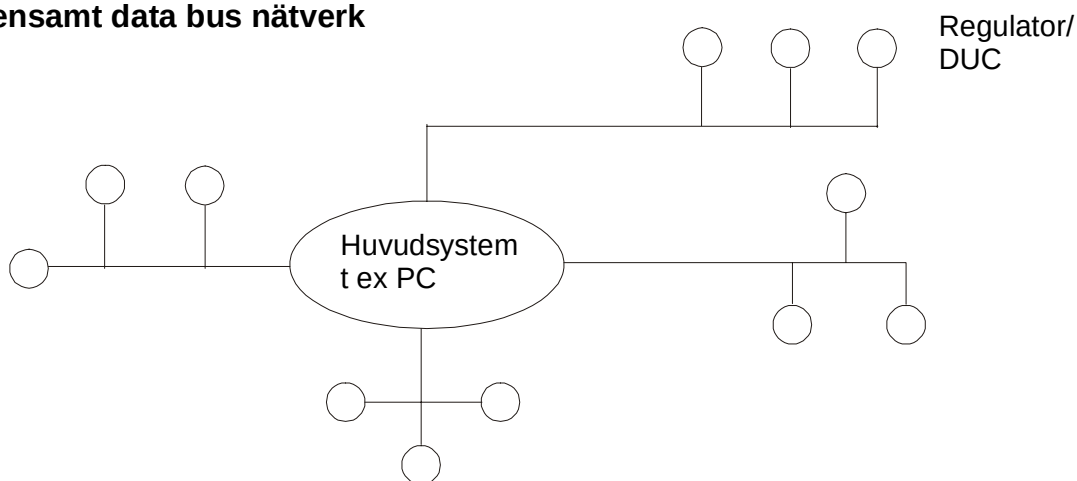
kunna ändra börvärden. Dessa system är av ett senare datum än de tidigare beskrivna och är de som man normalt tänker på när man hör om och diskuterar SÖS.

De centrala datoriserade SÖS har tillträde till givare antingen direkt i ett stjärnnätverk eller genom ett gemensamt data bus nätverk. Som figur 2.2 visar, är ett stjärnnätverk begränsat till byggnader med ett begränsat antal kontrollpunkter eftersom varje kontrollpunkt är direkt ansluten till regulator eller datorundercentral. För byggnader med ett större antal kontrollpunkter, ger normalt ett gemensamt data bus nätverk rationellare och enklare hantering.

Stjärnnätverk

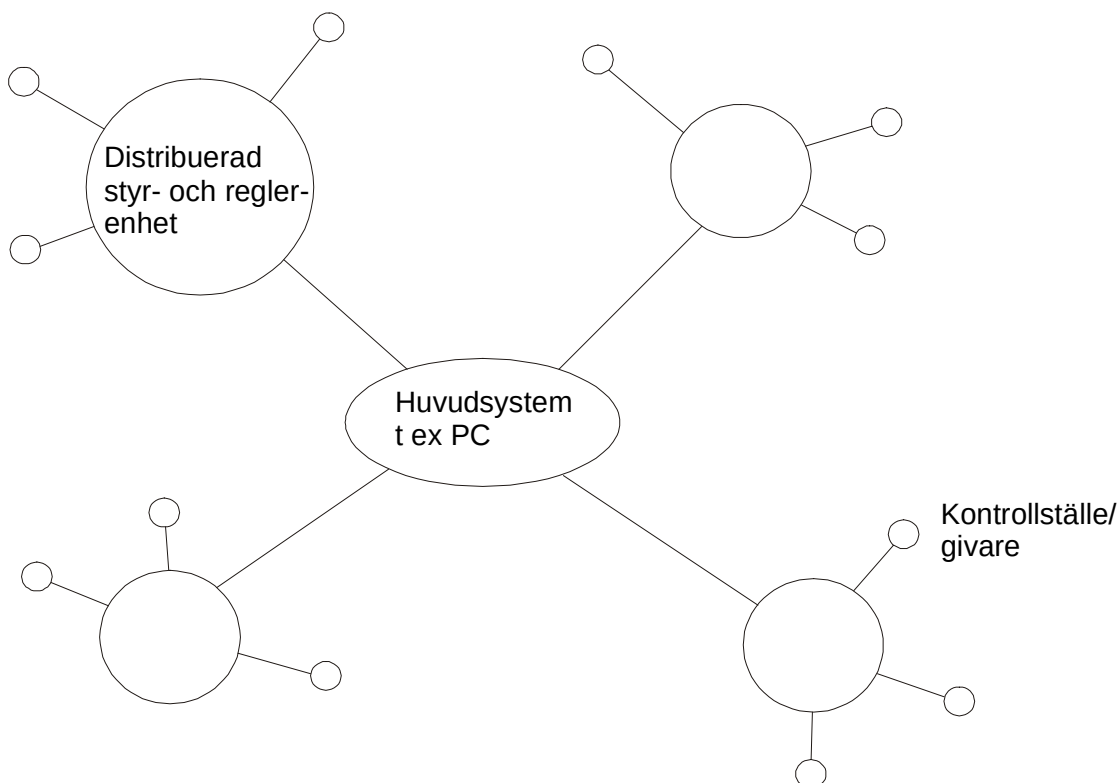


Gemensamt data bus nätverk



Figur 2.2 Schematisk uppbyggnad av ett stjärnnätverk och ett data bus nätverk.

SÖS som utnyttjar en distribuerad uppbyggnad, såsom visas i figur 2.2, blir allt vanligare. I dessa system är det decentraliserade processorer som sköter kontrollfunktionerna.



Figur 2.3 Schematisk uppbyggnad av ett distribuerat uppbyggnad av SÖS.

Ett modernt SÖS består ofta av både lokala och centrala kontrollpunkter, där alla byggnadens installationer, så långt det är tekniskt önskvärt och ekonomiskt möjligt, ansluts till den centrala datorn. På detta sätt ges utökade möjligheter att med SÖS sköta allt fler system i en byggnad. Det här ger också utökade möjligheter till att öka förståelsen för hur olika apparater och delsystem fungerar, både som enskilda komponenter och som en del av ett större system.

Beroende på typ av byggnad är det mer eller mindre vanligt att verksamheten förändras över tiden, att omorganisationer sker, att nya hyresgäster flyttar in, etc. Med ett datoriserat SÖS erhålls stor flexibilitet och tekniska installationer kan snabbt anpassas efter nya förutsättningar.

Mycket viktigt vid upphandling av ett SÖS är att tydligt definiera vilka uppgifter som systemet skall sköta.

Hårdvarans uppbyggnad varierar från leverantör till leverantör, men den grundläggande hierarkiska uppbyggnaden av ett datoriserat SÖS är gemensam och kan delas in i tre nivåer.

1. Presentationsnivå
Grafiskt gränssnitt mot användaren
2. Styr- och reglernivå
Applikationsnivå
3. Kontrollställe/givare
Stor spännvidd mellan "enkla" givare och "smarta" givare.

Ett datoriserat SÖS kan ur energisynpunkt fylla följande sex huvudfunktioner [4]:

1. kontrollera behovet, eller användningen, av energi i varje givet ögonblick,
2. kontrollera under vilka tidsperioder som utrustning använder energi,
3. handha alarm när enheter går sönder eller inte fungerar såsom avsetts,
4. underlätta mätning av hur olika installationer fungerar,
5. assistera för uppföljning av drift- och underhållsintervall av installationer,
6. öka flexibiliteten vad gäller att snabbt och enkelt förändra drift och funktion hos olika installationer vid behov.

3 KRAV OCH KRAVSPECIFIKATIONER

3.1 Verksamhetsknutna krav och byggnadsknutna krav

Merparten av kapitel 3.1 är hämtad från [23]. Ytterligare information finns för den vetgirige att hämta ur samma referens.

Orsaken till att man uppför en byggnad, eller att man bygger om eller till befintliga byggnader, är alltid att detta erfordras för ett visst ändamål eller för att bedriva en viss verksamhet. Den speciella byggnad man behöver måste då vara utformad och fungera så att det verkligen kommer att kunna användas för det ändamål och den verksamhet det är avsett för. Planeringen av en byggnad måste därför alltid utgå ifrån vad verksamheten kräver. Detta gäller oberoende av om det är frågan om att bygga nytt eller att bygga om.

För att man skall kunna använda byggnaden för ett visst ändamål, erfordras att den har en viss storlek och en rumsfördelning och rumsutformning som tillfredsställer verksamhetens behov. Det erfordras också att den har det inneklimat och den tillgång till betjänande tekniska funktioner som krävs av verksamheten.

Verksamhetens direkta behov är emellertid inte de enda som behöver beaktas. Vid uppförande av nya byggnader kan den som uppför byggnaden, byggherren, kräva att den har egenskaper som säkerställer byggnadens värde i ett längre perspektiv, att den är lättskött, osv.

Myndigheter ställer också villkor som måste uppfyllas. Här är det främst fråga om grundkrav för att säkerställa att människors hälsa och säkerhet inte riskeras.

Allmänt gäller att ett bra hus måste:

- ha en utformning som är väl lämpad för den verksamhet byggnaden är avsedd
- i alla avseenden fungera väl för de människor som vistas i den
- vara beständig, vilket för permanenta byggnader innebär att de med adekvat underhåll skall fungera utan problem i många decennier.

Dessa tre punkter är i grunden bas för allt seriöst byggande. De måste dock utvecklas, detaljeras och specificeras så att det enskilda projektet blir väldefinierat. Detta sker genom att man specificerar krav som skall uppfyllas av den färdiga byggnaden. I konsekvens med det tidigare sagda utgår kraven från de behov och önskemål som de som skall använda byggnaden, byggherren och myndigheter har.

Kraven, sammanställda i en kravspecifikation, ger förutsättningarna för projekteringen då man utformar och dimensionerar byggnaden och dess tekniska system. Innan energibesparande åtgärder börjar planeras i befintliga byggnader, är det av största vikt att de krav som skall gälla för byggnaden är fastställda. Det är dessa krav som måste utgöra de ramar inom vilka förändringar och effektiviseringar kan komma ifråga. Åtgärder som innebär att de givna kraven inte kan uppfyllas, skall således inte genomföras. Om fastighetsägaren/förvaltaren med tiden finner att något eller några krav inte är relevanta eller för snävt satta, kan och bör dessa givetvis justeras.

Olika ändamål och olika slag av verksamhet innebär olika krav. Ett bostadshus exempelvis måste uppfylla vissa krav för att kunna användas väl, medan ett forskningslaboratorium, ett sjukhus eller ett kontorshus måste ha egenskaper som är i väsentliga avseenden annorlunda.

Oberoende av vad för verksamhet det är fråga om måste kraven formuleras på ett klart och entydigt sätt.

Det är viktigt att skilja på krav som måste uppfyllas för att byggnaden överhuvudtaget skall kunna användas för sitt ändamål och krav som säkerställer byggnadens kvalitet. De krav som är en förutsättning för verksamheten i byggnaden benämns *verksamhetsknutna krav*. De krav som beskriver byggnadens kvalitet benämns *byggnadsknutna krav*. Därtill kommer *myndighetskrav*.

De verksamhetsknutna kraven karakteriseras av att man inte kan använda byggnaden för den planerade verksamheten om kraven inte uppfylls. Dessa krav måste därför alltid uppfyllas. De byggnadsknutna kraven karakteriseras av att byggnaden blir dålig om de inte uppfylls. Myndighetskrav måste uppfyllas för att byggnaden skall få byggas och användas. De har därmed i grunden samma principiella karaktär som de verksamhetsknutna kraven.

Kraven kan således delas upp i två huvudgrupper:

- *Verksamhetsknutna krav*
Krav som måste uppfyllas för att byggnaden skall kunna användas för sitt ändamål, inklusive myndighetskrav
- *Byggnadsknutna krav*
Krav som måste uppfyllas för att byggnaden skall bli bra

Inom ramen för byggnadsknutna krav formuleras krav för att säkerställa:

- effektivt utnyttjande av utrymmen
- generalitet och flexibilitet
- energieffektivitet
- minimerad livstidskostnad
- ekologi och kretsloppstänkande
- etc

De byggnadsknutna kraven är väl så viktiga som de verksamhetsknutna, men de utgör inte en direkt förutsättning för att byggnaden skall kunna användas för sitt ändamål. Deras uppfyllande får därför aldrig leda till att man åsidosätter de verksamhetsknutna kraven.

Detta kan exemplifieras med ekologi. Man uppför byggnader för att använda dem, inte för att de skall vara ekologiska. Det är dock viktigt, och idag självklart, att byggnaderna utformas med utgångspunkt i ett kretsloppstänkande och att valet av tekniska lösningar, material etc sker med ett ekologiskt tänkande som ledstjärna.

3.2 Verksamhetsknutna krav

Önskemål som kan ställas på inneklimat och betjänande tekniska installationer, samt restriktioner i fråga om störningar mm, kan uttryckas i form av verksamhetsknutna krav.

Exempel på verksamhetsknutna krav

- | | | |
|-------------------|-------------------|-------|
| - Termiskt klimat | - Dagsljusinsläpp | - Etc |
| - Ljudklimat | - Luftkvalitet | |
| - Belysningsnivå | - Elkvalitet | |

Denna listning av krav skall inte på något vis ses som fullständig utan kan givetvis kompletteras med ytterligare krav. Vart och ett av de krav som redovisas ovan kan ytterligare förfinas genom att delas upp i delkrav. En kravlista för en given byggnad med en given verksamhet bör utformas så att den eller de som tar fram en kravspecifikation utgår ifrån en så

stor mängd specifika krav som möjligt. Utifrån denna sammanställning tas sedan de krav ut som är tillämpliga på just det objekt som studeras.

Nedan ges en översiktlig förklaring till vad de ovan nämnda verksamhetsanknutna kraven kan innefatta.

Termiskt klimat

Att sätta krav på termiskt inneklimat innebär att sätta krav på de parametrar som styr en persons upplevelse av det termiska klimatet. Den parameter som har störst betydelse för termisk komfort är temperaturen. Den upplevda temperaturen beror i sig av temperaturen i luften, strålningstemperaturer, lufthastigheter, temperaturgradienter mm. För var och en av dessa parametrar kan ställas krav på maxnivåer, minnivåer, tillåten variation etc.

I [20] och däri angivna klasser för termisk kvalitet (TQ), finns rekommenderade värden för de parametrar som ingår i begreppet termiskt inneklimat. Tabell 3.1 nedan visar ett utdrag ur [20] där tre olika termiska klasser föreslås utifrån ett antal olika termiska parametrar. Det är lämpligt att även här, som tidigare nämnts, välja ut de parametrar som befinner sig viktiga för den aktuella verksamheten. För en komplett redovisning av de termiska parametrar som behandlas i [20] (t ex anmärkningar), hänvisas direkt till denna.

Tabell 3.1 Exempel på kravnivåer för termiska parametrar [20].

Pos 1	Inneklimatfaktor	Faktorvärde i kvalitetsklass				Anm
		TQ1	TQ2	TQ3	TQX	
1*	<i>Operativ temperatur (t_o)</i>					
1.1	Vinterfall					Not 1.1
	- högsta värde °C	23	24	26	Enl. spec.	
	- optimalvärde °C	22	22	22	"	
	- lägsta värde °C	21	20	18	"	
1.2	Sommarfall					Not 1.2
	- högsta värde °C	25.5	26	27	"	
	- optimalvärde °C	24.5	24.5	24.5	"	
	- lägsta värde °C	23.5	23	22	"	
2*	<i>Lufthastighet inom vistelsezon</i>					Not 2
	- vinterfall m/s	0.15	0.15	0.15 (0.25)	"	
	- sommarfall m/s	0.20	0.25	0.40	"	
3*	<i>Vertikal temperaturdiff. sommar-/vinterfall °C</i>	2.5	3.0 (3.5)	3.0 (4.5)	" "	Not 3
4*	<i>Strålningstemp assymetri mot varmt tak K</i>	4	5	7	"	Not 4
	<i>mot kall vägg (fönster) K</i>	8	10	12	"	
5*	<i>Temperaturändringshastighet °C/h</i>	-	-	-		Not 5
6**	<i>Luftfuktighet</i>	-	-	-		Not 6
7**	<i>Golvtemperatur</i>					Not 7
	högsta värde °C	26	26	(32)	"	
	lägsta värde °C	22	19	16	"	
	Enl BFS 1988:18					
	- högsta värde °C	27	27	27	"	Badrum 18 °C
	- lägsta värde °C	16	16	16	"	Barnlokaler 20 °C
	- optimalvärde °C	24	24	24	"	

8*	Temperaturreglerings- amplitud °C	±2	(±1)	"	Not 8
----	--------------------------------------	----	------	---	-------

I kapitel 3.4.3 återfinns ytterligare skrivningar om det termiska inneklimatet.

Ljudklimat

När gränsnivåer skall sättas för ljudklimat används ofta begreppet dBA. dBA ger en viktad ljudtrycksnivå i vilken olika oktavband har olika stor inverkan. Att endast använda dBA kan medföra att ljudnivån inom vissa oktavband upplevs som besvärande, även om ett givet värde på dBA inte överskrids. Därför kan det finnas anledning att komplettera värden för dBA med särskilda krav på t ex lågfrekventa ljud.

Belysningsnivå

Krav på belysning brukar vanligen ges i form av hur många lux man ska ha vid en viss plats, t ex på arbetsytor eller i korridorer. Det är vanligt att man i de krav som skall gälla för belysning anger hur stor den installerade effekten skall vara (i W/m² golvarea). När så görs är det viktigt att kravet formuleras så att det givna värdet beskriver den högsta tillåtna installerade effekten. Det finns annars risk för att det givna värdet senare tas som ett riktmärke och inte en övre gräns.

Dagsljusinsläpp

Krav kan ställas på att dagsljus skall utnyttjas så långt som möjligt för belysningsändamål och att artificiell belysning skall vara anpassad efter detta.

Luftkvalitet

Här ställs krav på högsta tillåtna värden på olika föroreningar i ineluften. Bland de föroreningar som ingår kan nämnas kolmonoxid, koldioxid, formaldehyd, ozon, partiklar från tobaksrök, mögel, etc.

Elkvalitet

Här anges krav på t ex hur mycket övertoner som maximalt får genereras av olika utrustning.

Om verksamhetsanknutna krav inte redan finns utarbetade för en organisation eller ett företag som bygger eller förvaltar byggnader, bör framtagande av sådana prioriteras. Ett tillvägagångssätt är att börja med att lista samtliga verksamhetsanknutna krav man finner i litteratur och själva kan diskutera fram. Därefter görs en grundlig genomgång av de erhållna kraven och de krav som skall finnas inom den egna organisationen tas fram. Inga krav bör förkastas utan att en dokumentation ställs samman om varför de förkastades. Det kan i en framtid bli aktuellt att använda de krav som förkastas idag och det kan då vara värdefullt att ha en fyllig dokumentation om varför ett krav en gång förkastades.

När man formulerar verksamhetsanknutna krav måste man alltid vara helt på det klara med att det verkligen är en funktion som anges och inte en av flera tänkbara åtgärder eller tekniska lösningar som kan åstadkomma den funktion som efterfrågas. Man måste alltså identifiera funktionen. Denna måste sedan uttryckas så att den blir dels entydigt definierad, dels entydigt kontrollerbar.

Det här kan exemplifieras med det verksamhetsanknutna kravet att luften inomhus skall vara ren, dvs att dess halt av partiklar och förorenande gaser inte får överskrida en viss nivå. I rum där människor är verksamma uttrycker man ofta detta genom att ange den högsta tillåtna koldioxidhalten. Detta är ett relativt grovt sätt att definiera funktionen, som dock är fullt tillräcklig i många fall.

För att koldioxidhalten skall hållas under den tillåtna nivån ventilerar man rummet med ett så stort luftflöde att koldioxidhalten inte överskrider den tillåtna gränsen. Ventilation med ett visst luftflöde är således den tekniska lösning som valts för att uppfylla det verksamhetsanknutna kravet. Krav på ett visst luftflöde är alltså inte ett verksamhetsanknutet krav eftersom luftflöde är en teknisk lösning för att åstadkomma en viss funktion, i det här fallet luftrenhet. För den som vistas i rummet är det i grunden ointressant om luftflödet är stort eller litet, bara luften i rummet uppfyller de renhetskrav man ställer.

Detsamma gäller annat som är hänförbart till tekniska lösningar. Det är viktigt för den som vistas i ett rum att luften hålls tillräckligt ren, att temperaturen hålls vid önskad nivå samt att ventilationssystemet inte ger upphov till störningar i form av ljud, drag och liknande. Däremot är det i grunden ointressant med vilka medel dessa krav uppfylls, dvs hur stort luftflödet är, hur den tillförda ventilationsluften är behandlad, hur och om luftflödet varierar eller hur luften förs till eller från rummet. Dessa frågor av största vikt när man utformar de tekniska system som skall uppfylla de ställda kraven, men de får inte ges innebörden av verksamhetsanknutna krav.

Tyvärr är det alltför vanligt att diskussioner om klimatstyrande installationer inriktas på medlen, dvs de tekniska lösningarna, istället för på funktionen, dvs vad de tekniska lösningarna skall åstadkomma. Detta leder i många fall dels till att diskussionen i sig blir egendomlig, dels till att man driver fram eller bibehåller lösningar som inte är de bästa ur funktionssynpunkt.

Vissa tekniska lösningar kan dock vara väl beprövade. Man vet att om man väljer en speciell lösning så uppfyller man ett visst verksamhetsanknutet krav. Det kan då vara försvarbart att ange denna speciella lösning som ett krav, men man måste här vara säker på att det verkligen är fråga om den lämpligaste lösningen och inte bara om en lösning bland flera möjliga.

I många fall kan det vara svårt att formulera verksamhetsanknutna krav på ett entydigt och oantastligt sätt. Vid sådana tillfällen kan det ligga nära till hands att gå in i detaljer och ange en del krav i form av systemlösningar eller till och med i form av tekniska lösningar. Dock är det klart att ju fler krav som formuleras som tekniska lösningar, desto mer tekniskt låst blir en anläggning och desto mer ansvar flyttas över till den som har formulerat kraven. Det är därför viktigt att slå fast följande:

***Krav skall inte uttryckas i form av tekniska lösningar
!***

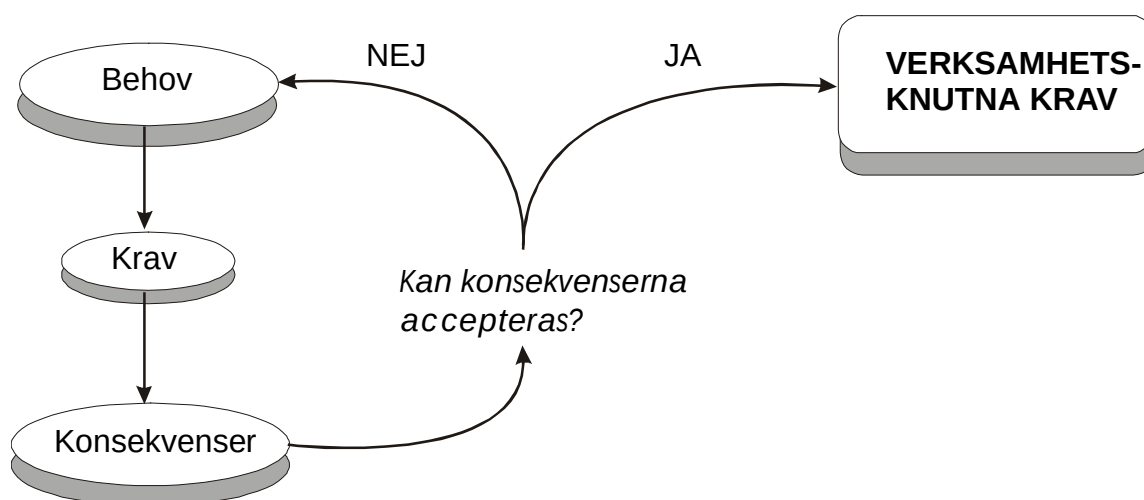
För att de krav som ställs skall kunna bilda basen för en i slutändan väl fungerande anläggning, måste de dels vara relevanta, dels vara formulerade så att de är möjliga att i efterhand kontrollera, t ex genom mätningar. När verksamhetsknutna krav ställs är det även viktigt att kravställaren är medveten om vilka konsekvenserna av de ställda kraven blir.

3.3 Verksamhetsknutna krav vid nybyggnation

Vid nyproduktion av fastigheter har det arbetats fram ett upplägg av Akademiska Hus [21], varur stommen till följande resonemang är hämtat.

En projekteringsprocess kan delas upp i de två övergripande delarna utredningsskede och projekteringsskede. I utredningsskedet fastställs de verksamhetsanknutna krav som senare skall ligga till grund för de tekniska systemvalen som görs i början av projekteringsskedet.

Fastställande av de verksamhetsknutna kraven görs genom en konsekvensanalys såsom illustreras i figur 3.1.



Figur 3.1 Utformning av verksamhetsknutna krav

I ett första skede är det viktigt att fastställa vilka behov hyresgästen/beställaren har och vilka behov som kommande verksamhet kommer att ge upphov till. Utifrån de behov som finns formuleras ett antal krav. Innan kraven fastställs som verksamhetsknutna krav går de igenom för att fastställa vilka konsekvenserna blir vid uppfyllande av de fastställda kraven. Med konsekvenser avses här komplexitet och fördyringar av de tekniska system som senare har till uppgift att uppfylla kraven. Eftersom systemlösningen ännu inte är vald går det givetvis inte att i detta skede exakt tala om hur kraven kommer att påverka systemlösningen, eller driften av densamma. Den definitiva systemlösningen väljs ju först i nästa skede av projekteringsprocessen (systemlösningsskedet). I detta skede av projekteringsprocessen är det i första hand frågan om att synliggöra konsekvenser av mera övergripande karaktär, vilka kan vara svåra att inse för den icke sakkunnige.

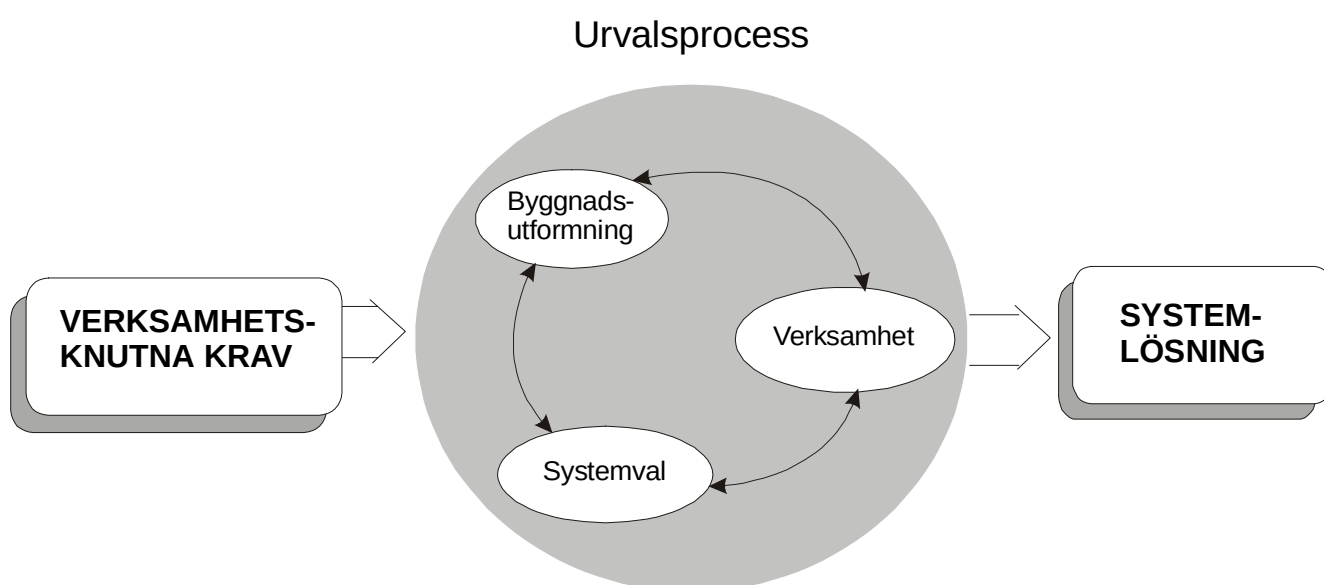
Konsekvensbeskrivning skall alltid genomföras i exempelvis följande fall [21]:

- När krav ställs på avancerad ljudisolering;
- När krav ställs på att luftfuktigheten inte får underskrida eller överstiga ett visst värde eller på att den skall ligga inom ett visst intervall;
- När krav ställs ifråga om konstanta inomhustemperaturer eller temperaturgradienter;
- När krav ställs på rening av luft från gasformiga föroreningar.

Om t ex kravet ställs på rumstemperaturen att denna skall vara 22°C hela året så kommer det att få avgörande betydelse för det system som skall temperera byggnaden, oavsett vilken systemlösningen senare blir.

Det är möjligt att de behov som skisseras i ett första skede kan ha karaktären av en "önskelista" och att när hyresgästen/beställaren ställs inför vilka konsekvenserna blir som en följd av detta eventuellt kan ompröva vissa av behoven. Det bör i vart fall vara så att man inte lämnar processen med att formulera verksamhetsknutna krav utan att vara medveten om vilka konsekvenser som hårt ställda krav kan ge upphov till vid val av systemlösning, framtida driftkostnader, behov av underhåll, etc.

Resultatet av en i projekteringsprocessen inledande process genomförd enligt ovan blir en väldokumenterad uppsättning verksamhetsknutna krav som i sin tur ger förutsättningar för att ta fram en teknisk systemlösning som uppfyller kraven med minsta möjliga energiåtgång.



Figur 3.2 Val av klimathållningssystem.

Först efter att de verksamhetsknutna kraven fastställts är det möjligt att börja analysera val av olika klimathållningssystem, eftersom det är de krav som ställs som måste utgöra grund för valet och utformningen av de tekniska lösningarna.

När de verksamhetsknutna kraven är fastställda är det så möjligt att inleda urvalsprocessen för val av tekniska systemlösningar.

Det bör ligga en väldefinierad ansvarsgräns mellan formuleringen av krav och utformningen av de tekniska lösningar.

Processen att välja ett klimathållningssystem utifrån givna verksamhetsknutna krav kan åskådliggöras på det sätt som visas i figur 3.2. Alternativa systemlösningar skall analyseras utifrån ställda verksamhetsknutna krav. Analysen skall bygga på studier av samspelet mellan byggnaden – verksamheten – tekniska systemet. Vid analysen skall de konsekvenser beaktas som valet av olika systemlösningar ger upphov till i form av anläggningskostnad, drift- och underhållskostnader, livscykelkostnader, generalitet, flexibilitet, etc.

Det är i systemlösningsskedet som utformningen av byggnadens tekniska system och deras funktion i allt väsentligt blir avgjord. Arbetsinsatserna till och med systemlösningsskedet utgör normalt en förhållandevis liten andel av de totala arbetsinsatserna under projekteringsprocessen. Detaljprojekteringen som följer när systemlösningen är fastlagd innebär vanligen betydande arbetsinsatser, men är i allt väsentligt endast ett tekniskt genomförande av de lösningsprinciper som slagits fast i systemlösningsskedet.

De stora förutsättningarna att påverka en byggnads energibehov finns således dels när de verksamhetsknutna kraven fastställs, dels när valet av tekniska lösningar görs.

Det förekommer att man utgår direkt från vissa tekniska lösningar i stället för att tänka igenom vilka krav som skall uppfyllas. Detta innebär att det viktiga blir att genomföra en viss teknisk lösning och inte att man skall säkerställa en viss funktion, som exempelvis ett visst inneklimat.

Detta är allmänt olyckligt genom att det är fråga om en sammanblandning mellan mål och medel som försvårar förståelsen av vad som är orsak och vad som är verkan, vilket bland annat utgör en grogrund för förvirrande resonemang och diskussioner. Vad som är verkligt allvarligt är emellertid att:

- Byggnaden kan få andra egenskaper än de som är verkligen viktiga för den blivande brukaren, som dock aldrig blivit uttalade och uppfångade.
- Man kan få en teknisk lösning som inte kan uppfylla de krav som borde ha ställts.
- Det inte sker någon förutsättningslös jämförelse mellan olika tekniska lösningar och man sålunda inte får den bästa lösningen, dvs byggnaden kommer att fungera sämre och bli mer oekonomisk än vad som hade blivit fallet med den funktionsmässigt och ekonomiskt optimala lösningen.
- Den tekniska utvecklingen låses och styrs i en riktning som i efterhand kan visa sig skapa problem istället för att lösa problem.

Det kan kräva viss möda att identifiera verksamhetsknutna krav och formulera dem på ett oantastligt sätt. Det är lättare och kräver mindre kunskaper att istället tala om vissa tekniska lösningar. Det är också ofta lättare att diskutera kring tekniska lösningar än att förklara vad ett visst krav faktiskt innebär.

3.4 Inomhusklimat och luftkvalitet

3.4.1 Definitioner och begrepp

Människans upplevelse av inomhusmiljön beror på en rad olika, ofta samverkande faktorer. Föreliggande kapitel fokuserar på luftkvalitet och termiskt klimat, som enligt Figur 3.3 är två sådana faktorer vilka ofta samlas under benämningen inomhusklimat. Som figuren visar finns det ytterligare en rad viktiga faktorer av teknisk karaktär (t ex ljud-, ljus- och elmiljö), vilka dock inte behandlas vidare här. Förutom tekniska faktorer har det visat sig att psykologiska och sociala faktorer kan spela stor roll för upplevelsen av inomhusmiljön. Exempelvis kan det vara viktigt att brukarna i en byggnad känner att de har en möjlighet att påverka inomhusklimatet, t ex genom fönstervädring.



Figur 3.3 Faktorer som kan påverka människans upplevelse av inomhusmiljön.

För att det skall vara möjligt att kontrollera att de krav som ställts på innemiljön är uppfyllda är det nödvändigt att uttrycka dessa i mätbara storheter. Till exempel kan krav ställas på inomhusluftens temperatur genom att man anger hur stor andel av tiden (t ex timmar per år) man kan acceptera att en viss temperatur överskrids. Vidare kan krav på inomhusluftens kvalitet ställas i form av högsta tillåtna koncentrationer av luftburna föroreningar. De undre rutorna i Figur 3.3 ger exempel på sådana mätbara storheter.

Målet med detta kapitel är dels att ge en orientering om arten och omfattningen av problem som kan anses ha en koppling till brister i inomhusklimatet, dels att sammanfatta olika krav som kan ställas på inomhusklimatet.

Ventilation

Ventilation är en av de gemensamma nämnarna i de olika avsnitten av föreliggande kapitel. Grundbetydelsen av begreppet ventilation är att det sker ett utbyte av luft i ett utrymme. Om ventilationen av en byggnad arrangeras på lämpligt sätt kan den användas för två huvudsyften, nämligen:

- temperaturhållning (t ex borttransport av värmeöverskott), och
- borttransport av luftföroreningar.

I t ex bostäder och ofta även i laboratorielokaler är det de hygieniska kraven som är dimensionerande för uteluftsflödets storlek, medan det exempelvis i kontor istället kan vara kraven på termisk komfort som är dimensionerande. Om kylbehovet täcks genom separata system, till exempel då kyltak används, kan dock ventilationens hygieniska uppgift vara dimensionerande även i kontor.

I laboratorielokaler förekommer speciella system för skyddsventilation parallellt med system för allmänventilation. Skyddsventilation syftar till att skydda personer från exponering för de föroreningar som alstras vid verksamheten i lokalerna, och/ eller till att skydda de produkter som hanteras i lokalerna från kontaminering av luftburna föroreningar. System för skyddsventilation bygger på att föroreningar fångas upp och avskiljs eller transporteras ut ur byggnaden innan de får möjlighet att spridas i lokalerna.

3.4.2 Problem som kan kopplas till inommiljön

Termisk komfort

Värmebalansen mellan en människa och hennes omgivning beror främst på luftens temperatur, luftens rörelser och strålning från ytor (t ex kalla fönsterytor) samt den aktivitetsnivå personen har och klädernas värmeisolerande effekt. En av flera viktiga parametrar i detta sammanhang är den operativa temperaturen, vilken är en sammanvägning av luftens temperatur och värmestrålningen mellan kroppen och ytor i dess omgivning.

Även om den operativa temperaturen är optimal och det inte förekommer några störande luftrörelser kan dock aldrig en och samma miljö förväntas tillfredsställa alla i en grupp bestående av flera personer. Man har visat att ca 5% av personerna i en population kan förväntas vara missnöjda med den termiska komforten, även vid termiska förhållanden som förefaller vara optimala. Möjligheten till individuell styrning av det termiska klimatet anses därför ofta vara av stort värde.

Även om en person är i termisk jämvikt med sin omgivning, och varken fryser eller tycker att det är för varmt, kan lokala problem uppstå t ex i form av en lokal avkylning av någon kroppsdel på grund av strålning eller drag. Det bör här påpekas att risken för upplevelse av drag ökar med sjunkande lufttemperatur och ökande luftrörelser (luftens hastighet och hastighetens fluktuationer). Andra problem av denna art kan orsakas av allt för kalla golv eller för stora vertikala temperaturgradienter.

När den termiska komforten skall bestämmas i ett rum kan det i många fall anses rimligt att endast ta hänsyn till den del av rummet som används. Ett viktigt begrepp i sammanhanget är således vistelsezonen. Det finns olika definitioner av vistelsezonen [12, 13], vilka dock inte berörs vidare här. Det bör emellertid framhållas att den, med hänsyn till termisk komfort, användbara delen av ett rum kan komma att begränsas beroende t ex på utformningen och placeringen av tilluftsdon. Speciellt när det är aktuellt med undanträngande ventilation, anordnat bl a genom installation av lågimpulsdon, är det viktigt att vara medveten om att det inte är möjligt att undvika en påtaglig risk för drag i området närmast tilluftsdonen.

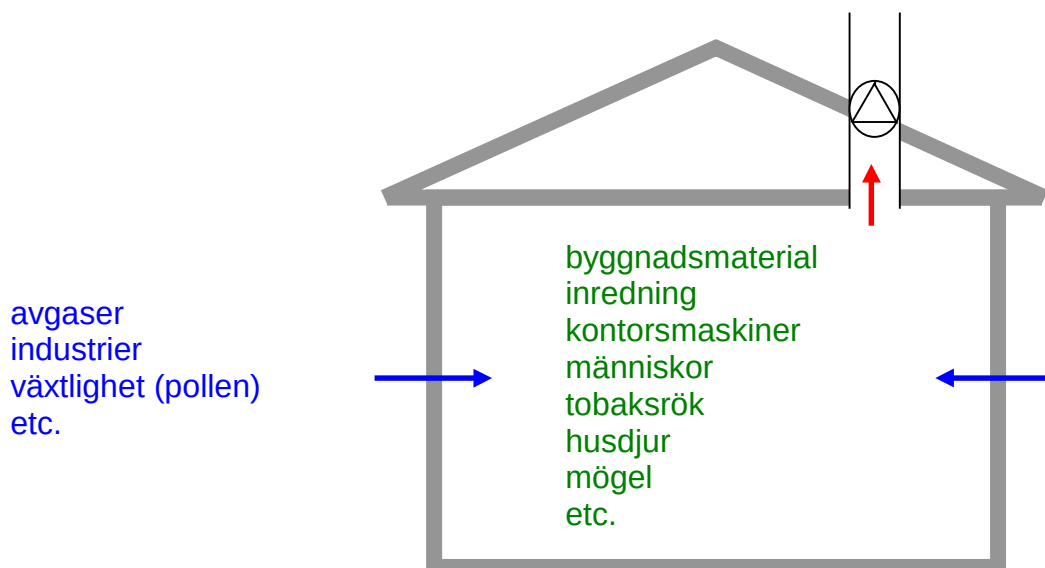
Luftkvalitet

Inomhusluftens kvalitet är starkt beroende av tilluftens renhet, vilket i sin tur innebär att utomhusluftens kvalitet kan vara av avgörande betydelse för inomhusmiljön. Under transporten genom luftbehandlings- och luftdistributionssystemen finns dock möjlighet till förbättring av luftens kvalitet, eller under olyckliga omständigheter, risk för försämring av tilluftens kvalitet.

Är luftbehandlingsanläggningen försedd med fungerande partikelfilter kommer tilluftens renhet att öka med avseende på partikelformiga föroreningar jämfört med uteluften. Idag finns även adsorptionsfilter för rening med avseende på gaser kommersiellt tillgängliga. Gasrening av ventilationsluft förekommer emellertid endast sällan i dagens luftbehandlingssystem i bostäder, kontor och andra lokaler.

De föroreningar som alstras inomhus kan ha flera olika ursprung. Bland annat kan byggnads- och inredningsmaterial avge en rad olika organiska ämnen. Vissa kontorsmaskiner kan avge bl a ozon, och de människor och husdjur som vistas i en byggnad avger ett flertal olika gaser och partiklar. Figur 3.4 visar exempel på föroreningskällor som kan inverka på inomhusluftens kvalitet.

Vissa av de luftburna föroreningar som återfinns i inomhusluften kan orsaka obehag i form av störande lukter. En rad ämnen är allergiframkallande, medan andra ämnen kan vara irriterande för människans slemhinnor. I vissa fall kan luften också innehålla ämnen som har en direkt giftig verkan.



Figur 3.4 Exempel på källor till luftburna föroreningar som kan inverka inomhusluftens kvalitet.

Genom att ventilationssystemet utformas på ett sådant sätt att det aktuella utrymmet effektivt ventileras, kan koncentrationerna av gaser och partiklar hållas på en så låg nivå att olägenheter av ovan beskrivna slag undviks. Vid korrekt utformning och lämplig placering av tilluftsdon, i kombination med en lämplig temperatur på tilluften, kan risken för lokalt förhöjda föroreningskoncentrationer, på grund av kortslutningseffekter undvikas.

En förutsättning för att det skall vara praktiskt möjligt att ventilerar ett rum så att en god luftkvalitet erhålls är att de interna föroreningskällornas styrka inte är allt för stor. En orimligt kraftig föroreningsgenerering leder till orimligt stora luftflöden, vilket i sin tur kan leda till olägenheter i form av störande lufthastigheter och hög energiförbrukning. Det bör i detta sammanhang påpekas att det finns föroreningar som inte kan transporteras bort från en byggnad genom ventilation. Ett exempel på detta är husdammkvalster och de allergen som

alstras av dessa. Eftersom dessa föroreningar utgörs av förhållandevis stora partiklar, vilka snabbt faller ur luften genom sedimentation, kan de endast i begränsad omfattning transporteras bort från inomhusmiljön med ventilationens hjälp. Halterna av dammbundna föroreningar kan temporärt stiga till höga nivåer när damm virvlar upp, t ex i samband med att personer rör sig i ett rum.

Luftens kvalitet inomhus, d v s inomhusluftens innehåll av förorenande ämnen bestäms alltså av tilluftens renhet, förekomsten, styrkan och arten av interna föroreningskällor i byggnaden samt luftflödets storlek och ventilationens effektivitet. Otillfredsställande kvalitet på luften inomhus kan följaktligen bero antingen på att föroreningsbelastningen är för hög, eller på att ventilationssystemet inte har korrekt funktion. Det kan till exempel vara så att luftflödena är korrekta och att ventilationssystemen också i övrigt fungerar som tänkt, men att verksamheten i lokalen ändrats efter projekteringen på ett sådant sätt att föroreningsbelastningen ökat. Det förefaller naturligt att t ex en permanent ökning av antalet personer inte skall företas utan att hänsyn tas ett eventuellt behov av förändrad ventilation.

Ett missnöje med inomhusluftens kvalitet kan alltså inte utan vidare uttryckas som att "ventilationen är dålig". Ett konstaterande att ventilationen i en lokal är dålig måste baseras på en jämförelse mellan ventilationssystemets verkliga funktion och den projekterade funktionen.

En förutsättning för att de krav som ställts på inomhusluftens kvalitet skall uppfyllas är att projektören, förutom kännedom om byggnadens utformning, också har insikt om de samband och faktorer som har en reell betydelse för föroreningssituationen i en byggnad.

Av avgörande betydelse är naturligtvis att de tekniska systemens funktion över tiden säkerställs. I detta sammanhang är det av vikt att systemen utformas så att service och underhåll underlättas, samt att driftspersonalen har insikt i anläggningens funktion och de nödvändiga kunskaperna för att sköta anläggningen. Detta är av vikt, inte bara som ett led i att säkerställa ett inneklimat som är i överensstämmelse med de krav som ställts, utan också för att säkerställa att anläggningen drivs på så ett energieffektivt sätt som möjligt.

Det bör påpekas att den lagstadgade obligatoriska ventilationskontrollen (OVK) syftar till att kontrollera och säkerställa att ventilationsanläggningens funktion överensstämmer med vad som var avsikten när den installerades. Avsikten med OVK är alltså inte att uppgradera anläggningen till att fungera enligt dagens krav.

Allergier kopplade till inomhusmiljön

Under de senaste årtiondena har förekomsten av allergier och annan överkänslighet ökat i stora delar av världen, och det finns belägg för att inomhusmiljön är av stor vikt i detta sammanhang. Ungefär 1/3 av barnen i Sverige har eller har haft någon form av allergisk sjukdom och risken för uppkomst av allergi förefaller vara störst under de tidiga levnadsåren [14, 15]. Det anses därför vara speciellt angeläget att säkerställa en god miljö där barn i vistas, t ex i daghem, skolor och bostäder.

Luftens innehåll av allergiframkallande och andra ämnen är av speciellt intresse när det gäller luftvägssjukdomar såsom astma och allergisk snuva. Allergiframkallande ämnen, allergener, utgörs av proteiner vilka är bundna till damm och partiklar av olika storlek. Som exempel på sådana ämnen kan katt- och hundallergen nämnas vid sidan av allergen från husdammkvalster.

Utöver luftens innehåll av allergener spelar också andra faktorer, som kan bidra till att allergier utvecklas och att de allergiska symptomen förvärras en stor roll. Avgaser från trafik och tobaksrök är exempel på sådana adjuvansfaktorer.

I samband med uppförandet av byggnader speciellt anpassade för allergiker ställs ofta krav på större uteluftsflöden än vad som annars är praxis. Vidare installeras ofta luftfilter av högre klass än vad som annars används, och installation av gasadsorptionsfilter kan göras för att minska belastningen av avgaser och andra gasformiga luftföroreningar utifrån. Ofta lägger man också stor omsorg vid valet av bygg- och inredningsmaterial, med avsikten att minimera den avgivning av organiska ämnen som kan förväntas från dessa material. Andra åtgärder som brukar anses som betydelsefulla i samband med anpassning av byggnader för allergiker är särskilt omsorgsfull städning av lokalerna, samt väl genomtänkta och fungerande rutiner för drift och underhåll av de tekniska systemen. Ovanstående punkter förefaller viktiga i alla typer av byggnader, inte bara sådana som anpassats för allergiker.

Andra inommiljöproblem

Bland människor i en större grupp är det alltid några som upplever symtom av följande slag:

- Subjektiva symtom, såsom trötthet, huvudvärk, illamående, yrsel och koncentrationssvårigheter.
- Symtom i slemhinnor såsom klåda, sveda, irritation i ögon, näsa och eller hals etc.
- Hudsymtom såsom torr hud i ansiktet etc.

Om fler personer än förväntat upplever sådana symtom och kopplar dessa till vistelse i en viss byggnad kan det vara fråga om vad som ofta kallas ett "sjukt hus". Man kan då tala om att personerna lider av sjuka hus sjukan eller SBS (Sick Building Syndrome).

Enligt Världshälsoorganisationen (WHO) uppvisar typiskt mellan 10% och 30% av brukarna i ett "sjukt hus" något eller några av de nämnda symtomen. Det bör poängteras att det råder stor variation i känslighet mellan olika individer och att det kan finnas personer som lider av SBS även i hus som inte kan klassas som problembyggnader.

SBS får inte förväxlas med allergi, utan brukar istället räknas som annan överkänslighet. Under de senaste två decennierna har SBS rapporterats främst från industriländer, speciellt USA och de nordiska länderna. Problemet är vanligare på arbetsplatser än i bostäder, och förekommer oftare i hus som byggts eller renoverats under de senaste decennierna än i äldre byggnader [16].

Mycket är fortfarande oklart vad gäller uppkomsten av SBS och vilka faktorer som är av betydelse. Man har dock lyckats identifiera olika faktorer som kan innebära en ökad risk. Man kan bli misstänka att inomhusluftens innehåll av gas- och partikelformiga föroreningar har betydelse. Dock saknas kunskap om vilka luftföroreningar som är viktigast och vid vilka koncentrationsnivåer deras inverkan blir påtaglig. Bland de luftföroreningar som studerats kan nämnas damm, flyktiga organiska ämnen av olika slag samt reaktiva gaser såsom ozon och kvävedioxid. Även om man inte kan peka ut vilka ämnen som orsakar besvär har man kunnat visa att låga luftflöden och fuktskadade byggnadsdelar har ett samband med SBS.

Ljus- och ljudförhållanden kan också nämnas bland de miljöfaktorer som kan förväntas ha betydelse, och det är inte bara hörbart buller som kan orsaka problem. Lågfrekvent ljud (infraljud) och vibrationer kan också ge upphov till besvär. Ovanstående sammanställning av miljöfaktorer är inte komplett och det finns alltså fler faktorer av intresse att studera förutom de som nämnts här. Förutom den fysiska miljön måste också inverkan av psykologiska och sociala faktorer beaktas i sammanhanget.

Sunda byggnader

Exempel på byggnader med en inomhusmiljö som bedöms god och det tillvägagångssätt man använt för att skapa dessa sunda byggnader finns dokumenterade i ett antal publikationer [17]. Det förefaller vara mycket viktigt att hela byggprocessen genomförs på ett genomtänkt sätt, och att den medvetna strävan att skapa en bra miljö startar redan i det tidiga projekteringskedet. Formulering av väl genomtänkta krav och analys av konsekvenserna av dessa krav är ett viktigt moment i sammanhanget. Man kan också dra slutsatsen att det inte finns en allena rådande teknisk lösning, utan det viktiga är att en lämplig teknisk lösning väljs, och att denna utformas och dimensioneras på ett korrekt sätt. Detta gäller såväl byggnadstekniska lösningar som tekniska system för klimathållning. Nedanstående lista ger ytterligare några punkter som bedöms vara viktiga för resultatet vad gäller kvaliteten på byggnadens inre miljö.

- Beställarkrav – analys av konsekvenser
- Brukarna representerade i projekteringsgruppen
- Kunniga och pålästa projektörer
- Fuktsäkra byggnadskonstruktioner
- Dokumenterat lågemitterande byggnads- och inredningsmaterial
- Rätt utformning och dimensionering av de tekniska installationerna
- Det finns inte någon allmängiltig ”korrekt” lösning
- Fuktsäkert byggande
- Genomtänkta drift- och underhållsrutiner
- Kunnig och engagerad driftspersonal
- Noggrann städning

3.4.3 Krav på inomhusklimatet

Vilka krav som ställs på miljön inomhus bestäms av verksamheten i byggnaden. I exempelvis bostäder, kontor och skolor ställs, som redan nämnts, krav på de förhållanden som kan påverka människans upplevelse av miljön, medan det i laboratorielokaler ofta tillkommer krav på skydd av de produkter som hanteras i den dagliga verksamheten. Vid projekteringen av en byggnad sker valet av tekniska lösningar utgående ifrån de ställda kraven och med kunskap om byggnadens utformning. I följande avsnitt ges en sammanfattning av olika krav som kan ställas på inomhusklimatet i olika slag av byggnader med olika typ av aktiviteter. Dels behandlas krav på den termiska komforten och dels krav på inomhusluftens renhet.

Vilka faktorer det bör formuleras krav för och vilken nivå kraven bör läggas på beror bl a på den verksamhet som skall bedrivas i byggnaden. Man kan härvid göra en första uppdelning mellan:

- Krav i laboratorier etc.
- Krav i icke industriella miljöer
- Speciella krav i samband med allergikeranpassat byggande

I det följande behandlas myndighetskrav som i Sverige ställs på icke industriella miljöer. Utöver detta berörs också några olika riktlinjer och rekommendationer som inte är reglerade i form av tvingande lagtexter.

Termisk komfort

Boverkets Byggregler [9] anger att byggnader som innehåller bostäder, arbetslokaler eller likvärdiga utrymmen, där personer vistas med än tillfälligt, skall utformas så att ett tillfredsställande termiskt inomhusklimat kan erhållas.

De mer konkret formulerade råden som ges i samma skrift säger bl a att den riktade operativa temperaturen i vistelsezonen skall kunna beräknas till 18°C i bostads och arbetsrum och 20°C bl a i vårdlokaler och daghem etc. Vidare bör skillnaden i riktad operativ temperatur mellan olika punkter i rummet beräknas bli mindre än 5°C. Ytemperaturen på golv skall kunna beräknas bli lägst 16°C (dock lägst 18°C i hygienrum och lägst 20°C i lokaler avsedda för barn), och högst 27°C. Vidare bör enligt byggreglernas råd lufthastigheten i vistelsezonen inte överstiga 0,15 m/s.

Utöver vad som anges i byggreglerna finns i Sverige rekommendationer för det termiska inomhusklimatet. Exempelvis har Svenska Inneklimatinstitutet publicerat riktlinjer [20], där man ges möjlighet att välja olika nivåer på den termiska komforten, enligt tre olika klimatklasser. De olika klimatklasserna innehåller mer eller mindre snäva intervall för en rad termiska klimatparametrar.

Luftkvalitet

Boverkets byggregler anger att luftkvaliteten i byggnader skall vara tillfredsställande med hänsyn till allmänna hygienkrav, och att krav på inomhusluftens kvalitet skall ställas med beaktande av den verksamhet som avses bedrivas i rummen

Som redan nämnts gäller enligt byggreglerna ett generellt krav på att rum skall ha kontinuerlig ventilation motsvarande ett lägsta uteluftsflöde om 0,35 l/s, m² golvarea när rummet används. Vidare rekommenderas för sovrum ett lägsta uteluftsflöde på 4,0 l/s och sovplats, och för samlingslokaler 7,0 l/s och person. Utöver dessa krav och råd avseende uteluftsflödets storlek ger byggreglerna rekommendationer för lägsta frånluftsflöde för olika typer av utrymmen. Angreppssättet är här alltså att föreskriva luftflöden som ger en liten risk för att luftkvalitetsproblem skall uppstå.

När det gäller tilluftens kvalitet hänvisas till de riktvärden som publicerats av Statens Naturvårdsverk avseende uteluftens föroreningsinnehåll. Vidare ställer byggreglerna krav på att inomhusluftens halt av radongas maximalt får uppgå till 200 Bq/m³ räknat som årsmedelvärde, och att gammastrålningsnivån inte får överstiga 0,5 µSv/h i rum där personer vistas mer än tillfälligt. I övrigt ställer byggreglerna inga krav på högsta tillåtna halter av luftföroreningar inomhus.

De övriga myndighetskrav som gäller i Sverige avser högsta godtagbara halt i inomhusluften av ett fåtal luftföroreningar, nämligen koldioxid, kolmonoxid och formaldehyd.

Kravet på en maximal koldioxidhalt av 1000 ppm har formulerats av Socialstyrelsen [18]. Om koldioxidhalten stadigvarande överstiger denna gräns kan miljön komma att klassas som sanitär olägenhet. Det bör i detta sammanhang framhållas att koldioxid i sig inte utgör någon hälsorisk vid de halter som normalt uppkommer, ens i lokaler med låga luftflöden och hög personbelastning. Koldioxid används istället som en indikator för andra föroreningar som alstras av människors aktivitet. Det är här fråga om både partikelformiga föroreningar och föroreningar i gasfas, av vilka flera är förknippade med störande lukter. En intressant iakttagelse är att det krävs ett uteluftsflöde på ca 7-8 l/s och person för att hålla koldioxidhalten vid 1000 ppm, alltså råder det en god överensstämmelse mellan det angivna kravet på koldioxidhalt och byggreglernas rekommendation på 7 l/s och person i samlings-salar.

I Socialstyrelsens författningssamling anges också att koncentrationen av kolmonoxid i inomhusluften maximalt får tillåtas uppgå till 2,0 ppm och att formaldehydhalten inte får överstiga 0,2 ppm [19].

Utöver de ovan berörda myndighetskraven finns i Sverige rekommendationer för luftens renhet. Exempelvis har Svenska Inneklimatinstitutet publicerat riktlinjer, där man på motsvarande sätt som för termiskt klimat ges möjlighet att välja mellan tre olika luftkvalitets-klasser [20]. Varje luftkvalitetsklass innebär olika maximala halter av ett större antal föroreningar än vad som omfattas av de svenska myndighetskraven. Bl a ges rekommendationer avseende högsta godtagbara halter av kvävedioxid, ozon och damm.

4 METODIK FÖR IDENTIFIERING AV BYGGNADER MED ÅTGÄRDSBEHOV

Vid arbete med att identifiera byggnader med behov av åtgärder, kan byggnaderna identifieras på olika sätt. Enligt kapitel 2 görs denna bedömning i ett skede av energihanteringsprocessen där man främst har historiska data att tillgå. Byggnader med åtgärdsbehov kan identifieras på olika sätt. Här redovisas övergripande fyra sätt:

1. Synpunkter från användare.
2. Genomgång av nyckeltal.
4. Energiförbrukningen i varje byggnad jämförs fortlöpande med sig själv.
3. Kontinuerligt arbete med analytisk genomgång av energibehov hos aktuella byggnader. Användning av simuleringsprogram.

4.1 Synpunkter från användare

Genom att vara lyhörd för synpunkter från hyresgäster eller andra användare av byggnaderna, kan värdefull information erhållas. Synpunkter kommer ofta i form av klagomål på någon funktion eller på inneklimatet. De bakomliggande faktorerna till klagomålen kan vara många (se kapitel 3). När klagomålen rör någon typ av funktion hos tekniska installationer, kan det ofta härledas till styr- och reglerproblem. Lika ofta är dessa problem lätt avhjälpta genom att kontrollera och ställa in nya börvärden, drifttider, etc.

De bakomliggande orsakerna till klagomål påverkar ofta även energiförbrukningen. Ett enkelt exempel på detta är felaktiga drifttider.

I detta sammanhang bör man komma ihåg att en byggnad inte behöver vara effektiv ur energisynpunkt, även om inga klagomål finns från brukare. I byggnader där samtliga aktiva personer i byggnaden är nöjda med inneklimatet, t ex, är det inte ovanligt att man kör värme- och kylsystem samtidigt. När mer kyla tillförs byggnaden än den egentligen kräver för att de termiska kraven skall upprätthållas, kompenseras detta genom att tillföra även värme. Således upplever brukarna ett bra klimat, medan anläggningen förbrukar både mer värme och kyla än den skulle behöva.

En mera aktiv metod för att kunna få in och dra nytta av synpunkter från hyresgäster och andra användare, är att använda sig av enkätundersökningar. Sådana kan ge mycket värdefull information om de hanteras på rätt sätt. En enkätundersökning måste vara väl genomtänkt, både vad gäller enkätinnehållet och vad gäller den praktiska hanteringen av hur enkätsvaren skall utvärderas och komma till användning.

4.2 Genomgång av nyckeltal

Ett nyckeltal anger energi- eller effektbehov för en byggnad i förhållande till något karakteristiskt mått för byggnaden och kan generellt skrivas som:

$$\text{Nyckeltal} = \frac{\text{Energirelaterad parameter}}{\text{Fysisk parameter som karakteriserar byggnad eller system}}$$

Exempel på ett nyckeltal som ofta används är årsvis värmeförbrukning per golvareanhet (kWh/m²).

Nyckeltal måste inte gälla för en hel byggnad, utan kan brytas ned i mindre beståndsdelar där man t ex betraktar belysningssystem för sig, luftbehandlingssystem för sig, etc. Nyckeltal måste således vara knutna till de data som finns uppmätta för en given byggnad, eller de data som man kommer att registrera, oberoende av om hela byggnader samtidigt studeras eller delsystem var för sig. Det är meningslöst att tala om nyckeltal vilka innehåller storheter som inte kommer att mätas.

Nyckeltal är något som används vid jämförelser. Genom att använda nyckeltal är det möjligt att snabbt och effektivt urskilja byggnader som avviker starkt från andra byggnader inom samma bestånd. Ett nyckeltal är i sig inget värt om det inte finns motsvarande nyckeltal för andra byggnader att relatera till.

Årsvisa genomgångar görs av nyckeltal som beskriver byggnadens användning av energi. Åtgärdsbehov bedöms för byggnader som avviker från övriga byggnader med samma klassificering, utifrån storleken på avvikelser. Här används således nyckeltal för att bedöma lokaler med en och samma klassificering med varandra. Jämförelser mellan byggnader sker årsvis.

Med klassificering avses att byggnaderna måste sorteras i grupper som gör att byggnaderna inom respektive grupp är jämförbara. Det är t ex inte meningsfullt att jämföra nyckeltal för en kontorsbyggnad med nyckeltal för ett äldre flerbostadshus. Beroende på fastighetsbeståndets utseende kan mer eller mindre arbete behöva läggas ner på att göra en korrekt klassificering av byggnaderna. Som exempel på hur en sådan klassificering kan gå till redovisas nedan ett relativt omfattande exempel för skolor och daghem. Gången vid klassificeringen kan givetvis användas även för andra typer av byggnader.

Exempel på hur byggnader kan klassificeras i olika grupper för att kunna jämföras med nyckeltal – skolor och daghem.

I ett bestånd av daghem och skolor kan ingå byggnader med stor skillnad i ålder, stor skillnad i installationsnivå, stor skillnad i utnyttjandegrad, etc. Redan innan nyckeltal formuleras står det klart att dessa skillnader mellan byggnaderna inom fastighetsbeståndet måste tas hänsyn till. Nyckeltal som beskriver användningen av t ex värme kommer att skilja mycket mellan olika byggnader, utan att för den skull någon av byggnaderna med nödvändighet behöver vara ineffektiv ur energianvändningssynpunkt. Dessa aspekter måste tas hänsyn till i framtagandet av lämpliga nyckeltal för att underlätta jämförelser och för att undvika missförstånd.

Innan vi går vidare med utformningen av nyckeltal kan det vara lämpligt att påminna om vad som åsyftas med begreppet energieffektivitet (redovisas även i kapitel 1).

En energieffektiv utformning av en byggnad innebär minsta möjliga köpta årliga energi (uppdelad i värme och driftel) genom utformning av såväl byggnaden som helhet, som varje enskild detalj, så att:

- *inga åtgärder som vidtas för att minska den köpta energin på något sätt får äventyra de funktionskrav som byggnaden och dess tekniska system måste uppfylla. Dessa funktionskrav, såväl till typ som nivå, måste vara väl definierade innan några energiminskande åtgärder studeras.*
- *alla energiminskande åtgärder som vidtas måste vara lönsamma utifrån ett förutbestämt mått på kostnadseffektivitet.*

Här kan man se två principiellt olika sätt att bygga upp nyckeltal. Det ena är att man tar fram nyckeltal i vilka direkt ingår skillnaderna mellan fastigheterna i hela beståndet. En metod för att göra detta skulle vara att multiplicera nyckeltal med konstanter, vilka är olika för olika kategorier byggnader i beståndet. Genom användning av dessa konstanter skulle man således få fram värden på nyckeltal, sk ledtal, vilka kan användas för direkta jämförelser mellan samtliga byggnader i beståndet. En nackdel är att de ledtal som tas fram på detta sätt inte visar en verklig förbrukning, utan en som är omräknad för att kunna användas för jämförelser. Förmodligen leder ansträngningen att ta fram nyckeltal på detta generella sätt till att man mister känslan för hur varje enskild byggnad fungerar.

Det andra sättet är att dela in beståndet av byggnader i olika kategorier och att därefter inom varje kategori göra jämförelser av energianvändningen. Med detta sätt att använda nyckeltal skulle således inte byggnader i olika kategorier kunna jämföras direkt med varandra. Här skulle det vara lämpligt att inom varje kategori ta fram ledtal vilka skulle användas som ett mått på en energieffektiv byggnad inom kategorin.

Det senare av de två ovanstående sätten att bilda nyckeltal rekommenderas. Nyckeltal framtagna på detta sätt ger användaren en direkt känsla för den verkliga energianvändningen i en byggnad, till skillnad från det först beskrivna sättet.

Viktigt att tänka på är dessutom att använda en tillräcklig mängd nyckeltal så att det man vill kontrollera verkligen blir kontrollerat, samtidigt som mängden nyckeltal inte blir för stor. Det finns ingen anledning att ta fram och redovisa nyckeltal som inte ger direkt användbar information. Att redovisa en större mängd nyckeltal än nödvändigt kan tvärtom leda till att överblicken försvåras och att de viktiga nyckeltalen inte framträder som de borde.

Energirelaterade parametrar

De energirelaterade parametrar som bör användas och som i stort beskriver varje byggnads totala energianvändning är byggnadens totala värmeanvändning, byggnadens totala elanvändning och byggnadens behov av värme för uppvärmning av tappvarmvatten. De energirelaterade parametrarna skulle således vara:

- *årlig köpt värmemängd för uppvärmningsbehov (innefattar både radiatorvärme samt värmning av tilluft i förekommande fall), i kWh.*

- årlig köpt värmemängd för tappvarmvattenproduktion, i kWh.
- årlig köpt elenergi till byggnaden/fastigheten, i kWh.

Fysiska parametrar som karakteriserar byggnad eller system

Det finns en mängd parametrar som karakteriserar en byggnad eller ett system i en byggnad. När nyckeltal främst skall användas till att identifiera byggnader som markant skiljer sig från andra inom samma kategori, är det rimligt att med de fysiska parametrarna beskriva byggnaden som helhet och inte uppdelad i olika system.

Det normalt mest använda nyckeltalet är energiförbrukning per golvarea. För att få ett riktvärde är det därför praktiskt viktigt att ta fram detta nyckeltal, även om detta i det praktiska arbetet, särskilt med skolor, bör få en underordnad betydelse. Den golvarea som normalt används och även föreslås användas är bruksarean (BRA), vilken innefattar lokalarea (LOA) samt övrig area (ÖVA).

Eftersom skolor kan vara vitt skilda i ålder varierar även rumshöjden mellan olika skolor. För att komma till rätta med detta bör byggnadsvolymen användas som fysisk parameter för att karakterisera byggnaden. Byggnadsvolymen beräknas som BRA multiplicerat med den genomsnittliga takhöjden. Ifall undertak förekommer bör rumshöjden ändå beräknas som om undertak saknas.

De nyckeltal som bildas med rumsvolymen som bas bör också vara de nyckeltal som används i det praktiska arbetet med kontinuerlig energiuppföljning.

I tabell 1 återfinns sammanställt de nyckeltal som föreslås användas för energiuppföljning och för sitt energieffektiviseringsarbete med skolor och daghem.

Tabell 4.1 Sammanställning av aktuella nyckeltal för skolor och daghem.

Energirelaterade parametrar →	Årlig köpt mängd elenergi [kWh]	Årlig köpt värmemängd för uppvärmningsbehov [kWh]	Årlig köpt värmemängd för uppvärmning av tappvarmvatten [kWh]
Fysiska parametrar för att karakterisera byggnaden ↓			
m ² (bruksarea)	$\frac{kWh}{m^2}$	$\frac{kWh}{m^2}$	$\frac{kWh}{m^2}$
m ³ (baserad på bruksarea)	$\frac{kWh}{m^3}$	$\frac{kWh}{m^3}$	$\frac{kWh}{m^3}$

Som nämnts tidigare bör de nyckeltal som baseras på byggnadens volym vara de som kommer till praktisk användning i det egna arbetet. Nyckeltal baserade på BRA bör användas sparsamt och främst då jämförelser sker med fastighetsbestånd utanför det egna.

Uppdelning av byggnadsbeståndet i olika kategorier

Om nyckeltal enligt tabell 1 tas fram för samtliga byggnader i ett bestånd av skolor och daghem och jämförelser sker förutsättningslöst, kommer (som tidigare nämnts) mycket stora skillnader att fås mellan byggnader med största respektive minsta nyckeltal.

Detta speglar inte byggnadernas faktiska energieffektivitet, utan istället att byggnadernas förutsättningar skiljer vad gäller klimatskal, installationer och beläggning.

För att kunna göra rättvisande och praktiskt användbara jämförelser mellan byggnader krävs det att beståndet delas in i olika grupper (klassificeras) eller, som det refereras till i fortsättningen, olika kategorier. Indelningen i kategorier bör göras på ett sådant sätt att det blir möjligt att jämföra byggnader inom en och samma kategori med varandra. En sådan uppdelning i kategorier kan göras på olika sätt.

Ett sätt är att utgå ifrån funktionskrav. Som redan diskuterats i den detaljerade beskrivning av vad begreppet energieffektivitet innefattar, spelar funktionskrav här en avgörande roll. Därför kan man i ett längre perspektiv se att det är de funktionskrav som är ställda på byggnaden som skall avgöra vilken kategori den skall tillhöra. Användning av funktionskrav för kategoriindelning ger en direkt koppling till energieffektivitet.

För praktisk användning i närtid är det dock förmodligen bättre att använda något annat mått vilket är väl dokumenterat och lätt att både förstå och tillämpa. Här kan man se två möjligheter. Den första är att kategorisera byggnader efter den byggstandard som gällde då byggnaden uppfördes eller som gällde då omfattande upprustningsarbeten genomfördes. Genom att använda byggstandard som bas för att kategoriindela byggnader, uppnås i viss mån något som kan liknas vid uppdelning enligt funktionskrav. Det andra är att mera handfast dela upp beståndet efter ålder, t ex byggnader uppförda under samma årtionde hamnar i samma kategori.

Den uppdelning i kategorier som rekommenderas är den som delar upp beståndet efter den "byggstandard" som var gällande vid tiden för byggnadens uppförande eller som gällde då omfattande upprustningsarbeten genomförts. Utöver detta föreslås byggnaderna inom respektive kategori indelas i grupperna ventilationssystem med och utan värmeåtervinning. Denna kategoriindelning har fördelen av att vara enkel och gripbar för alla som kommer i kontakt med den. Genom att också väga in vilken typ av ventilationssystem som används möjliggörs en gruppering av system som kräver mycket värme (utan värmeåtervinning) och de som kräver mindre (med värmeåtervinning). Ventilationssystem med frånluftsvärmepump bör behandlas som ventilationssystem med värmeåtervinning.

En kategoriindelning enligt ovan skulle rent praktiskt göras genom att först gruppera samtliga byggnader i kategorier efter ålder. Uppdelningen sker förslagsvis i följande kategorier:

- uppförda före 1940*
- uppförda 1941-60*
- uppförda 1961-75 (BABS)*
- uppförda 1976-80 (SBN 75)*
- uppförda 1981-89 (SBN 80)*
- uppförda efter 1990 (NR)*

Inom varje ålderskategori skulle byggnaderna därefter delas upp i två grupper: de med och de utan värmeåtervinning på ventilationsluften. Det innebär att varje ålderskategori av byggnader skulle få två undergrupper baserade på ventilationssystem.

Ett enkelt sätt att benämna vilken kategori en byggnad tillhör kunde vara att koda byggnaderna så att en som är byggd före 1940 och saknar värmeåtervinning kodas 40U, medan en byggnad som är uppförd på 1980-talet och är försedd med värmeåtervinning kodas 81-89M.

För skolbyggnader bör utöver funktionskraven hänsyn tas även till hur byggnaderna nyttjas. Om en och samma byggnad t ex nyttjas olika två på varandra följande år och byggnadens energieffektivitet bestäms utifrån nyckeltal, skulle byggnaden kunna bedömas som energieffektiv det ena året och ineffektiv det följande. För att undvika missförstånd bör någon parameter som beskriver skolbyggnadens nyttjande också finnas med i bedömningen av energieffektivitet.

En användbar parameter som väl beskriver hur en byggnad nyttjas kallas nyttjandegrad. Nyttjandegrad för en skolbyggnad kan skrivas som:

$$\text{Nyttjandegrad} = \frac{\text{Verklig bokningstid (timmar per år)}}{8760 \text{ (timmar per år)}}$$

Nyttjandegraden kan användas inom varje kategori för skolbyggnader, t ex 40U eller 81-89M, genom att varje nyckeltal multipliceras med en korrektionsfaktor som tar hänsyn till den aktuella skolans nyttjandegrad i förhållande till medelnyttjandegraden för samtliga skolor. En sådan korrektionsfaktor får följande utseende:

$$\text{Korrektionsfaktor} = \frac{\text{Nyttjandegrad för aktuell byggnad}}{\text{Medelnyttjandegrad för hela beståndet}}$$

I skolor används den största delen av driftel till belysning och ventilation. Således bör användningen av el öka med ökande beläggning. Samtidigt kommer en ökad beläggning att medföra att internt genererat värme ökar, dels på grund av att de personer som befinner sig i lokalerna avger värme, dels på grund av att belysningen avger värme. Behovet av värme för uppvärmningsändamål kommer således att minska med en ökad beläggning. Användningen av tappvarmvatten kan också relateras till beläggningen; stor beläggning - ökad användning av tappvarmvatten.

- De nyckeltal som används för att beskriva en skolbyggnads användning av värme för uppvärmningsändamål skall multipliceras med korrektionsfaktorn.
- De nyckeltal som används för att beskriva en skolbyggnads användning av el skall divideras med korrektionsfaktorn.
- De nyckeltal som används för att beskriva en skolbyggnads användning av värme för uppvärmning av tappvarmvatten skall divideras med korrektionsfaktorn.

Om korrektionsfaktorn benämns KF och används på nyckeltalen i tabell 1 fås:

Tabell 4.2 Användande av korrektionsfaktor för att ta hänsyn till utnyttjningsgrad.

Energirelaterade parametrar → Fysiska parametrar för att karakterisera byggnaden ↓	Årlig köpt mängd elenergi [kWh]	Årlig köpt värmemängd för uppvärmning s-behov [kWh]	Årlig köpt värmemängd för uppvärmning av tappvarmvatten [kWh]
m² (bruksarea)	$\frac{kWh}{m^2} \cdot \frac{1}{KF}$	$\frac{kWh}{m^2} \cdot KF$	$\frac{kWh}{m^2} \cdot \frac{1}{KF}$
m³ (baserad på bruksarea)	$\frac{kWh}{m^3} \cdot \frac{1}{KF}$	$\frac{kWh}{m^3} \cdot KF$	$\frac{kWh}{m^3} \cdot \frac{1}{KF}$

4.3 Energiförbrukningen i varje byggnad jämförs fortlöpande med sig själv

Varje byggnads energiförbrukning jämförs fortlöpande med sig själv, vilket innebär att energiförbrukningsstatistik används för att bedöma om en enskild byggnads energistatus försämrats.

Eftersom byggnaders värmebehov för uppvärmning påverkas kraftigt av det omgivande klimatet, krävs det ofta att hänsyn tas till hur klimatet gestaltat sig under den period värmebehovet mätts. Detta benämns normalårskorrigerings och innebär att den uppmätta värmemängden omräknas så att den motsvarar förbrukningen under ett normalt klimatår. Det främsta syftet med en sådan omräkning är att värmeförbrukning för en eller flera byggnader under ett år kan jämföras med tidigare förbrukningar, oberoende av hur klimatet varit under det enskilda året. Det innebär att andra faktorer som påverkar värmebehovet, exempelvis brukarvanor, installationsteknisk och byggnadsteknisk standard, kan bedömas vid en jämförelse.

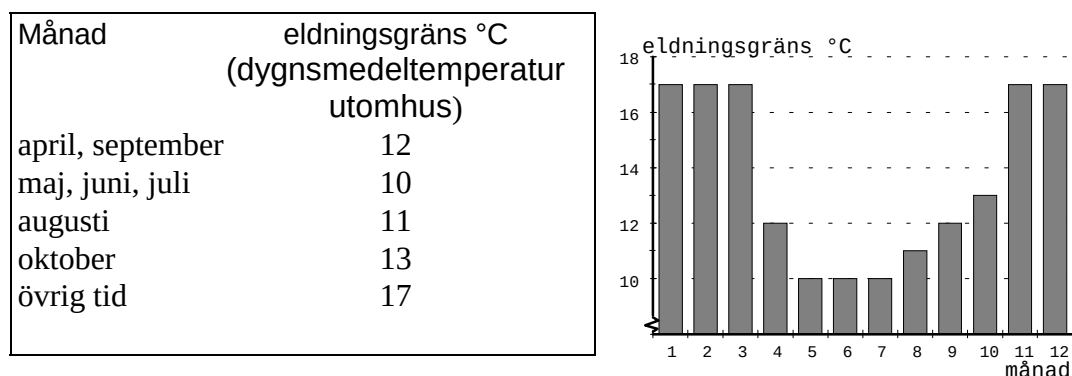
Vid en normalårskorrigerings skall först och främst det aktuella året eller periodens klimat jämföras med normala klimatförhållanden och ge en korrektionsfaktor. Därefter ska denna korrektionsfaktor tillämpas på den del av värmebehovet som är klimatberoende.

Den traditionella metoden att karakterisera klimatet, vad avser uppvärmningsbehov, är med graddagar. Denna metod har både fördelar och nackdelar men de tidigare överväger normalt, vilket medfört att metoden används flitigt i stora delar av världen. I Sverige har en mer detaljerad modell utvecklats, som även tar hänsyn till solinstrålning och vindpåverkan på byggnader av olika ålder och standard. Modellen ger ett "energiindex" som medger normalårskorrigerings av enskilda byggnader eller homogena byggnadsområden med större noggrannhet än med de enkla graddagarna. Energiindex är dock inte spritt i någon större omfattning medan de traditionella graddagarna används flitigt av förvaltare och energiverk.

En tredje metod som kommer all starkare är korrigerings med hjälp av energisignatur. Metoden har fördelar som överträffar de två andra, vilket gör den mer och mer populär. Både graddagsmetoden och energisignatur beskrivs nedan.

4.3.1 Graddagsmetoden

Graddagar beräknas av Statens Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) enligt följande traditionella regler. Utgående från dygnsmedeltemperaturer, beräknas skillnaden mellan 17°C och utetemperaturen för varje dygn och summeras per månad och per år. För att ta hänsyn till byggnadens interna värmegenerering i form av solinstrålning, personvärme etc., ansätts rumstemperaturen till 17°C i stället för den verkliga, 21 - 22°C. Under vår, sommar och höst påverka solinstrålningen uppvärmningsbehovet i allt större omfattning, vilket tas hänsyn till genom att uppvärmningen antas avbrytas vid en lägre utetemperatur. Denna eldningsgräns är definierad för varje månad enligt följande:



Figur 4.1 Eldningsgränser använda av SMHI vid beräkning av graddagar.

De graddagar denna metod ger är enkla att förstå och acceptera och bedöms normalt som tillräckliga för att beskriva klimatet. Under årets varmare period då lägre eldningsgränser används, ökar osäkerheten hos metoden. Även när kortare tidsperioder eller enskilda byggnader studeras ger metoden ett osäkert mått på värmebehovet. Avsikten med metoden är att normalårskorrigera värmeförbrukningen i bostadshus och kanske framförallt äldre sådana, eftersom de angivna eldningsgränserna ansatts för ett antal år sedan.

Praktiskt tillämpas normalårskorrigerings med hjälp av graddagar endast på bostadshusens del av värmebehovet som är klimatberoende. Detta görs normalt genom att den delen av värmebehovet som är oberoende av klimatet särskiljs från det totala värmebehovet enligt följande:

$$Q_{\text{tot,norm}} = Q_o + (Q_{\text{tot}} - Q_o) \frac{G_n}{G_a}$$

där

$Q_{\text{tot,norm}}$ = byggnadens totala värmebehov, normalårskorrigerat (MWh)

Q_{tot} = byggnadens totala värmebehov, verkligt uppmätt (MWh)

Q_o = klimatberoende värmebehov (MWh)

G_a = aktuellt eller verkligt antal graddagar under perioden (°C·dag)

G_n = normalt antal graddagar under perioden (°C·dag)

Det klimatberoende behovet består i huvudsak av värme för tappvarmvattenberedning och varmvattencirkulation. Denna värmemängd är sällan känd utan ansätts normalt enligt någon schablon. Ett vanligt mått hamnar på ca 30% vid normalårskorrigerings av bostäder, vilket används av t ex Göteborg Energi. Ett färskare värde som tagits fram på uppdrag av Svenska Fjärrvärmeföreningen [5], hamnade på 32% för fjärrvärmeansluten bebyggelse i Sverige.

Nedan ges ett exempel på hur man praktiskt går till väga för att normalårskorrigera värmeförbrukningen för ett bostadshus. Det är en verklig byggnad, belägen i Göteborg, som ligger till grund för de använda värdena.

Exempel:

I exemplet visas hur man går till väga för att beräkna en normalårskorrigerad värmeförbrukning för ett bostadshus, utifrån uppmätta månadsvisa totala värmeförbrukningar, dvs inkluderande värme för tappvarmvatten och vvc.

Det är lämpligt att utgå ifrån en uppställning enligt den som redovisas i tabell 4.2. Ingående parametrar i tabellen är de som används vid beräkningen av den normalårskorrigerade värmeförbrukningen, förutom de sista två kolumnerna vilka är resultat av beräkningen

Tabell 4.2 Normalårskorrigerad.

Period [år-mån]	Tot. Värme- förbr. [MWh]	Ber. Tappvv. förbr. [MWh]	Graddagar normalår	Graddagar mätår	Korrigerad värmeförbr [MWh]	Verklig Korrigerad [%]
1990-4	32.1	9.6	358	277	38.7	83
1990-5	22.8	6.8	126	71	35.2	65
1990-6	9.9	3.0	5	0	9.9	100
1990-7	8.6	2.6	0	0	8.6	100
1990-8	8.6	2.6	1	0	8.6	100
1990-9	13.5	4.1	90	122	11.0	123
1990-10	33.1	9.9	263	254	33.9	98
1990-11	42.5	12.7	397	418	41.0	104
1990-12	37.9	11.4	526	466	43.1	90
1991-01	45.1	13.5	577	481	51.4	88
1991-02	48.5	14.6	536	536	48.5	100
1991-03	37.5	11.3	501	403	43.9	85
Hela året	345.1	103.5	3380	3028	373.8	92

För t ex april månad beräknas det normalårskorrigerade värdet på följande vis:

$$Q_{\text{tot, norm}} = Q_0 + (Q_{\text{tot}} - Q_0) \frac{G_n}{G_a} = 9.6 + (32.1 - 9.6) \frac{358}{277} = 38.7 \text{ MWh}$$

Motsvarande värden beräknas på samma sätt för övriga månader, utom för månaderna juni, juli och augusti. Som tabell 4.2 visar är antalet graddagar 0 för dessa tre månader. Det innebär att det inte finns något uppvärmningsbehov för dessa tre månader, utöver värme för tappvarmvatten. Därför görs ingen korrigering av uppmätta värden för dessa tre månader. Vi inser att de beräknade siffrorna för tappvarmvattenbehov i relation till totalt värmebehov här blir missvisande. Tappvarmvattenbehovet under de varmaste månaderna är inte 30% av totala värmeförbrukningen.

En jämförelse mellan de verkligt uppmätta värdena för året och de normalårskorrigerade, visar att de uppmätta indikerade en betydligt lägre värmeförbrukning än de normalårskorrigerade (8% lägre vid en helårsjämförelse). En okritisk användning av uppmätta värden, utan att ta hänsyn till om klimatet ute skilt

från ett normalår, kan således ge helt missvisande indikationer vad gäller värmeförbrukning och eventuella förändringar i denna.

Som tidigare nämnts kan det vara missvisande, och ibland direkt felaktigt, att använda den ovan genomgångna normalårskorrigeringen med hjälp av graddagar för andra byggnader än bostäder. Även för modernare bostäder är det tveksamt om modellen är lämplig. En förklaring till varför så är fallet återfinns i kapitel 8, där en grundlig genomgång görs av hur byggnader fungerar värmetekniskt, vad som skiljer moderna bostadshus från äldre, vad som skiljer bostadshus från lokaler, mm.

4.3.2 Energisignatur

En annan metod som kan användas för normalårskorrigerig är med hjälp av sk energisignatur. Denna bygger i princip på att byggnadens beteende orsakat av klimatet fastställs för varje enskild byggnad, [6]. Den enklaste formen av energisignatur, vilken redovisas nedan, relateras endast till utetemperaturen. Därigenom blir modellen mycket lätt att använda samtidigt som den speglar den verkliga förbrukningsprofilen för en byggnad. Man kan säga att energisignaturen ger en byggnads "fingeravtryck". På samma sätt kan man säga att uppföljning med graddagar och normalårskorrigerig endast ger ett uttryck för hur klimatet på en ort varit i förhållande till motsvarande klimat ett normalår. Medan man i energisignaturmodellen relaterar till varje specifik byggnad, relaterar man med graddagsbegreppet till ett specifikt klimat (ort). Energisignaturmodellen kan utvecklas vidare till att ta hänsyn till vindhastigheter, etc. Mer om energisignatur finns att läsa i t ex [6].

Ett uttryck för den enklaste formen av energisignatur kan skrivas:

$$\dot{Q}_{\text{tot}} = \text{konst}_1 - \text{konst}_2 \cdot t_{\text{ute}}$$

Där:

$\dot{Q}_{\text{tot}}$ = till byggnaden tillförd värmeeffekt, verkligt uppmätt (kW). Bestäms ofta som kvoten mellan använd värmeenergi för tidsperioden och tidsperiodens längd.
 konst = konstanter som karakteriserar energisignaturen
 t_{ute} = temperatur utomhus °C

I effektsambandet ovan används normalt byggnadens totala värmeeffektbehov för att generera energisignaturen, dvs inkluderande eventuellt tappvarmvattenbehov. Särskilt enkelt blir det att följa byggnadens energiprofil när man har en byggnad ansluten till fjärrvärme. Här krävs endast avläsningar av levererat värme till fastigheten för bestämda tidsperioder, med registrering av motsvarande medeltemperatur ute.

I jämförelse med graddagsbegreppet är det en fördel att kunna arbeta med energidata för byggnaden utan att dela upp den i klimatberoende och -oberoende delar. Det är dock viktigt att inte använda mätdata med alltför hög tidsupplösning så att den varierande användningen av tappvarmvatten försvårar framtagandet av signaturen.

Även värmebehovet för uppvärmning varierar på ett sätt som inte är helt kopplat till utetemperaturen. Detta beror på byggnadernas tröghet orsakad av deras termiska massa som jämnar ut och tidsförskjuter effektbehovet. Även av denna orsak bör tidsmedelvärde vara grundat på längre perioder, exempelvis en vecka eller en månad enligt, [7] och [8]. För normala uppföljningsbehov rekommenderas tidsupplösningen en månad.

Exempel

Energistatistik för ett kontorshus beläget i Göteborg är uppmätt enligt data i tabell 4.3. I exemplet redovisas hur man ur dessa data bildar energisignaturen, samt hur man korregerar förbrukningen till normalår.

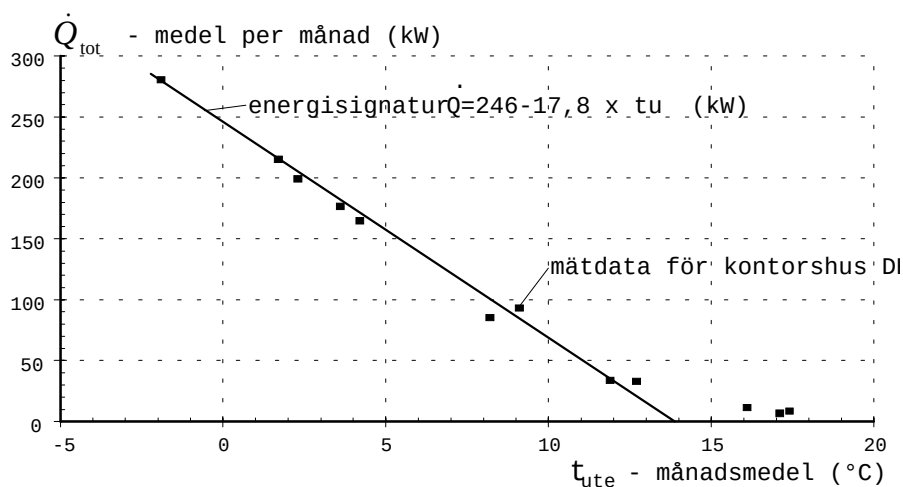
Tabell 4.3 Uppmätt värmeenergiförbrukning för ett kontorshus i Göteborg och uppmätta månadsmedeltemperaturer. Medeltemperatur från normalår är baserad på statistik från Göteborg-Säve 1961-1990.

Period [år-mån]	Värmeförbr [kWh]	Medeltemp [°C]	Timmar per månad	Månadsme deleffekt [kW]	Medeltemp normalår [°C]
1990-04	61.4	8.2	720	85.3	5.2
1990-05	24.6	12.7	744	33.0	10.9
1990-06	8.2	16.1	720	11.4	14.9
1990-07	5.0	17.1	744	6.7	16.2
1990-08	6.4	17.4	744	8.6	15.6
1990-09	24.4	11.9	720	33.9	12.2
1990-10	69.3	9.1	744	93.2	8.5
1990-11	127.1	3.6	720	176.5	3.7
1990-12	148.2	2.3	744	199.2	0.3
1991-01	160.1	1.7	744	215.2	-1.6
1991-02	188.5	-1.9	672	280.5	-1.6
1991-03	122.7	4.2	744	164.9	1.2
Hela året	945.9	8.5			7.1

Månadsmedeleffekten beräknas genom att ta kvoten mellan månadens energiförbrukning i kWh och antalet timmar per månad. För april erhålles så:

$$\text{Månadsmedeleffekt} = \frac{61400 \text{ kWh}}{720 \text{ h}} = 85.3 \text{ kW}$$

Energisignaturen presenteras normalt grafiskt. I figur 4.2 finns inlagt värdena för kontorsbyggnaden som finns redovisad i tabell 4.3. Varje månadsmedeleffekt finns avprickad i diagrammet mot månadens medeltemperatur.



Figur 4.2 Månadsmedel av mätt värmeförbrukning i relation till utetemperaturen, samt energisignaturen för ett kontorshus.

Figur 4.2 visar hur energisignaturen tas fram för den aktuella byggnaden. Med energisignatur avses således den linje som så väl som möjligt kan anpassas till de inprickade värdena, t ex med minsta kvadratmetoden. De tre varmaste sommarmånadernas effekter har inte medtagits vid framtagningen av signaturen. För det i figur 4.2 visade kontorshuset är det uppenbart att inget utetemperaturberoende värmebehov föreligger under dessa tre månader. För andra kontorshus med annan typ av värmeåtervinning eller högre intern värmegenerering, kan det mycket väl vara så att fler månader under den varma årstiden utesluts ur energisignaturen. Byggnaden i detta exempel behöver inte tillföras värme med värmesystemet vid utetemperaturer högre än ca 13°C.

Fördelarna med energisignatur är uppenbar, vid en jämförelse med graddagar, och den enkla modellen som används här har följande fördelar.

- Det totala värmebehovet behöver inte delas upp i utetemperaturberoende och oberoende delar.
- Rumstemperaturen, den effektiva inomhustemperaturen eller eldningsgränsen behöver inte bestämmas.
- Inga köp av graddagar behöver göras eftersom varje företag mycket enkelt själva kan föra statistik över månadsmedeltemperaturer. Antingen görs detta genom egna mätningar eller så kan månadsstatistik erhållas direkt från dagspress, där sådana siffror publiceras varje månad.

Detta innebär att i stort sett alla typer av byggnader kan normalårskorrigeras med energisignatur. När detta görs grafiskt vid driftuppföljning fås dessutom en tydlig indikation på om allt står rätt till eller om det finns driftproblem i byggnaden.

Fortsättning exempel:

När värdena för det aktuella mätåret skall jämföras med ett normalår, beräknas först vilken månadsmedeleffekten skulle ha varit för varje månad under ett normalår. Det här kan också läsas av direkt i diagrammet i figur 4.2.

För t ex april är månadstemperaturen under ett normalåret 5.2 °C. Det innebär att månadsmedeleffekten för en normal april månad skulle ha varit 153 kW. För det aktuella året skall alltså medeleffekten för april månad korrigeras uppåt med korrigeringsfaktorn F för att motsvara normalåret. Korrigeringsfaktorn skrivs

$$F = \frac{\text{Månadsmedeleffekt för normalår}}{\text{Uppmätt månadsmedeleffekt}}$$

Genom att ta fram korrigeringsfaktorn för varje månad och multiplicera den med uppmätt total månadsvärmeförbrukning, så erhålls den normalårskorrigerade förbrukningen. För april månad fås på detta sätt den normalårskorrigerade värmeförbrukningen:

$$F = \frac{153.4}{85.3} = 1.80$$

$$\text{Värmeförbr normalår} = F \cdot \text{Uppmätt värmeförbr} = 1.80 \cdot 61.4 = 110.5 \text{ MWh}$$

Görs detta på samma sätt för samtliga månader erhålls de värden som redovisas i tabell 4.4.

Tabell 4.4 Normalårskorrigerig med hjälp av energisignatur.

Period [år-mån]	Värmeförbr [MWh]	Medeltemp normalår [°C]	Månads medeleffekt [kW]	Månads medeleffekt normalår [kW]	Korr. faktor	Korrigerad värmeförbr. [MWh]
1990-04	61.4	5.2	85.3	153.4	1.80	110.5
1990-05	24.6	10.9	33.0	52.0	1.58	38.7
1990-06	8.2	14.9	11.4	0	0	0
1990-07	5.0	16.2	6.7	0	0	0
1990-08	6.4	15.6	8.6	0	0	0
1990-09	24.4	12.2	33.9	28.8	0.85	20.8
1990-10	69.3	8.5	93.2	94.7	1.02	70.4
1990-11	127.1	3.7	176.5	180.1	1.02	129.7
1990-12	148.2	0.3	199.2	240.7	1.21	179.0
1991-01	160.1	-1.6	215.2	274.5	1.28	204.2
1991-02	188.5	-1.6	280.5	274.5	0.98	184.5
1991-03	122.7	1.2	164.9	224.6	1.36	167.2
Hela året	945.9	7.1				1105.0

Normalårskorrigeringen av byggnadens värmeförbrukning visar att värmebehovet under mätåret var ca 15% lägre än för ett normalår, med mer eller mindre stora avvikelser för separata månader.

I byggnader av lokaltyp blir det allt vanligare att värmeförbrukningen under året är i samma storleksordning som kylbehovet, eller mindre. Det blir därför viktigt att följa kylbehovet och att föra statistik även för detta. Kylbehovet kan med fördel följas med energisignatur, på samma sätt som värmebehovet. Vanligast är att kyla produceras i direkt anslutning till fastigheten med hjälp av konventionella kylmaskiner. Här är det lämpligt att mäta elförbrukningen separat för kylmaskinen och använda denna i energisignaturdiagrammet. I allt fler städer finns sk fjärrkyla att tillgå på samma sätt som fjärrvärma. I byggnader anslutna till ett fjärrkylanät är det naturligt att direkt lägga in den köpta kylmängden i energisignaturdiagrammet.

Således är det för många byggnader av lokaltyp lämpligt att föra statistik över både användningen av värme och kyla.

4.4 Behovet av mjukvara för uppföljning av energianvändning

Särskilt för fastighetsägare och förvaltare som har ett antal byggnader i sitt bestånd, är det både tidskrävande och besvärligt att för hand föra statistik över energianvändningen i fastigheterna. Tidskrävande blir det eftersom man efter mätdatainsamling (vilken i sig kan vara tidskrävande – dock inte mer tidskrävande än om man använder mjukvara för att hantera statistiken), för hand måste göra alla omräkningar till normalår. Om man därefter vill arbeta

aktivt med statistiken och jämföra byggnader med varandra ur förbrukningssynpunkt, blir materialet lätt svåröverskådligt.

Att manuellt arbeta med en stor mängd omräkningar ökar också risken för att felräkningar görs. Mindre beräkningsfel upptäcks inte så lätt, medan större felräkningar kan vara besvärliga att finna i materialet.

För enstaka fastigheter eller endast några få, är det givetvis möjligt att manuellt följa energistatusen, men för större bestånd är det rationellt att ta hjälp av mjukvara för att sköta hanteringen av insamlade mätdata.

Det finns idag flera kommersiellt tillgängliga mjukvaror på marknaden.

Ett steg mellan att helt manuellt sköta hanteringen av data och att köpa in en mjukvara för att sköta detta, kan vara att själv utveckla någon typ av mjukvara, t ex i kalkylprogram (Microsoft Excel är ett exempel). Det gäller dock att vara på sin vakt vad gäller utvecklingskostnader. Det som från början såg ut att ta endast någon dag i anspråk, sväller lätt och resultatet kan bli både högre kostnader och sämre programfunktioner än i motsvarande kommersiell mjukvara.

4.5 Kontinuerligt pågående arbete med analytisk genomgång av energibehov hos byggnader

Även om alla byggnader i jämförelse med varandra uppvisar ungefär liknande värden på de nyckeltal som används och även om de enskilda byggnadernas energiförbrukning inte ändras nämnvärt över tiden, kan det likafullt vara så att det finns stora energibesparingar att göra. En möjlighet är att i detta skede på analytisk väg konstatera hur byggnaden fungerar, med hjälp av datoriserade beräkningsprogram.

Om samtliga byggnader läggs in i ett beräkningsprogram är det mycket enkelt att ta fram byggnaden exempelvis vid behov av andra byggnadstekniska åtgärder. Här kan nu ”byggare” tillsammans med energitekniker gå igenom vilka kompletterande åtgärder som skulle vara möjliga att genomföra i energibesparande syfte. Som nämnts tidigare är det ofta just i samband med att åtgärder behöver genomföras av andra anledningar än rent energimässiga, som flera i vanliga fall olönsamma energieffektiviseringsåtgärderna kan identifieras och genomföras med lönsamhet.

5 EKONOMISKA MODELLER

För en jämförelse mellan å ena sidan de uppoftningar som energibesparande åtgärder representerar och å andra sidan de löpande besparingar de resulterar i, krävs ett måttetal som på ett entydigt sätt beskriver såväl uppoftningar som besparingar. Ett naturligt sådant måttetal är det ekonomiska, även om det givetvis kan diskuteras om detta mått alltid är det rättvisande i alla sammanhang. Det måste dock fastslås att vi idag utöver det ekonomiska måttet inte förfogar över något måttetal som är såväl objektivt som beprövat. För att bedöma effektiviteten i potentiella energibesparande åtgärder, behöver således någon form av ekonomiskt betraktelsesätt användas.

Modeller för ekonomisk värdering och synsätt baserade på ekonomiska förhållanden är meningsfulla endast om de verkligen får komma till uttryck i projekten och kan påverka deras inriktning och utveckling. Är inte ett ekonomiskt synsätt med som krav från början, finns en påtaglig risk för att en del i grunden tillämpade projekt fjärrar sig från verkligheten genom en fokusering på tekniskt intressanta, men ekonomiskt kanske mindre lyckade lösningar.

Även om det här blir fråga om ekonomiska arbetsmetoder är det dock viktigt att man hela tiden har klart för sig att det egentligen inte är fråga om ekonomi utan om tillämpning av ekonomiska tänkesätt på tekniska problem.

I en ekonomisk bedömning av alternativa åtgärdsförslag, är det både möjligt och önskvärt att angripa problemet i följande två steg:

1. Utgallring av åtgärdsförslag som inte faller inom de ekonomiska ramar (krav) som ställs av ett företag eller en organisation.
2. Prioritering och rangordning bland de alternativ som återstår efter utgallringen.

Vid utarbetandet av kapitel 5 har [24] till stor del använts.

Beskrivna metoder i detta kapitel är fokuserade på det löpande energibesparingsarbetet i företaget eller organisationen, dvs i skeden innan den egentliga upphandlingsprocessen startar. För arbetsgång under upphandlingsprocessen finns utarbetat ett material, ENEU 94 [25], vilket rekommenderas. En uppdatering av ENEU 94 kommer under andra halvan av år 2000 och ges ut av Statens Energimyndighet. ENEU ger vägledning vid upphandling och projektering av energikrävande utrustning och använder livscykelenergikostnaden vid bedömning av olika alternativ. Metodiken syftar till att möjliggöra en jämförelse av olika anbud där investering och driftkostnad (i första hand energikostnad) vägs samman till en värderingssumma.

5.1 Metod för utgallring av projekt

Beroende på vilka kriterier ett företag eller en organisation har för avkastningen av investerat kapital är det olika modeller som kan komma ifråga här. En mycket vanlig modell som

används är den där återbetalningstiden för en investering beräknas (sk payback). Denna beräknas mycket enkelt genom att ta kvoten mellan aktuell investering och årlig energibesparing, eller:

$$\text{Återbetalningstid [år]} = \frac{\text{Investerings [SEK]}}{\text{Årlig besparing [SEK / år]}}$$

Det gäller här att hålla i minnet att payback-modellen inte ger lönsamheten för en investering, utan endast den tid det tar innan investeringen är återbetald. Modellen tar inte hänsyn till räntor eller eventuella behov av återinvesteringar. Det är också av denna anledning användningen bör begränsas till att gallra ut åtgärdsförslag som inte kan bli aktuella.

Normala krav på återbetalningstider för investeringar i energieffektiviserande åtgärder är ofta två år eller kortare. Tillåtna återbetalningstider som är längre än tre år är sällsynta.

En stor fördel med denna metod är att den är enkel att förstå och därmed enkelt kommunicerbar.

I kapitel 5.2, efter att lönsamhetsmodeller diskuterats, ges ett exempel som visar hur lätt det är att komma fel om man förväxlar payback-modellen med en lönsamhetsmodell.

Användningen av denna ekonomiska modell bör således begränsas till att utesluta investeringar med oacceptabelt lång återbetalningstid.

5.2 Modeller för prioritering och rangordning

Ett första steg i en rangordning av åtgärdsalternativ kan således vara att välja bort de som överhuvud taget inte kan komma ifråga, med hjälp av en payback-modell. De alternativ som återstår bör därefter rangordnas med hjälp av en verklig lönsamhetsmodell, som tar hänsyn till livslängd, räntor och eventuella återinvesteringar. Här finns alternativa ekonomiska modeller att tillgå. Exempel är nuvärdesmodeller, annuitetsmodeller och internräntemodeller. Nedan görs en genomgång av vad dessa modeller innefattar och hur de används.

5.2.1 Annuitetsmodell

Enligt annuitetsmetoden är en investering lönsam om investeringens årliga kostnad är lägre än den årliga besparingen.

Med annuitetsmetoden fördelas den initiala investeringen jämnt årsvis över investeringens hela livslängd. Om den initiala investeringen betecknas A_0 och årliga besparingen b , kan villkoret skrivas som:

$$b > P \cdot A_0$$

där P betecknar annuitetsfaktorn. Med faktorn P tas hänsyn till investeringens livslängd samt den kalkylränta som används. Värdet för P återfinns i bilaga 2. Det går även bra att beräkna P direkt ur följande samband:

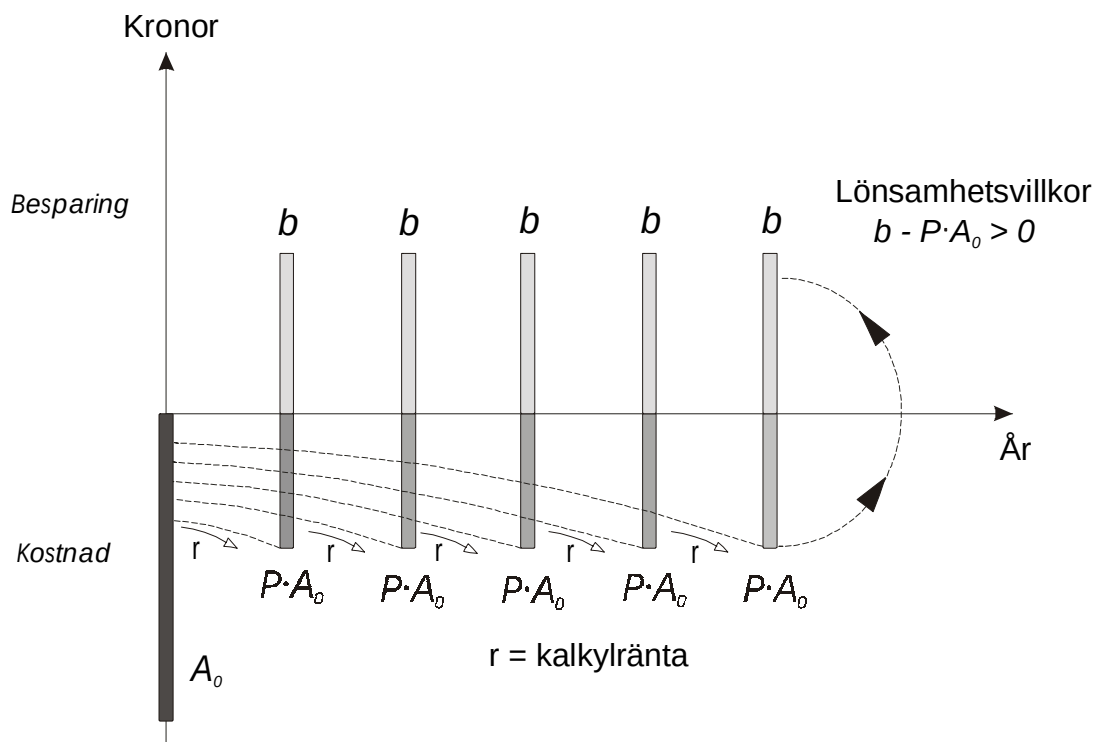
$$P = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}}$$

där r är kalkylräntan och n är tiden.

Exempel: Bestäm annuitetsfaktorn för $r = 10\%$ och $n = 10$ år.

$$P = \frac{0.1}{1 - (1 + 0.1)^{-10}} = 0.16275$$

I figur 5.1 åskådliggörs hur en annuitetsmodell är uppbyggd och används.



Figur 5.1 Lönsamhetsbestämning enligt annuitetskriteriet

Med annuitetsmetoden kan man också ta hänsyn till enstaka investeringar som faller ut under investeringens livslängd. Detta görs genom att först räkna tillbaka dem till dag 1 med den metod som i nästa avsnitt går igenom för nuvärdesmodellen, och därefter fördela ut investeringen över tiden så som beskrivits ovan. Reinvesteringar kan bli aktuella t ex för delar eller komponenter i ett system, innan systemets livslängd uppnåts. Ett exempel kan vara kompressorbyte i en värmepump.

5.2.2 Nuvärdesmodell

Enligt nuvärdesmetoden är en investering lönsam om nuvärdet av alla besparingar är större än investeringen.

Med en nuvärdesmodell tas hänsyn till kostnader och besparingar när de verkligen sker. Dessa återförs till nutid med hänsyn tagen även till ränta. Nuvärdet beräknas enkelt. Om

nuvärdet av alla besparingar betecknas B_0 , investeringen betecknas A_0 gäller för att investeringen skall vara lönsam att:

$$B_0 > A_0$$

Här är dessutom $B_0 = I \cdot b$, där I är nuvärdesfaktorn. Värden på I finns tabellerat i bilaga 1. Det går även bra att beräkna I direkt ur följande samband för ett årligen utfallande konstant belopp:

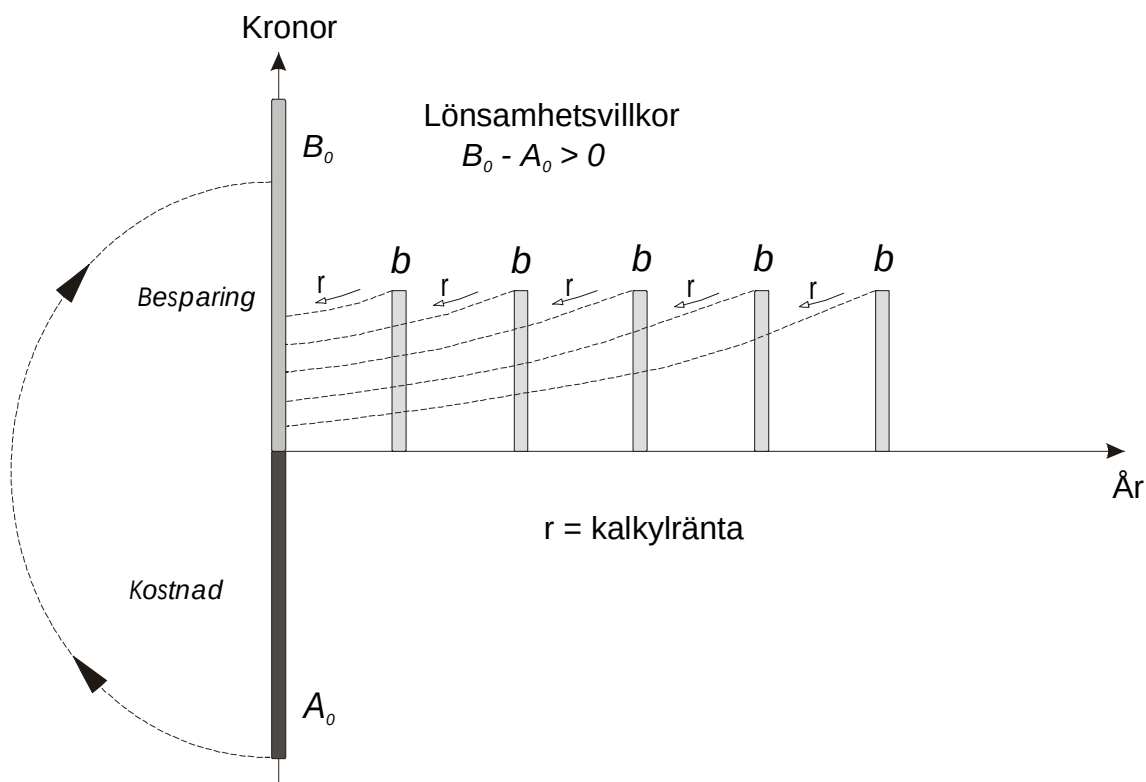
$$I = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}$$

där r är kalkylräntan och n är tiden.

Exempel: Bestäm nuvärdesfaktorn för $r = 10\%$ och $n = 10$ år.

$$I = \frac{1 - (1 + 0.1)^{-10}}{0.1} = 6.145$$

I figur 5.2 åskådliggörs hur en nuvärdesmodell är uppbyggd och används.



Figur 5.2 Lönsamhetsbestämning enligt nuvärdeskriteriet

Med nuvärdesmodellen tas enkelt hänsyn till enstaka investeringar under investeringens livslängd. Detta görs genom att välja ett värde för nuvärdesfaktorn som gäller för enstaka belopp, när den enstaka investeringen skall räknas tillbaka till dag 1. Tabell för enstaka

belopp återfinns i bilaga 3. Det går även bra att beräkna nuvärdesfaktorn för enstaka belopp I_e direkt ur följande samband:

$$I_e = (1 + r)^{-n}$$

där r betecknar kalkylräntan och n tiden.

Exempel: Bestäm nuvärdesfaktorn för en reinvestering som behöver göras åtta år efter att den initiala investeringen gjordes. Kalkylränta $r = 10\%$ och $n = 8$ år.

$$I_e = (1 + 0.1)^{-8} = 0.4665$$

Beräkningar av sk LCC (Life Cycle Cost) är normalt baserade på en nuvärdesmodell.

En strikt ekonomisk rangordning av alternativa åtgärder är nu möjlig genom att först sätta det alternativ som har det högsta nuvärdet, därefter det som har det näst högsta, osv.

Som tidigare diskuterats kan det givetvis finnas andra hänsyn att ta än rent ekonomiska, men att rangordna alternativen med en nuvärdesmodell visar för den som skall fatta besluten vilket det rent ekonomiska utfallet blir ur besparingssynpunkt.

Efter en sammanvägning av ekonomiskt utfall och eventuella andra hänsyn är det således möjligt att besluta om vilka åtgärder som ska genomföras.

5.2.3 Internräntemodell

Enligt internräntemetoden är en investering lönsam om den beräknade internräntan är större än den på förhand bestämda kalkylräntan.

Vid användande av en internräntemodell är tillvägagångssättet i princip detsamma som vid användandet av en nuvärdesmodell. Skillnaden är att man här söker den ränta vid vilken nuvärdet av besparingar och kostnader är lika stora.

Praktiskt blir det här fråga om en passningsräkning, dvs man genomför beräkningen i följande steg:

1. Gissa vilken ränta som kommer att bli den slutliga internräntan.
2. Beräkna nuvärdet av besparingar och eventuella reinvesteringar med hjälp av den gissade räntan och livslängden för investeringen (använd nuvärdesfaktorer).
3. Kontrollera om nuvärdet av investeringar och besparingar är lika stora.
4. Om nuvärdet av investeringar och besparingar är lika stora är den gissade räntan lika med internräntan, om de skiljer – börja om från 1.

5.2.4 Jämförelse av modeller för lönsamhetsberäkning

Vid nuvärdeskriteriet utgår man från en given kalkylränta. Vid jämförelse mellan flera besparingsalternativ blir nuvärdesberäkningen av de framtida besparingarna helt jämförbar

mellan de olika alternativen. Detta helt oberoende av alternativens lönsamhet. Detsamma gäller för annuitetsberäkningen vid användande av annuitetskriteriet.

Med internräntekriteriet representeras lönsamheten av internräntan, dvs värderingen av framtida besparingar varierar med lönsamheten. Detta framgår t ex ur tabellen i bilaga 1 om man betraktar hur nuvärdesfaktorn ändras med brukstiden vid olika räntesatser. Vid räntan 6% ökar nuvärdesfaktorn från 7.4 vid 10 år, till 15.8 vid 50 år, dvs en fördubbling. Vid räntesatsen 25% är motsvarande siffror 3.6 respektive 4.0, dvs en ökning med endast ca 10%. Internräntekriteriet favoriserar därför investeringar med kort livslängd vid vägning mellan olika investeringar med skilda livslängder.

Förutsättningen för att den enligt nuvärdes- eller annuitetsmetoden beräknade lönsamheten skall vara jämförbar vid studier av olika alternativ är att samma kalkylränta ligger till grund för alla beräkningar. Detta är i sig en självklarhet, men förtjänar ändå att påpekas eftersom olika alternativ i praktiken kan utredas av olika personer och föreligger inte entydiga direktiv i fråga om kalkylräntan, kan det mycket väl inträffa att olika kalkylränta väljs för de olika alternativen. Den som har att fatta beslut kan således komma att välja alternativ som inte är de lönsammaste. Vid internräntekriteriet föreligger inte denna risk eftersom resultatet redovisas direkt i form av en ränta. Används nuvärdes- eller annuitetsmetoden skall alltid den använda kalkylräntan klart redovisas i anslutning till den beräknade verksamheten.

För att ge en överblick över de ovan behandlade lönsamhetsmetoderna sammanfattas väsentliga kriterier som kännetecknar dessa nedan.

Tabell 5.1 Lönsamhetsmetoder - översikt

Metod	Beräkningsförutsättning	Lönsamhetsmått	Lönsamhetsvillkor
Nuvärde	Omräkning till nuvärde med kalkylränta	Nuvärdesöverskott (SEK)	Nuvärde av netto-besparingar större än nettoinvesteringar
Annuitet	Omräkning till annuitet med kalkylränta	Årskostnadsbesparing (SEK)	Årliga netto-besparingen större än nettoinvesteringens annuitet
Internränta	Omräkning med internränta som väljs så att netto-besparingars nuvärde är lika med nettoinvestering		

5.3 Kalkylränta

Oberoende av om nuvärdes-, annuitets- eller internräntemetoden används vid lönsamhetsbedömningen, är det i sista hand valet av kalkylränta som bestämmer gränsen mellan lönsamma och olönsamma investeringar. Som redan nämnts inledningsvis i detta kapitel är i energieffektiviseringssammanhang den ekonomiska kalkylens huvuduppgift att ge underlag för en bedömning av om den resursuppoftning som krävs för en viss energibesparande åtgärd är rimlig i förhållande till den besparingseffekt som kan uppnås. I

princip bör vidare gälla att alla åtgärder som visar en lönsamhet med den valda kalkylräntan skall kunna vidtas. Kalkylräntan bör således väljas efter en bedömning av hur mycket resurser som kan uppoffras för energibesparing under en viss tidsperiod och hur många av de ur besparingssynpunkt bästa åtgärderna därmed kan åtgärdas. Genom att investeringarna alltid är begränsade – det går inte att låna obegränsade belopp till bankränta – måste kalkylräntan normalt sättas högre än bankernas utlåningsränta. Ett företag eller en organisation har alltid möjlighet till andra, alternativa investeringar, förutom de i energibesparande syfte. Därför måste också investeringens förräntning hos dessa andra alternativ bedömas när en kalkylränta skall fastställas.

Som inledningsvis nämnts är ett av grundvillkoren för att lönsamhetskriterierna skall vara meningsfulla som underlag för bedömningen, att de ger ett entydigt resultat som inte kan styras i en eller annan riktning. En påtaglig risk för tvetydighet och möjlighet för styrning av resultat kommer med i bilden om framtida kostnadsutvecklingar tas i beaktande. Enklast favoriseras energibesparande åtgärder genom att för dessa ange en lägre kalkylränta än för andra typer av investeringar. Då måste det emellertid på resurssidan finnas motsvarande täckning för ökade insatser.

5.3.1 Kalkylräntans inverkan på lönsamhetsbedömningen

Bakom den ekonomiska värderingen av en åtgärd som skall ge en framtida vinst eller besparing, ligger alltid behovet att klarlägga om de resursuppoffringar som åtgärden kräver uppvägs av det förväntade framtida utfallet. De olika värderingsmodeller och lönsamhetskriterier som används är de hjälpmedel man använder för att jämföra de i tiden skilda ekonomiska seendena. I frågeställningens natur ligger att det är fråga om skeenden som ligger i framtiden eller sträcker sig i tiden från nutid och framåt. Oberoende av vilken värderingsmodell eller vilket lönsamhetskriterium som används, är ju grundprincipen för omräkningen mellan de i tiden åtskilda ekonomiska händelserna ganska enkel. Det sammanlagda nuvärdet av de framtida inkomsterna eller besparingarna betraktas som summan av en geometrisk serie och detta sammanlagda nuvärde vägs mot investeringen i nutid. Alternativt betraktas den erforderliga investeringen som summan av en geometrisk serie där de enskilda termerna representerar nuvärdet av framtida kostnader som vägs mot de framtida inkomsterna/besparingarna. I båda fallen är således räntan den storhet som knyter samman de i tiden åtskilda händelserna.

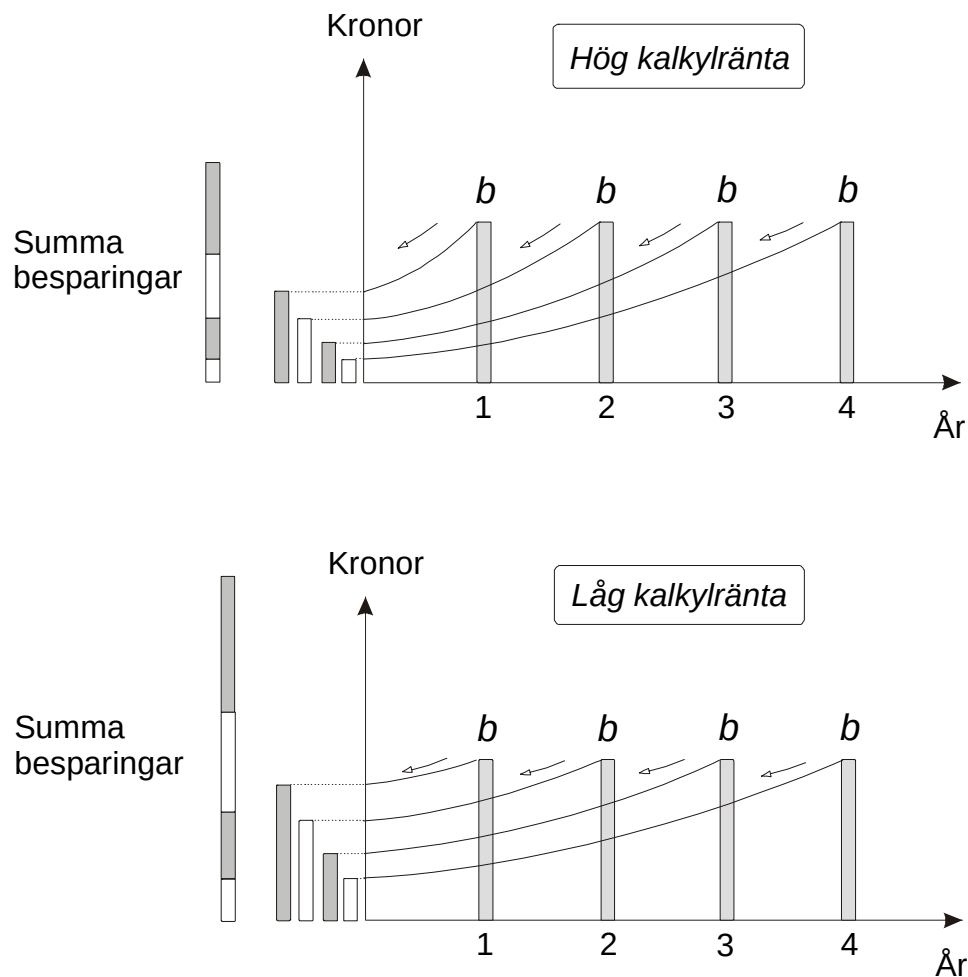
Storleken på den ränta som används vid omräkningen anger hur man ser på framtida ekonomiska tillgångar i förhållande till tillgångar i dagsläget. En hög ränta innebär i kalkylsamband att man kräver en snabb återbetalning av investeringen medan en låg ränta möjliggör en spridning av återbetalningarna över en längre tidsperiod.

Även om den ekonomiska lönsamhetskalkylen bygger på en i grunden enkel princip, kan den snabbt bli nog så komplicerad om man skall bemästra andra ekonomiska processer än det enklaste fallet: engångsinvestering som återbetalas med ett antal sinsemellan lika stora periodiskt utfallande vinster eller besparingar.

Då det gäller åtgärder för energibesparingar är det är det främst framtida energiprishöjningar som är nödvändiga att beakta. Antar man att energipriset i framtiden ökar snabbare än den genomsnittliga kostnadsnivån i övrigt och förutsätter att denna prisökning utöver den normala

inflationen kan beskrivas som ett konstant årligt påslag, blir lönsamhetskalkylen fortfarande matematiskt enkel (se kapitel 5.3.2). Resultatet av kalkylen påverkas emellertid starkt om antagna framtida prisökningar tas med i beräkningarna. Beaktas framtida prishöjningar fås sålunda två av varandra oberoende storheter som knyter samman de i tiden åtskilda ekonomiska händelserna.

I figur 5.3 illustreras grafiskt hur valet av kalkylränta påverkar den ekonomiska värderingen och dess resultat.



Figur 5.3 Nuvärdet av ett periodiskt utfallande konstant belopp, för två olika nivåer av kalkylränta.

Figur 5.3 visar att det sammanlagda nuvärdet minskar med ökande ränta respektive ökar med minskande ränta. Vidare minskar nuvärdet av varje enskilt års besparingar snabbare ju större räntan är. Ju större ränta i kalkylen desto mindrepåverkar således de i tiden längre bort liggande utfallen resultatet av lönsamhetsberäkningen.

Ur det här sagda kan direkt dras följande, i sig självklara, slutsatser:

1. Ju lägre ränta som används vid lönsamhetskalkylen desto större syns lönsamheten vara för en investering som sker i vinst eller besparingssyfte.

2. Ju lägre den ränta är som används vid lönsamhetskalkylen desto större påverkan har investeringens livslängd på lönsamheten.

De här två punkternas innebörd kan belysas med ett enkelt exempel. Man har att välja mellan två möjliga energibesparande åtgärder. Den ena ger en stor årlig besparing men brukstiden är förhållandevis kort, exempelvis 10 år. Den andra ger en liten årlig besparing men brukstiden är förhållandevis lång, säg 30 år. Med en hög ränta vid lönsamhetsberäkningen kan det förstnämnda investeringsalternativet visa sig vara mycket lönsammare än det andra. Minskas räntan vid lönsamhetsberäkningen minskar skillnaden mellan de två alternativens lönsamhet för att till slut, vid låg ränta ändra till fördel för alternativet med lång brukstid. Valet av ränta bestämmer således här vilket alternativ som väljs.

Man kan således dra följande naturliga slutsats, vilken dock kanske inte alltid beaktas:

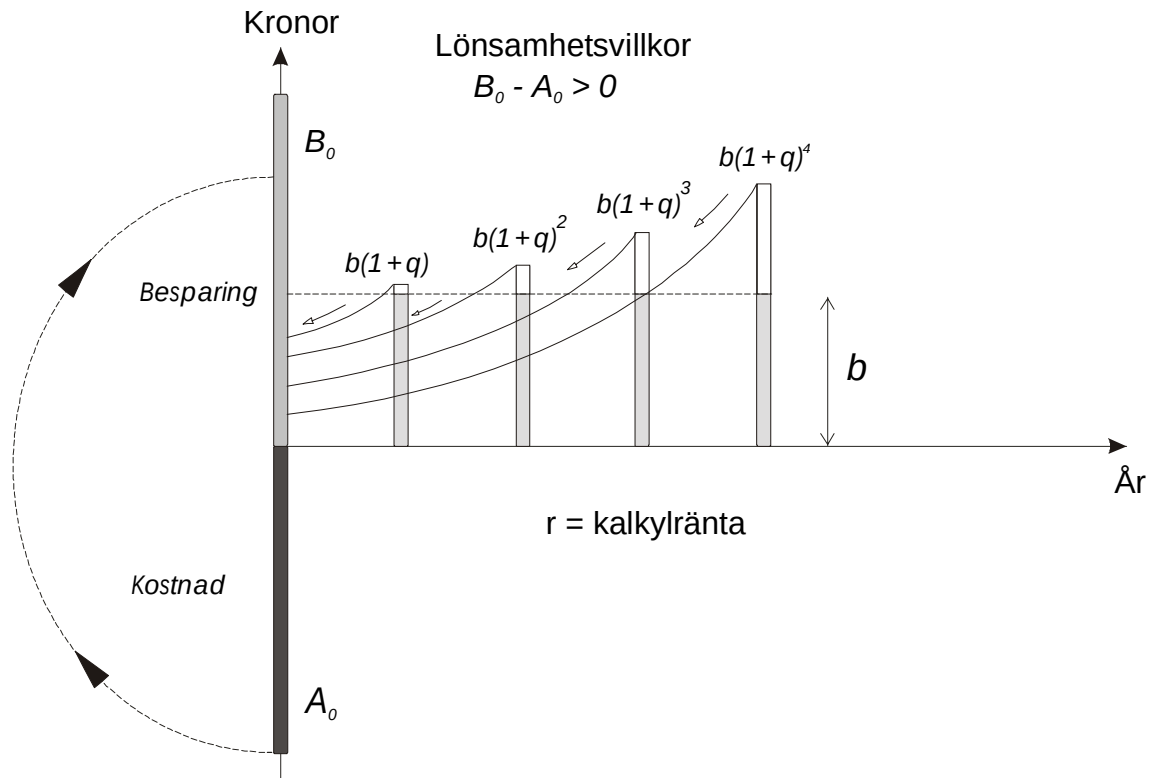
3. I en valsituation mellan åtgärder med olika långa brukstider påverkar valet av kalkylränta prioriteringen mellan alternativen. En hög ränta favoriserar åtgärder med hög avkastning även om brukstiden är kort. En låg ränta favoriserar åtgärder med lång brukstid även om den årliga vinsten eller besparingen är liten.

5.3.2 Antaganden om framtida energiprisändringar

Även om det alltid ligger ett stort mått av osäkerhet i att försöka spå om framtiden kan man nog med god säkerhet förutsätta att det även framdeles kommer att ske en fortlöpande höjning av den allmänna prisnivån. Vidare är det ofrånkomligt att det kommer att bli allt svårare att tillfredsställa behovet av energi och att energipriserna därför sannolikt kommer att öka snabbare än den normala inflationen. Utöver detta tillkommer även politiska åtgärder som kan vara helt omöjliga att förutsäga.

Det kan därför ligga nära till hands att försöka ta hänsyn till detta vid beräkningen av en energibesparandeåtgärds lönsamhet. När hänsyn tas till framtida energiprisökningar kan resultatet av lönsamhetskalkylen påverkas kraftigt. Det är viktigt att den som kommer i kontakt med lönsamhetsberäkningar är förtrogen med hur denna påverkan sker.

Inverkan av en antagen energiprisökning illustreras i figur 5.4, där storheten q betecknar energiprisökningen i % per år.



Figur 5.4 Nuvärdet av ett periodiskt utfallande belopp som stiger $q\%$ per år.

Man ser att processens sammanlagda nuvärde ökar med ökande antagen framtida prishöjning. Ett antagande om framtida prishöjningar har således beräkningsmässigt i princip samma effekt som en sänkning av kalkylräntan. På samma sätt som redovisats tidigare kan man också här ta fram en nuvärdesfaktor som tar hänsyn till de framtida energiprisökningarna. Nuvärdet kan beräknas genom att använda följande uttryck:

$$I_q = \frac{1 - \left(\frac{1+q}{1+r} \right)^n}{\frac{1+r}{1+q} - 1}$$

där r betecknar kalkylräntan, q den årliga energiprisökningen och n tiden. Observera att om q sätts lika med 0 så fås det vanliga uttrycket för nuvärde.

Exempel: Bestäm nuvärdesfaktorn om $r = 10\%$, $q = 2\%$ och $n = 10$ år.

$$I_q = \frac{1 - \left(\frac{1+0.02}{1+0.1} \right)^{10}}{\frac{1+0.1}{1+0.02} - 1} = 6.758$$

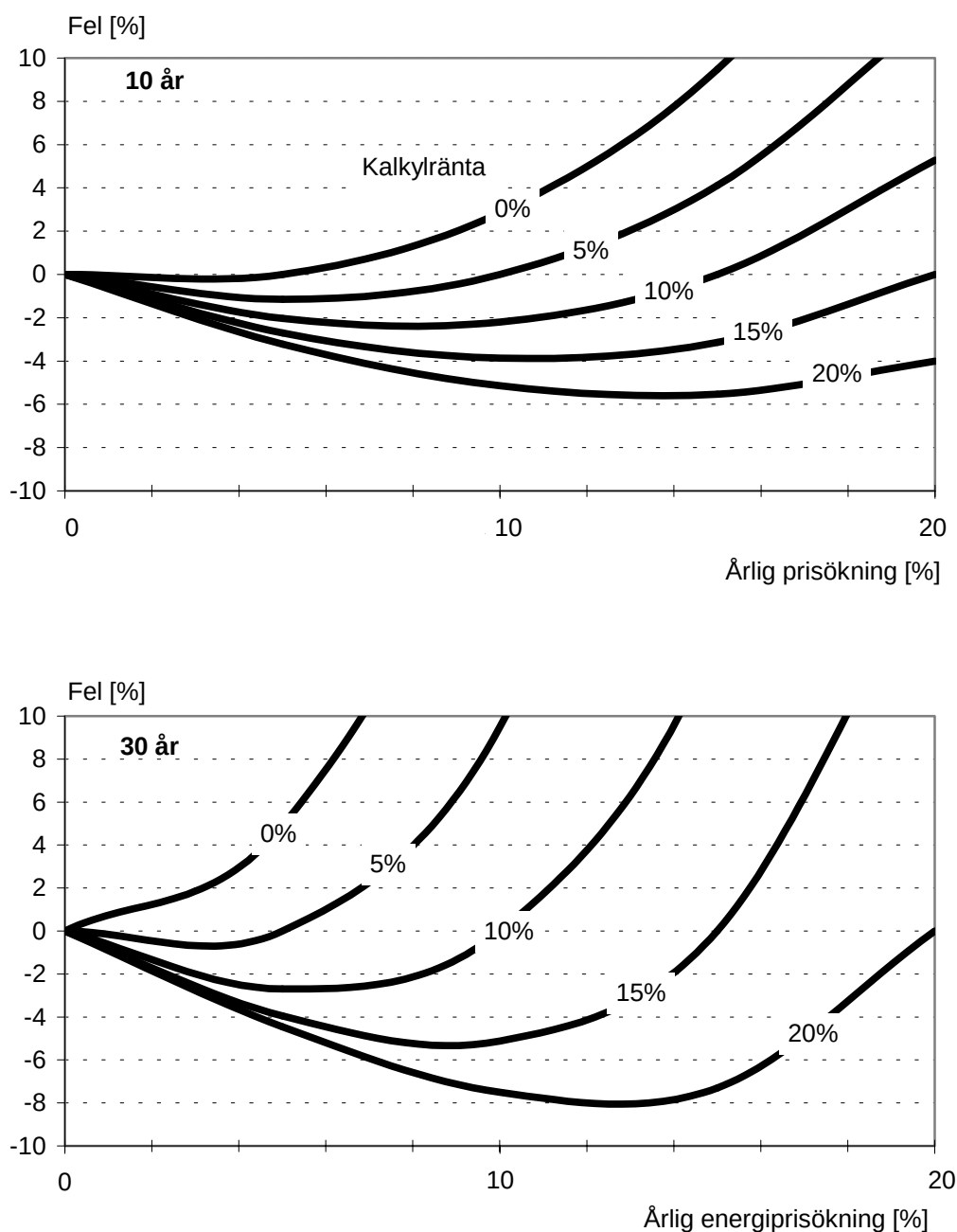
När man praktiskt arbetar med lönsamhetsberäkningar där man vill ta hänsyn till framtida energiprisökningar, kan man göra det mycket enkelt med en god approximation.

Istället för att direkt använda kalkylräntan i lönsamhetsberäkningen reduceras den först med den antagna energiprisökningen, dvs:

$$\text{Ny ränta} = \text{Ursprunglig kalkylränta} - \text{Årlig energiprisökning} \quad [\%]$$

Därefter kan nuvärdesmodellen användas som vanligt i beräkningarna med nuvärdet hämtat ur den vanliga nuvärdestabellen eller beräknat med det enklare uttrycket för nuvärde, vilket redovisades i kapitel 5.2.2.

Noggrannheten av en sådan approximation framgår ur figur 5.5.



Figur 5.5 Felet vid approximation med att ta hänsyn till en årlig energiprisökning genom att använda ursprunglig kalkylränta reducerad med prisökningen, jämfört med en exakt matematisk lösning.

Exempel till figur 5.5:

*Kalkylränta = 10%, Antagen årlig energiprisökning = 5%, Brukstid = 10 år.
 Det övre av de två diagrammen visar att felet, om man tar nuvärdet direkt ur
 nuvärdestabell för räntan $10-5=5\%$, blir endast ca 1% jämfört med om det
 beräknas matematiskt helt korrekt.*

Ur de två diagrammen i figur 5.5 kan man se att approximationen är noggrann vid värden på kalkylränta upp emot ca 15% och vid framtida årliga prishöjningar upp mot 10%. I det här sammanhanget finns anledning att betona att en lönsamhetskalkyl inte kan ge ett resultat som är "rätt" absolut sett. Den lönsamhet, eller bristande lönsamhet, kalkylen visar bestäms av bl a ett antal beräkningsförutsättningar såsom en viss kalkylränta, en viss framtida prisökning och en viss brukstid. Beräkningen av de framtida vinsterna eller besparingarna är också normalt relativt osäker.

Ett mindre kontrollerbart fel i beräkningsmodellen kan därför oftast accepteras. Det är överhuvud taget viktigt att vara medveten om att det är beräkningsförutsättningarna och inte beräkningsmodellen som i första hand bestämmer resultatet av lönsamhetskalkylen. Raffinerade matematiska beräkningsmodeller innebär inte i sig att resultatet blir mer tillförlitligt. Däremot kan svårigheten att bedöma resultatets tillförlitlighet öka, vilket ju inte på något sätt är eftersträvänsvärt.

5.4 Lönsamhetskalkyl som hjälpmedel vid val mellan åtgärdsalternativ

I den ekonomiska värderingen av en resurskrävande åtgärd ligger nästan alltid en medveten eller omedveten jämförelse med alternativa åtgärder som skulle kunna vidtas i stället för den studerade. Detta är helt naturligt genom att den totala ekonomiska resursen för åtgärder i praktiken alltid är begränsad så att endast de lönsammaste åtgärderna kan komma till utförande. Lönsamheten är därmed inte endast ett ekonomiskt mått för en investerings avkastning, utan även ett hjälpmedel vid prioritering av alternativ.

Inom energiområdet är det energimässiga resultatet av en åtgärd i förhållande till den resursuppostring som krävs, avgörande för bedömningen av åtgärdens värde. Även här ingår prioriteringen som en väsentlig del av den totala bedömningen, inte minst inom samhället i dess helhet i samband med dess fördelning av resurser till olika delar av energiområdet. Lönsamhetskalkylen av den enskilda åtgärden ger ett kvantitativt mått på åtgärdens värde. Har man olika åtgärder att välja mellan kan man genom att beräkna lönsamheten för var och en av dessa få underlag för att göra en bedömning av vilka som bör väljas. Lönsamhetskalkylen ger underlaget för en inbördes prioritering av åtgärderna. Många gånger är inte frågan om prioritering speciellt påtaglig när lönsamhetskalkylen görs. Man måste dock vara medveten om att den praktiskt taget alltid ändå blir viktig, och ofta till och med avgörande, förr eller senare i beslutsprocessen. Resultatet av lönsamhetskalkylen påverkas ju enligt det föregående starkt av den vid beräkningarna använda kalkylräntan och brukstiden, och den påverkas av om och hur framtida prishöjningar beaktas. Prioriteringen mellan olika åtgärder påverkas likaledes, dvs valet av de ingående grundstorheterna påverkar valet mellan olika åtgärder.

5.5 Exempel - lönsamhetsberäkning

Som nämnt i det föregående kan ett första steg i en rangordning av åtgärdsalternativ vara att välja bort de som överhuvud taget inte kan komma ifråga med hjälp av en payback-modell. De alternativa energieffektiviseringsförslag som återstår bör därefter rangordnas med hjälp av en verklig lönsamhetsmodell, som tar hänsyn till livslängd, räntor och eventuella återinvesteringar. Här finns olika alternativa ekonomiska modeller att tillgå, exempelvis nuvärdes-, annuitets- och internräntemodellen. Nedan ges ett exempel på hur annuitetsmodellen kan användas vid rangordning av olika åtgärder avsedda för energieffektivisering.

Vid energieffektiviserande åtgärder i befintliga byggnader eller vid nyproduktion krävs ett strikt ekonomiskt betraktelsesätt, exempelvis enligt annuitetsmodellen. Oavsett om det är frågan om ombyggnad eller nyprojektering måste olika alternativa lösningar ställas mot varandra och en rangordning ske. Detta görs lämpligen genom att ett basfall definieras och de alternativa lösningarna jämförs med detta fall. I befintliga byggnader motsvarar basfallet lämpligen den i byggnaden befintliga utrustningen, medan det vid nyproduktion måste definieras ett basfall med utrustning och systemutformning som uppfyller beställarens funktionskrav. Den ekonomiska värderingen kommer då att ske enligt följande.

Lönsamt om: $\text{Netto annuitet} \geq 0$

Kan även skrivas: $b - P \cdot A_{mer} \geq 0$

Där $b =$ Årlig nettobesparing jämfört med basfallet (SEK/år)
 $P =$ Annuitetsfaktorn (-)
 $A_{mer} =$ Merinvestering jämfört med basfallet (SEK)

Med årlig nettobesparing avses årlig total besparing (som en följd av energibesparingar) minus tillkommande årliga driftkostnader.

Den ekonomiska styrparametern är kalkylräntan r , vilken bestäms av beställaren och hans krav på avkastning eller tillgång till kapital. Alla alternativa lösningar med ett kalkylresultat större än 0 är då lönsamma och den lösning med högsta överskottet kan anses som mest lönsam.

Det följande exemplet behandlar olika typer av belysningsteknik, med ekonomiska grunddata enligt:

Kalkylränta $r = 8\%$
 Kalkyltid $n = 15$ år

Med sambandet för annuitetsfaktorn enligt avsnitt 5.2 fås följande uttryck:

$$P = \frac{0.08}{1 - (1 + 0.08)^{-15}} = 0.1168$$

Exempel – energieffektiv belysningsteknik

För en lärosal om 100 m² skall några alternativa belysningssystem rangordnas sinsemellan. För att detta skall vara möjligt att genomföra måste följande förberedelser göras:

1. Utgallring av alternativa system som inte uppfyller kraven på belysningskvalitet.
2. Dimensionering av de olika alternativen så att kraven på belysningsstyrka är uppfyllt.
3. Kostnadskalkylering av de olika alternativen.
4. Uppskattning eller simulering av utfallet i energianvändning för de olika alternativen.
5. Beräkning av årlig driftkostnad för de olika alternativen.

Efter utgallring av belysningsteknik som inte bedömts lämplig i denna typ av lärosal, återstår följande alternativ:

- Konventionell belysning Vanliga lysrör i armatur med elektromekaniskt drivdon
- Högfrekvens-belysning Enl. ovan med elektroniskt drivdon
- Belysning T5-rör ”Nytt” 16mm lysrör i armatur med elektroniskt drivdon
- Bel. T5-rör+styrning Enl. ovan med styrning efter närvaro och dagsljusinsläpp

De olika alternativen dimensioneras och kostnadskalkyleras (punkt 2 och 3 ovan) och resultatet sammanfattas i tabell 5.2.

Tabell 5.2 Data för tre olika belysningsalternativ.

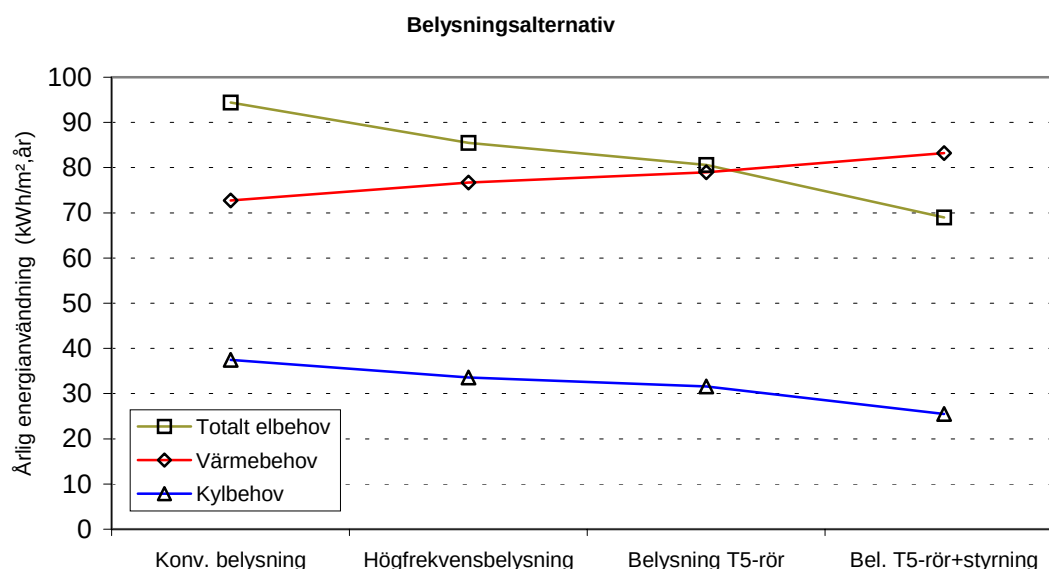
	Konventionell belysning	Högfrekvens-belysning	Belysning T5-rör	Bel. T5-rör+styrning
Installerad effekt (W/m ²)	15.0	11.9	10.2	10.2
Investering i installation + material (kr/m ²)	217.70	268.75	257.30	384.40
Merinvestering jämfört med konventionell belysning (kr/m ²)	---	51.0	39.6	166.7

Förväntad energianvändningen för olika belysningsalternativen simuleras fram för ett helt års användning av lärosalen under antagna förutsättningar vad gäller salens utnyttjande, krav på rumstemperatur och typ av klimathållningssystem. Punkt 4 sammanfattas i tabell 5.3.

Tabell 5.3 Totalt el-, värme- och kylanvändning, resultat från simulering av lärosal.

(kWh/(m ² , år))	Konventionell belysning	Högfrekvens-belysning	Belysning T5-rör	Bel. T5-rör+styrning
Värmebehov	73	77	79	83
Totalt elbehov	94	85	81	69
Kylbehov	37	34	32	26

Resultatet från tabellen ovan redovisas grafiskt i figur 5.6.



Figur 5.6 Totalt el-, värme- och kylanvändning, resultat från simulering av lärosal.

I figur 5.6 framgår hur elanvändningen minskar ju effektivare belysningsteknik som används. Som en följd av den internvärme belysningen genererar, ökar behovet av värme för effektivare belysning, medan kylbehovet minskar.

I detta exempel tas vid beräkning av årlig nettobesparing endast hänsyn till energikostnaden enligt följande energipriser:

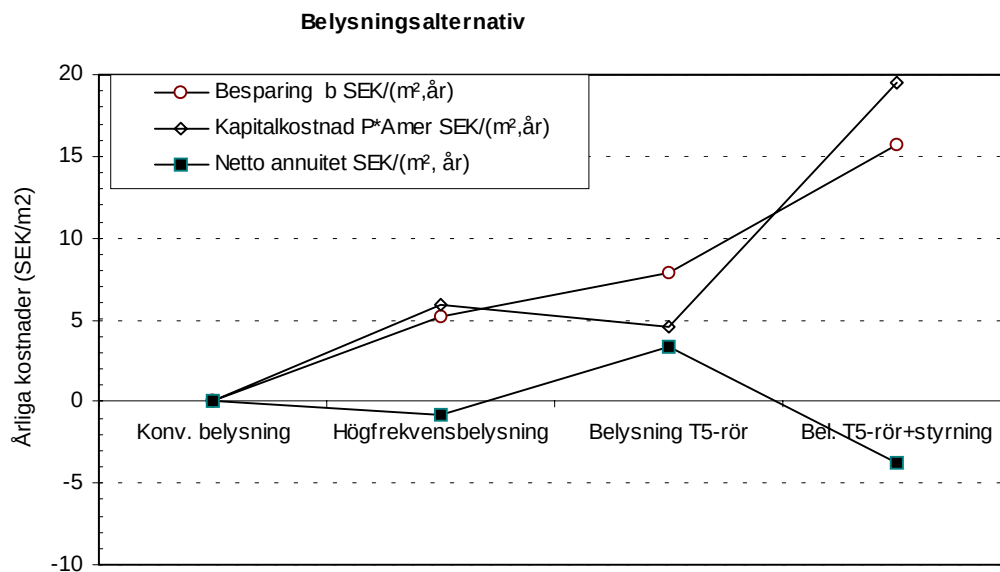
elpris	0.50 SEK/kWh
värmepris	0.40 SEK/kWh
kylpris	0.60 SEK/kWh

Nu summeras samtliga energikostnader (punkt 5) och sammanställs enligt följande.

Tabell 5.4 Sammanställning av besparing, kapitalkostnad netto annuitet.

	Konventionell belysning	Högfrekvensbelysning	Belysning T5-rör	Bel. T5-rör+styrning
Merinvestering A_{mer} SEK/m ²	0	51	39.6	166.7
Kapitalkostnad $P \cdot A_{mer}$ SEK/(m ² ,år)	0	5.96	4.63	19.48
Energikostnad SEK/m ² ,år	99	94	91	83
Besparing b SEK/(m ² ,år)	0	5.20	7.93	15.66
Netto annuitet $b - P \cdot A_{mer}$ SEK/(m ² , år)	---	-0.76	3.30	-3.81

Tabellen ovan redovisas grafiskt i figur 5.7.



Figur 5.7 Sammanställning av besparing, kapitalkostnad netto annuitet.

Resultatet visat i tabell 5.4 och i figur 5.7 anger att endast ett av de tre belysningsalternativen får ett positivt netto nuvärde, alternativet med T5-rör. Detta innebär att alternativet är mest lönsamt. Vid en rangordning kommer på andra plats "konventionell belysning" och på tredje plats "högfrekvensbelysning". Det sista alternativet, "T5-rör + styrning", uppvisar sämst lönsamhet trots att energibesparingen är den största.

Det visade exemplet tillämpar annuitetsmodellen. Om istället nuvärdesmodellen använts, skulle rangordningen bli identiskt lika och således ge ett likvärdigt resultat, med skillnaden att samtliga belopp räknats till dag 1 (nutid).

I det genomgångna exemplet gjordes aldrig någon utgallring av alternativ som uppvisade en alltför låg lönsamhet. Som avslutning på exemplet visas därför vilket resultat som erhålls enligt paybackmetoden:

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{A_{\text{mer}}}{b}$$

Där b = Årlig nettobesparing jämfört med basfallet (SEK/år)
 A_{mer} = Merinvestering jämfört med basfallet (SEK)

Kostnaderna från exemplet ställs samman i tabell 5.5 där även återbetalningstiden beräknats.

Tabell 5.5 Sammanställning av merinvestering, besparing samt beräknad återbetalningstid.

	Konventionell belysning	Högfrekvens- belysning	Belysning T5-rör	Bel. T5- rör+styrning
Merinvestering A_{mer} SEK/m ²	0	51	39.6	166.7
Besparing b SEK/(m ² , år)	0	5.20	7.93	15.66
Återbetalningstid (år)	---	9.8	5.0	10.6

6 ENERGIBESIKTNINGAR

Det är vanligt att en energibesiktning delas upp i följande tre nivåer, [3] och [2]:

1. En energibesiktning enligt **nivå I** baseras huvudsakligen på historiska data vad gäller energiförbrukning, kompletterat med en okulärbesiktning och, från fall till fall, genom data som samlas in med portabel mätutrustning. Här ingår normalt även samtal med driftpersonal. Resultaten ger normalt information om åtgärder som kan genomföras till låg kostnad (eller åtgärder som kan reducera kostnaden för energi, t ex genom byte av elleverantör eller förhandlingar med befintlig leverantör).
2. En energibesiktning enligt **nivå II** innehåller en mer omfattande och mer detaljerad genomgång av byggnaden och dess installationer och är främst riktad mot de större slutanvändare som identifierats vid genomgången enligt nivå I. Vid denna nivå är det lämpligt att kontrollera vad som förorsakar eventuella klagomål och undersöka vilken motivation personal har för att eventuellt delta i energisparprogram. En energibesiktning enligt denna nivå är normalt tillräcklig i de flesta situationer
3. En energibesiktning enligt **nivå III** innefattar, förutom nivåerna I och II, en detaljerad analys av vad som kan sparas genom olika åtgärder, där normalt användning av simuleringsverktyg krävs. På denna nivå koncentreras insatsen främst mot kapitalintensiva åtgärder som följaktligen medför ett större ekonomiskt risktagande.

Oavsett vid vilken nivå energibesiktningen genomförs så kommer besiktningen att ge mer eller mindre detaljerad information om olika slutanvändare och även ge besked om energibesparingspotential för de studerade slutanvändarna.

6.1 Vad studeras i en energibesiktning?

Skeenden i en byggnad är komplicerade, ur energiflödessynpunkt. Det är särskilt fallet för kommersiella lokaler, sjukhus, byggnader med särskilda krav på inneklimatet (såsom museer), etc. Komplexiteten i byggnadens totala energibalans gör det ofta svårt att uppskatta effekten av enskilda energibesparande åtgärder. För att undvika förenklade (och ofta missvisande) uppskattningar, bör varje analys av effekten av energibesparande åtgärder baseras på en studie av påverkan på hela byggnadens energibalans. En åtgärd i ett delsystem påverkar även funktionen hos andra delsystem. Om åtgärden betraktas helt isolerat utan att ta i beaktande hur helheten påverkas, kan innebära att åtgärder där man tror sig göra stora energibesparingar istället kan leda till att byggnadens totala behov av energi ökar. Ett sådant exempel kan vara tilläggsisolering av en redan välisolerad byggnad, där internt genererat värme dominerar energibalansen. En tilläggsisolering kan här medföra att behovet att kyla byggnaden ökar mer än den värmebesparing som kan åstadkommas. Sambanden mellan olika delar i byggnadens energibalans studeras närmare i kapitel 8,

En första grovindelning av parametrar som bestämmer en byggnads energibalans består av följande tre delar:

- Energitransporter genom byggnadens klimatskal,
- Aktiviteter som leder till att värme genereras internt i byggnaden,
- Energi som krävs i det system med vilket byggnaden klimatiseras.

Normalt återfinns möjliga energibesparande åtgärder under någon av dessa tre grupper.

Energitransporter genom byggnadens klimatskal

- transmission genom väggar, tak, golv, fönster och dörrar;
- värmetransport på grund av luftinfiltration och luftläckage,
- solinstrålning genom fönster.

Aktiviteter som leder till att värme genereras internt i byggnaden

- värme genererat av människor;
- värme genererat av belysning och maskinell utrustning.

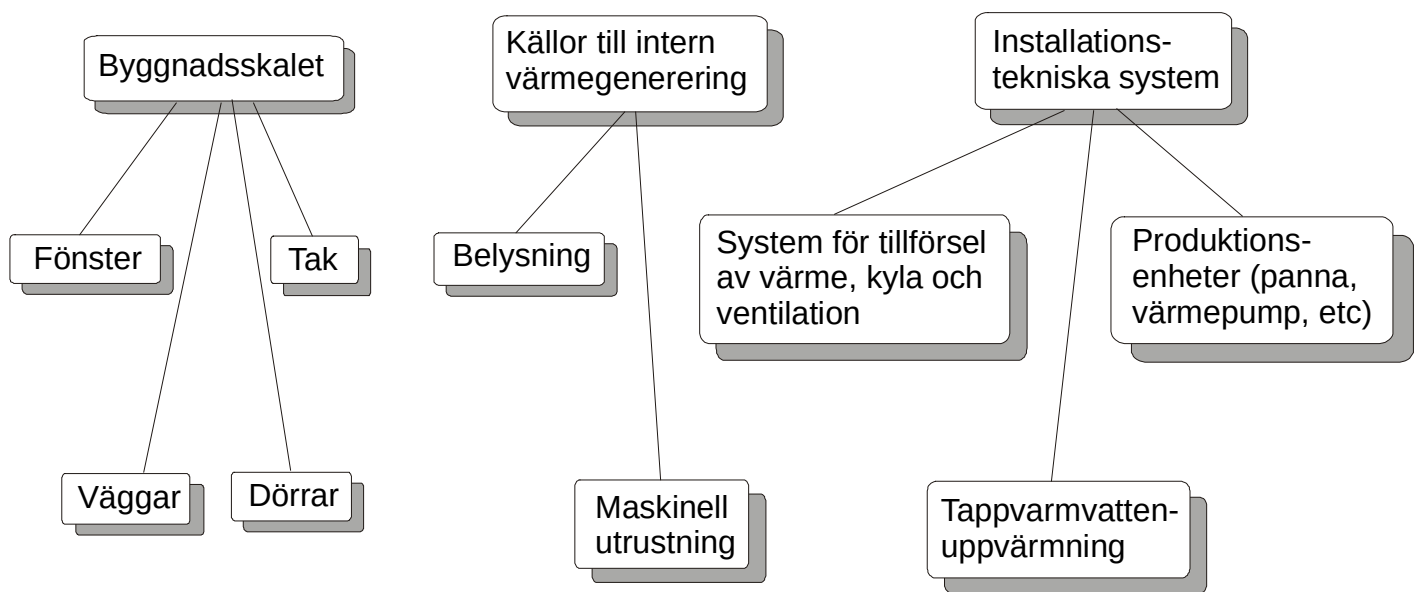
Energi som krävs för det system med vilket byggnaden klimatiseras

- tillförsel av värme under perioder med värmebehov;
- bortförsel av värme under perioder med kylbehov;
 - tillförsel av ventilationsluft;
 - värme för tappvarmvatten.

Parametrar som påverkar energibehovet i samtliga dessa tre grupper måste ingå i varje energibesiktning. Det är möjligt att energiflödena i någon av grupperna är små i relation till de andra grupperna och av den anledningen kan utelämnas ur energibalansen, men innan man kan förvissa sig om detta måste även denna grupp studeras och därvid konstateras vara försumbar. Detta innebär därmed att man även i situationer där en grupp är försumbar i relation till övriga grupper, måste kontrollera även denna grupp. Kontrollen kommer däremot inte att behöva bli lika detaljerad som för de grupper som starkt påverkar energibalansen.

Sammansättningen av byggnadens energibalans varierar kontinuerligt, och därmed byggnadens momentana behov av värmning och kylning. Beroende på typ av byggnad som studeras, kan variationen vara mer eller mindre stor över olika tidsperioder. I en skola t ex är skillnaden påtaglig mellan dag och natt, mellan veckodagar och helgdagar, och mellan terminstid och längre lov. I ett sjukhus är det ofta så att verksamheten är i stort sett lika över året. Parameter som ingår i alla byggnaders energibalans och som varierar oavsett verksamhet, är utetemperaturen och solinstrålningen. Dessa har både en dygns- och årsvariation. När effekter av energibesparande åtgärder skall bedömas är det alltså normalt nödvändigt att inkludera dygnsvisa, veckovisa och årsvisa variationer.

Ovanstående tre huvudgrupper som ingår i en byggnads energibalans kan delas upp i ett antal undergrupper. Detta illustreras i figur 6.1.



Figur 6.1 Områden som bör ingå i en energibesiktning.

Energibesparande åtgärder som appliceras på byggnadens klimatskal påverkar värmetransmissionen mellan byggnaden och uteluften. Normalt reduceras både värmetransmission och luftinfiltration.

Energibesparande åtgärder som påverkar internt genererat värme, reducerar normalt direkt elanvändningen. Under perioder med värmeöverskott i byggnaden kommer dessa åtgärder också att leda till att värmeöverskottet i byggnaden minskar, vilket gör att byggnadens behov av kyla minskar. Om kylan produceras lokalt med kylmaskin innebär detta att kylmaskinen kräver mindre el. Om ett system med luftburen kyla är installerat kan det vara möjligt att minska på luftflöden, vilket gör att också en besparing av fläktel erhålls.

Energibesparande åtgärder utförda på installationstekniska system påverkar effektiviteten hos dessa, och därmed den mängd energi som behövs för att driva dessa. Här finns det ofta möjligheter att se över och förbättra drifttider för olika komponenter, där ventilationen är en av de viktigare.

När energibesparande åtgärder genomförs på byggnadsskalet eller för att reducera internt genererat värme, är det utomordentligt viktigt att kontrollera hur det påverkar systemet som klimatviserar byggnaden. Det finns ofta utrymme för att justera luftflöden efter sådana åtgärder. Möjligheterna till förändringar av luftflöden beror på typ av system för luftförling som är installerat.

6.2 System för byggnadens klimatisering

Alla byggnader i vilka det vistas människor måste ventileras. Enligt [9], krävs att utrymmen i vilka det vistas personer ventileras med ett uteluftsflöde av minst 0.35 l/s, m². Utöver detta återfinns man rekommendationer på luftflöden i andra typer av utrymmen, men värdet 0.35

l/s,m² är det enda kravet som ställs på ventilationsluftflöden. Utöver detta finns krav på att halten koldioxid (CO₂) inte långvarigt får överskrida nivån 1000 ppm i utrymmen där personer vistas. Kravet på CO₂-nivåer ställs av både **Socialstyrelsen och Arbetskyddsstyrelsen**. Se även kapitel 3.

Utöver att uppfylla de hygieniska kraven kan den luft som passerar byggnaden även användas för att klimatisera hela eller delar av byggnaden. Luften kan således tillföra eller bortföra värme från byggnaden. I Sverige är det vanligare att använda luften för att bortföra värme än för att tillföra värme. Normalt tillförs värme med vattenburna system eller med direktverkande el.

I många byggnader används vattenburna system för att klimatisera byggnaden, dvs både för att tillföra värme och att bortföra värme. Här blir luftföringens uppgift att tillse att de hygieniska kraven uppfylls.

Vidare resonemang vad gäller byggnadens system för klimatisering fokuserar på de egenskaper som krävs för att upprätthålla det termiska klimatet i byggnaden.

Det termiska klimatet upprätthålls genom att:

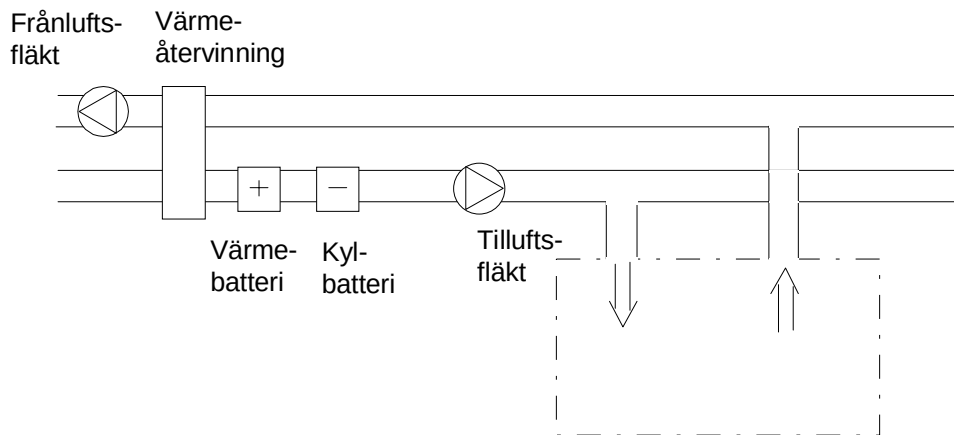
- föra bort internt genererat överskottsvärme (personer, belysning, maskinell utrustning) och tillskott på grund av solinstrålning genom fönster, för att förhindra att rumstemperaturen blir för hög.
- tillföra värme under perioder med värmeunderskott (i lokaler främst under tidsperioder då ingen verksamhet bedrivs).

Klimathållningssystem som används i Sverige och vilka förutom ett värmesystem även innehåller ett kylsystem, kan generellt uppdelas i tre typer med avseende på tillförseln av kyla; *system med luftburen kyla, system med vattenburen kyla och kombinerade system (kyla tillförs med både luft och vatten)*. Oavsett vilken av dessa systemtyper som används tillförs byggnaden vanligen värme, som tidigare nämnts, med ett vattenburet system, men både elvärmesystem och luftburna värmesystem förekommer.

I kapitel **6.2.1-6.2.3** diskuteras luftburna, vattenburna och kombinerade system och hur de är uppbyggda.

6.2.1 System med luftburen kyla

I dessa system bestäms det dimensionerande luftflödet av det dimensionerande värmeöverskottet. Det är således de termiska kraven, inte de hygieniska, som är dimensionerande. Den principiella uppbyggnaden av ett luftburet kylsystem visas schematiskt i figur 6.2.



Figur 6.2 System med luftburen kyla - principskiss.

Förutom att kyla distribueras med luft kan, som nämnts tidigare, även värme distribueras med luft via eftervärmningsbatterier belägna i direkt anslutning till varje rum. Vanligast i Sverige är dock att värme tillförs rummen via radiatorer i de separata rummen.

Kylsystemet måste kunna ta hand om variationen i värmeöverskott, både över dygnet och årsvis. Detta görs genom att använda antingen konstantflödessystem eller system med variabelt flöde (kombinationer av de två metoderna förekommer också).

CAV system

Temperaturen på luften som tillförs varje rum kan varieras, men luftflödet hålls konstant. Denna typ av system benämns CAV system (Constant Air Volume).

Rummen med de största värmeöverskotten bestämmer normalt den tilluftstemperatur som bereds i det centrala luftbehandlingsaggregatet.

Med ett CAV system är det möjligt dels att bortföra värme från byggnaden, dels att tillföra byggnaden värme. I Sverige är det vanligt att CAV systemet endast används till att föra bort överskottsvärme. Vid de tider då byggnaden har ett värmebehov tillgodoses detta av värmare (radiatorer) placerade direkt i rummen.

Även om ett CAV system tillför luft med ett konstant flöde används ibland tvåhastighetsmotorer till fläktarna där man vanligen reglerar ner varvtalet till 2/3 av det dimensionerande när kylbehovet i byggnaden så tillåter. Eftersom förhållandet mellan varvtal och luftflöde är direkt proportionellt så länge strömningen i kanalsystemet är fullt turbulent, minskar då även luftflödet till 2/3 av det dimensionerande. Användning av tvåhastighetsmotorer i CAV system skall inte förväxlas med VAV system där flödet varieras kontinuerligt efter behov för att anpassa kyleffekten.

Som nämdes ovan kan tilluftstemperaturen i ett CAV system vara konstant eller varieras. Variationen kan göras:

- oberoende av utetemperaturen men beroende av momentana ändringar i värmeöverskottet. Denna typ av temperaturstyrning sker i eftervärmningsbatterier i direkt anslutning till respektive zon.

- beroende av utetemperaturen. Denna typ av temperaturstyrning sker i det centralt belägna aggregatet.
- som en kombination av båda ovanstående.

I CAV system där temperaturstyrningen sker centralt och i CAV system med konstant tilluftstemperatur görs en korrigering till rätt rumstemperatur i de enskilda rummen t ex med väggfasta radiatorer.

VAV system

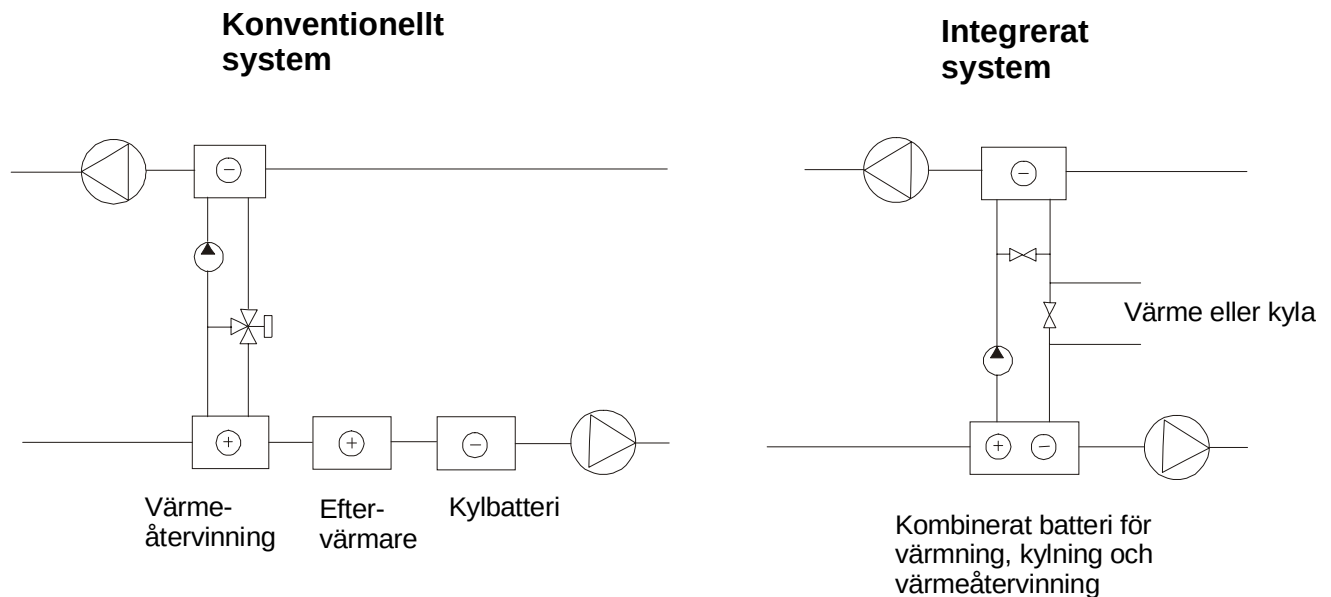
Luftflödet som tillförs varje rum varierar efter behov, men temperaturen på tilluften hålls konstant, dvs tilluftstemperaturen ändras inte med att lasten ändras. Däremot sker normalt en årstidsstyrning av tilluftstemperaturen, som en funktion av utetemperaturen. Denna typ av system benämns VAV system (Variable Air Volume).

Luftflödet till varje rum eller zon regleras med spjäll i någon form av boxar i direkt anslutning till rummet, medan centrala till- och frånluftsfläktar kontrolleras med hjälp av spjällreglering, ledskenereglering eller varvtalsstyrda fläktmotorer, vanligtvis med frekvensomriktare. Styrningen sker normalt mot att upprätthålla konstant statiskt tryck i till- och frånluftskanaler. Flödet varierar från max den varmaste dagen ner till kanske 20% av max under årets kallaste dagar, då luften endast har som uppgift att tillgodose de hygieniska kraven.

6.2.2 Alternativ utformning av luftbehandlingsaggregat

Under senare år har alternativa uppbyggnader av luftbehandlingssystem tagits fram. Medan de konventionella systemen är uppbyggda av separata batterier för värmeåtervinning, kylning samt eftervärmning (se t ex figur 6.2), används i de alternativa systemen ett gemensamt tilluftsbatteri för samtliga funktioner. ABB i Finland har tagit fram en systemlösning man kallar Thermonet[®], vilken även finns att tillgå i Sverige. I Göteborg har LEB-AXRO Consult utvecklat ett system med liknande systemmässiga tankegångar.

För dessa alternativa system gäller att värmeåtervinningen mellan från- och tilluft sker via en vätskekoppling. I figur 6.3 redovisas det alternativa systemets uppbyggnad jämfört med ett konventionellt, vätskekopplat system.



Figur 6.3 Jämförelse mellan konventionell och alternativ systemlösning vid uppbyggnad av luftbehandlingsaggregat.

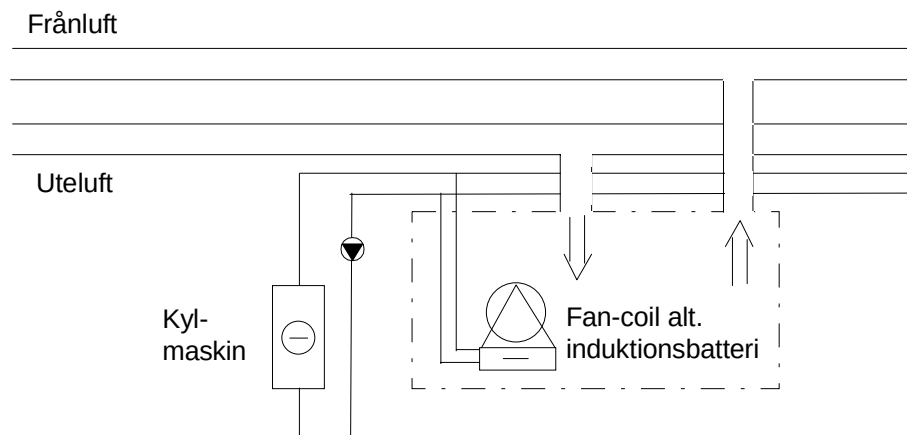
All extern värme eller kyla som behöver tillföras tilluften (dvs utöver det värme som kan flyttas direkt mellan till- och frånluft) tillförs genom att höja eller sänka temperaturen i vätskekretsen mellan batterierna. Vid kylfallet körs hela flödet förbi batteriet i frånluften via en bypass.

Dimensioneringen av det kombinerade batteriet bestäms normalt av värmefallet. När dimensioneringen sker efter värmefallet kommer således batteriet att bli så stort för kylfallet att högre temperaturer på den kyla som tillförs kan tillåtas än för det konventionella systemet. Förhållandet i areabehov hos kombibatteriet för värme- respektive kylfallet är olika från byggnad till byggnad, beroende på förhållandet mellan behovet av värme respektive kyla.

Det kan vara intressant att notera att man vid utformningen av alternativa system måste vara uppmärksam på temperaturnivåer, så att inte också frånluften värms via vätskekretsen.

6.2.3 System med vattenburen kyla

Dessa typer av system förser de enskilda rummen med vattenburen kyla. Det luftsystem som finns används enbart för att tillgodose de hygieniska behoven. I figur 6.4 visas schematiskt hur ett sådant system kan vara uppbyggt. I figuren exemplifieras tillförseln med fan-coil alternativt induktionsbatterier.

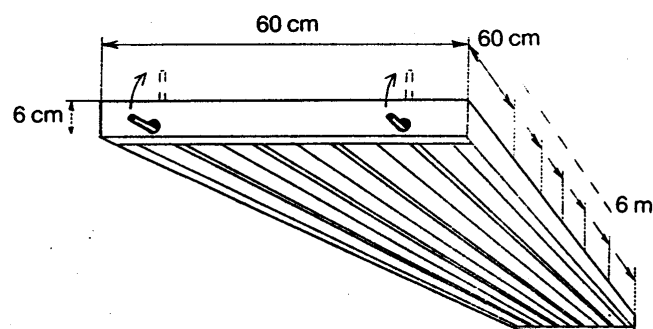


Figur 6.4 System med vattenburen kyla - princip.

Kyla kan tillföras rummet på ett antal olika sätt. Nedan redogörs översiktligt för hur takpaneler, fan-coil aggregat och induktionsbatterier fungerar. Fan-coil aggregat och induktionsbatterier placeras normalt under fönster utefter ytterväggar. Förutom de takpaneler som visas nedan är även kylbafflar vanligt förekommande. De placeras i tak och avger kyla både i form av konvektion och strålning.

- **Takpaneler.**

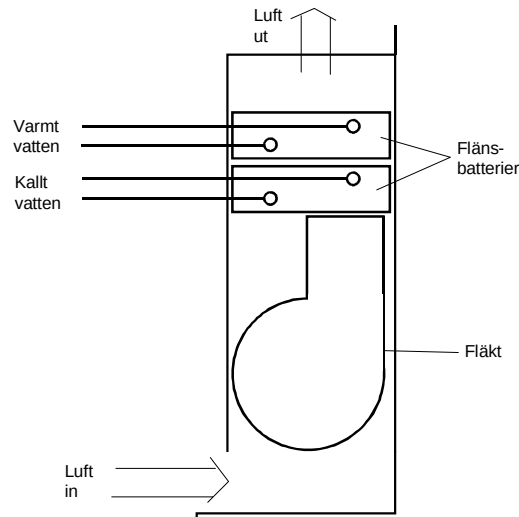
Kylpaneler som hängs i tak. Finns i flera olika utföranden. Fungerar i huvudsak som strålningskylare. Ett exempel på hur en takpanel kan vara utförd återfinns i figur 6.5.



Figur 6.5 Takpanel för tillförsel av kyla.

- **Fan-coil batterier.**

En enhet via vilken både värme och kyla tillförs rummet (dock ej samtidigt). En principskiss av ett fan-coil batteri visas i figur 6.6.

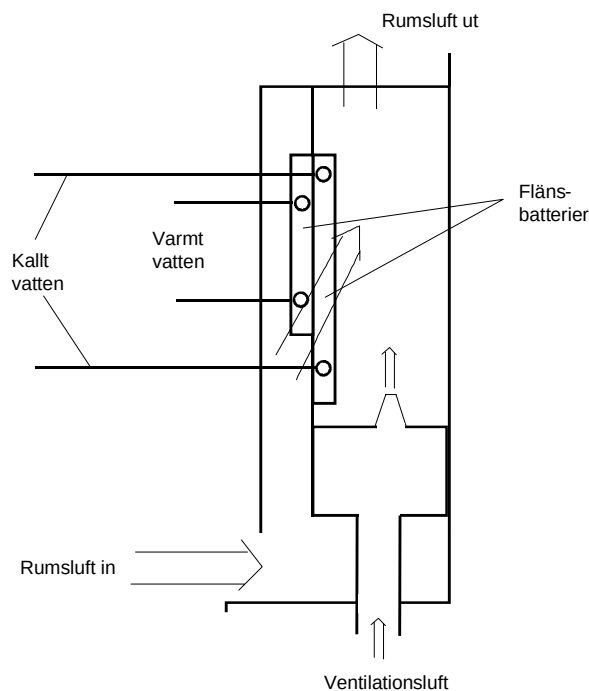


Figur 6.6 Fan-coil batteri - principskiss.

Ett fan-coil aggregat är utrustat med en fläkt vilken cirkulerar rumsluft genom aggregatet. I aggregatet antingen värms eller kyls luften i ett värme- eller kylbatteri. Värme- respektive kylbatteriet tillförs varmt alternativt kallt vatten från en central anläggning i byggnaden.

- **Induktionsbatterier.**

En enhet via vilken både värme och kyla tillförs rummet (dock ej samtidigt). En principskiss av ett induktionsbatteri visas i figur 6.7.



Figur 6.7 Induktionsbatteri - principskiss.

När induktionsbatterier används tillförs ventilationsluften rummet genom induktionsbatteriet. Ventilationsluften strömmar genom ett munstycke med hög hastighet vilket får till följd att rumsluft "rycks med" genom värme- eller kylbatteri. På

detta sätt är det möjligt att värma eller kyla rummet genom en och samma enhet utan att använda fläkt.

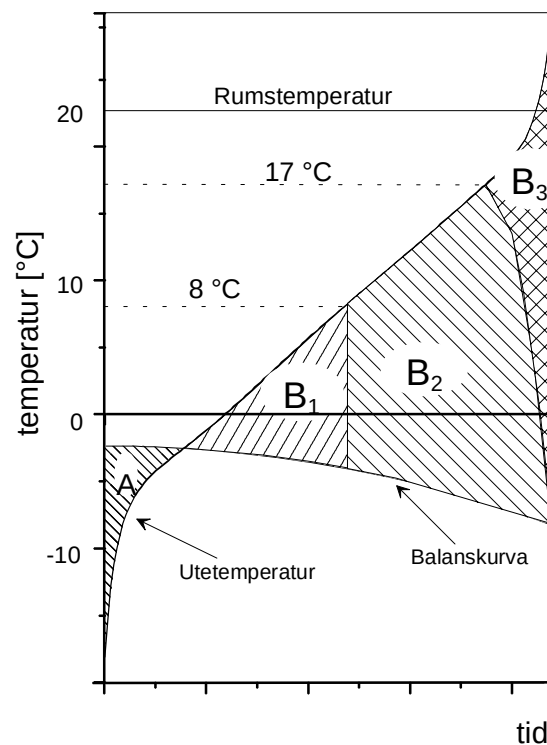
6.2.4 Kombinerade system

Det finns möjligheter att kombinera system med luftburen och vattenburen kyla på en mängd olika sätt. Ett tillfälle då systemen måste kombineras är då man vill ha ett system med luftburen kyla, men då det dimensionerande kylbehovet är så stort att det inte fullt ut kan tas om hand med enbart luft (beroende på att man i så fall skulle behöva så stora luftflöden att dragproblem blir ofrånkomliga). Det finns även möjligheter att kombinera luftburna system så att man för vissa delar av en byggnad, eller för vissa rum, använder sig av ett VAV system (genom att utnyttja sk VAV boxar där luftflödet kan styras) för att i övriga delar av byggnaden ha ett CAV system.

I befintliga lokalbyggnader som ursprungligen saknar kyla, vill man ofta i om- eller tillbyggnadssituationer komplettera med ett kylsystem. Här blir det nästan undantagslöst installation av vattenburna kylsystem som kommer ifråga, beroende på att utrymmesbehoven för det vattenburna systemet är så mycket mindre än för det luftburna.

6.3 Skillnaden mellan luftburen komfortkyla och vätskeburen

I fråga om hur mycket "köpt" kyla som måste tillföras en byggnad med behov av sk komfortkyla, kan skillnaden vara stor mellan ett vätskeburet och ett luftburet system i byggnaden. Skillnaden mellan dessa illustreras med hjälp av figur 6.8. Jämförelsen sker i ett sk varaktighetsdiagram. Principen för hur dessa är uppbyggda och kan användas för att studera en byggnads värmebalans redovisas i detalj i kapitel 8.



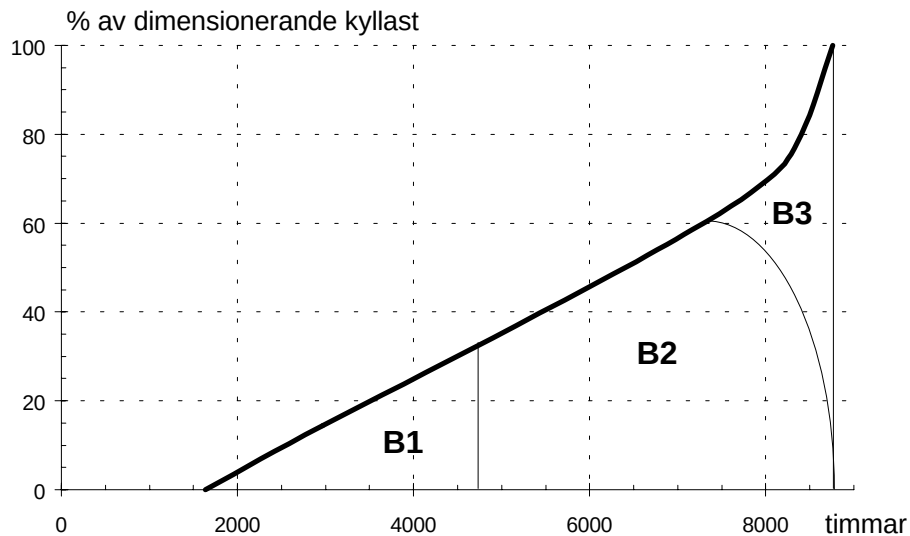
Figur 6.8 Illustration av skillnaden i en byggnads behov av "köpt" kyla om byggnaden är försedd med ett luftburet distributionssystem eller ett vätskeburet.

I det luftburna distributionssystemet sker kylningen av byggnaden med undertempererad luft (luft med lägre temperatur än rumstemperaturen). På grund av risk för drag kan inte luften tillföras enskilda rum med temperaturer lägre än ca 16-17 °C. Det innebär att man utnyttjar kall uteluft för kylning så länge som uteluftsens temperatur är lägre eller lika stor som börvärdet för tilluften. I figur 6.8 är detta illustrerat för en tilluftstemperatur av 17°C. Så länge temperaturen är lägre än 17°C sker således all kylning av byggnaden direkt med kall uteluft. Endast vid temperaturer högre än 17 °C behövs köpt kyla. Köpt kyla måste även vara dimensionerad för att ta hela kyllasten. I fallet med luftburen kyla behöver således endast köpt kyla motsvarande ytan B_3 tillföras byggnaden, medan resten av behovet tillgodoses med kall uteluft (motsvarande ytorna B_1 och B_2). Ett ytterligare kylbehov som tillkommer i luftburna kylsystem beror på kondensutfällning i kylbatterier i tilluften. Det kondensationsvärme som avges där måste tas om hand med köpt kyla. Bidraget kan vara i storleksordningen 25-30% ytterligare kylbehov jämfört med yta B_3 i figurerna 6.8 och 6.9.

I fallet med vätskeburen kyla tillförs byggnaden kyla genom t ex takbafflar, fan-coils eller induktionsapparater. Vattnet fram till enheten håller en temperatur av ca 12-14 °C (man undviker att få yttemperaturer som ligger under daggtemperaturen). Vid "ren" vattenkylning, dvs om man inte kombinerar vattenburna och luftburna kylsystem, kan man använda en av följande två grundprinciper:

1. Allt kylbehov tillgodoses utan möjlighet att kyla mot uteluften. I detta fall krävs att byggnaden tillförs köpt kyla motsvarande hela byggnadens behov, dvs proportionellt mot $B_1+B_2+B_3$.
2. Uteluften används för att kyla vatten i kylkretsen. Normalt görs detta så att man vid en given utetemperatur låter all kylning av kylvatten ske mot uteluften, genom någon form av värmeväxlare. Denna utetemperatur ligger ett antal grader lägre än den framledningstemperatur som behövs i kylkretsen inne i byggnaden. I figur 6.8 är denna utetemperatur vald till 8 °C och behovet av köpt kyla blir då proportionellt mot B_2+B_3 .

Figur 6.8 kan omformas till ett "rent" kylbehovsdiagram, se figur 6.9, genom att avsätta balanskurvan som "x-axel". Informationen angående kylbehoven vid olika typer av kylsystem installerade i en byggnad erhålls på samma sätt som i figur 6.8 och ytorna B_1 , B_2 och B_3 representerar fortfarande samma kylbehov som i figur 6.8.



Figur 6.9 Kyleffektbehov för en byggnad utrustad med luftburen kyla alternativt med vattenburen kyla. Ytorna B1, B2 och B3 representerar samma värmemängder som i figur 6.8.

Utöver den direkta komfortkylan kan givetvis finnas behov av kyla till andra ändamål med krav på ungefär motsvarande temperaturnivåer som vid klimatisering av rum i byggnaden. Här är det främst kylning av kondensorvärme från kylmaskiner installerade i kyldiskar av olika slag som kommer ifråga.

Leverans av kyla från ett energiverk i form av kallt vatten, kan användas såväl för byggnader med luftburen kyla installerad som för byggnader med vattenburen kyla installerad. Det är dock viktigt att hålla i minnet att två identiska byggnader med identisk verksamhet kan ha helt olika behov av köpt kyla, om den ena byggnaden har ett luftburet kylsystem installerat och den andra har ett vattenburet.

6.4 Energibesparande åtgärder

De mest kostnadseffektiva åtgärderna är normalt de som balanserar och korrigerar flöden. Detta innebär balansering av luft- och vattenflöden, och att kontrollera och justera styr- och regler så att systemet utnyttjas optimalt. Enkla tillägg i styrfunktioner kan tillåta effektivare tidsstyrning av fläktar eller en bättre styrning av värmeåtervinning mellan till- och frånluft. Dessa typer av åtgärder bör studeras i ett tidigt skede av ett effektiviseringsarbete, eftersom systemet kan vara anpassat för förhållanden som rådde tidigare, men som kanske är helt förändrade för den aktuella verksamheten. Ibland kan energikostnaderna reduceras väsentligt bara genom att anpassa det existerande systemet till byggnadens och verksamhetens aktuella behov.

En viktig möjlighet till energibesparingar är värmeåtervinningen mellan till- och frånluft. Här är det viktigt att kontrollera att den fungerar som avsett, eftersom det normalt rör sig om stora energimängder sett över ett år. Temperaturgivare som används för att styra återvinningen och för att kontrollera effektiviteten, måste kalibreras med jämna mellanrum och måste ha genomtänkta placeringar i luftkanalerna intill värmeväxlaren.

Det kan finnas möjligheter till att använda kall uteluft under tider av året då byggnaden behöver kyla. Om ventilationssystemet istället för att stängas av under nätter, istället får vara i drift för att ”kyla ner” byggnaden, kan behovet av tillförd kyla reduceras under dagtid. Om en åtgärd av denna typ genomförs är det viktigt att se till att inte värmeväxlingen mellan till- och frånluft är aktiverad under nätter. I samband med att fläktarna körs hela dygnet under dessa perioder kommer behovet av fläktel att öka. För att få en komplett bild av hur mycket kyla som kan sparas i förhållande till hur mycket mer el som krävs för fläktdriften, behöver noggranna analyser göras innan en åtgärd av detta slag genomförs.

I system med luftburen kyla, med en väl fungerande värmeåtervinning, är den mängd el som årsvis används för att driva till- och frånluftsfläktar, i samma storleksordning som den mängd värme som behöver tillföras i värmebatteriet efter värmeväxlaren. Således finns det energimässigt utrymme för att studera åtgärder som kan reducera elbehovet hos fläktarna.

Fläktarna i systemet levererar en tryckuppsättning som gör att rätt luftmängd kan transporteras i kanalsystemen. Ju större tryckuppsättning som behövs, desto mer fläktarbete krävs. De största tryckfallen i systemet finns i det centrala luftbehandlingsaggregatet, där filter, värmeväxlare, värme- och kylbatterier, är belägna. Ett sätt att hålla tryckfallen i det centrala aggregatet så låga som möjligt är att regelbundet kontrollera försmutsning av filter och regelbundet byta dessa. Vanligen kontrolleras filtrens försmutsning genom att mäta tryckfallet över dem.

En möjlig metod att reducera fläktenergin i ett CAV system är att modifiera det till ett VAV system. På detta sätt reduceras även mängden kyla som behöver tillföras kylbatteriet i tilluften (i det luftburna kylsystemet). Detta är en åtgärd som vanligen kräver relativt stora investeringar och skall därför alltid studeras ingående innan genomförande.

I befintliga VAV system finns potential för energibesparingar i att effektivisera sättet luftflödet regleras. Aktuellt luftflöde kontrolleras genom en av nedanstående metoder, eller genom kombinationer av dessa:

- reglerbara spjäll;
- ledskenereglering;
- varvtalsstyrning av fläktmotorer;
- ställbar skovelvinkel (endast för axialfläktar).

Vilken metod som är mest lämplig och om det är möjligt att bygga om den befintliga regleringen, måste undersökas från fall till fall.

I cirkulationskretsar för vatten kan det vara aktuellt att reglera vattenflödet i kretsen. Om det är önskvärt att erhålla låga returtemperaturer från en värmekrets (normalt ett önskemål från leverantörer av fjärrvärme, vilket också kan resultera i lägre fjärrvärmekostnader beroende på taxesystem), kan det vara ett intressant alternativ.

Andra åtgärder i cirkulationskretsar kan vara att identifiera och byta ut detaljer som ger höga tryckfall där det inte är önskvärt, eller byta pumpar mot nya med högre verkningsgrad.

6.5 Tappvarmvatten

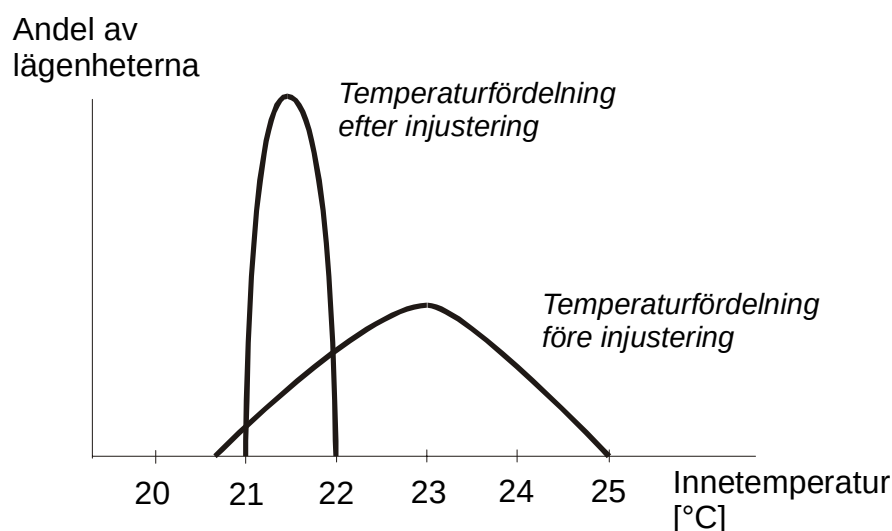
Tappvarmvatten bereds antingen lokalt i anslutning till en byggnad eller en grupp av byggnader, eller bereds i en fjärrvärmecentral med värme från fjärrvärmeleverantör. Vid lokal beredning av tappvarmvatten är det vanligt att beredningen sker i en panna som även levererar värme till byggnadens vattenburna värmesystem. I pannan kan det då finnas en förrådsberedare eller en genomstömningsberedare.

En möjlig förbättring av system där beredning av tappvarmvatten sker i pannan, är att separera varmvattenberedningen från pannan. På detta sätt kan varmvatten produceras oberoende av pannan, som kan då stängas av under perioder när byggnaden saknar uppvärmningsbehov. Pannans årsverkningsgrad ökar på detta sätt.

Vad gäller den mängd värme som måste tillföras tappvarmvattnet finns två möjligheter att reducera denna. Första möjligheten är att reducera temperaturen på tappvarmvattnet. Här är man begränsad av de krav som ställs på tappvarmvattentemperaturer, utifrån legionellarisker. Andra möjligheten är att reducera mängden använt tappvarmvatten. Detta görs normalt genom att installera snålspolande vattenarmaturer. Förutom att det har en positiv inverkan på värmeåtgången för tappvarmvattenberedning, har det även en positiv inverkan på den totala vattenåtgången.

6.6.1 Värmedistributionssystem

När värme distribueras i en byggnad med ett vattenburet system, är det viktigt att systemet är riktigt injusterat. Ifall injusteringen inte är korrekt, fås en ojämn flödesfördelning i byggnaden med följd att värmefördelningen också blir ojämn. I ett flerbostadshus leder detta typiskt till att framledningstemperaturen höjs för att kompensera de delar av byggnaden där flödet är för lågt och värmetillförseln därmed för låg. I de delar av byggnaden där flödet är tillräckligt kommer temperaturen att bli högre än nödvändigt.



Figur 6.10 Temperaturfördelning i en byggnad före och efter injustering av värmekretsen – schematiskt exempel.

Före injusteringen är framledningstemperaturen höjd så att även lägenheterna med lägst innetemperatur skall komma upp i nivåer nära 21 °C. Detta innebär samtidigt att lägenheterna med de högsta temperaturerna förskjuts uppåt i motsvarande grad. Resultatet av den dåliga injusteringen är att fastighetens genomsnittliga innetemperatur kan betydligt över 21 °C. I figur 6.10 ligger medeltemperaturen före injustering vid ca 23 °C. Efter injustering ligger samtliga lägenheter inom ett betydligt snävare intervall, mellan 21 och 22 °C. En minskning av den genomsnittliga innetemperaturen i en fastighet med 1 °C minskar det årliga värmebehovet med i storleksordningen 5-6%. En minskning med 2 °C medför en fördubblad besparing. I det exempel som figur 6.10 illustrerar skulle således värme för uppvärmningsändamål kunna reduceras med 10-12% per år, genom en injustering av radiatorsystemet.

Det finns anledning att överväga en injustering omskillnaden i temperatur mellan liknande rum i olika lägenheter skiljer mer än ca 3°C (en kall dag), eller om skillnaden mellan fram- och returtemperatur avviker väsentligt mellan olika stammar.

Det finns flera olika metoder att gå till väga vid en injustering. I t ex [22] redovisas flera av dessa utförligt.

6.7 Värmeproduktions- och kylproduktionsanläggningar

Åtgärder på enheter som producerar värme, kyla och tappvarmvatten, kan generellt delas in i två huvudgrupper.

- ökad effektivitet genom att utföra åtgärder på enheten själv och därigenom, indirekt, öka systemeffektiviteten,
- ökad effektivitet genom att utföra åtgärder som bättre anpassar enheten till de krav som ställs, t ex genom att anpassa drifttider.

Enheter som producerar värme eller kyla kan åtgärdas på en mängd olika sätt, vilka beroende på utrustningen i sig och hur gammal den är. För kylmaskiner gäller alltid att temperaturer och flöden både på den varma och kalla sidan regelbundet skall kontrolleras för att säkerställa bra arbetsförhållanden. Värmeväxlare skall rengöras regelbundet för att bibehålla hög verkningsgrad. Hos pannor skall sotning och kontroll av brännare ske regelbundet som en del av det schemalagda underhållet. Större åtgärder för pannor kan bestå i utbyte av brännare, isolering av panna där sådan är bristfällig, installation av rökgaskondensering, etc.

En höjning av systemets effektivitet kan ofta åstadkommas genom att matcha systemet mot byggnadens aktuella behov. Här finns enkla åtgärder som att optimera start- och stopptider för olika utrustning, eller genom att stänga av utrustning när den inte behövs. Maskiner kan startas upp i sekvens för att hålla nere effektbehov. Mer avancerad styrning kan tillåta att temperaturen hos värmebärare eller köldbärare varierar efter aktuella behov. Också värmebärar- och köldbärarflödet kan varieras. Dessa variationer kan åstadkommas t ex med hjälp av shuntning eller användning av pumpar med variabelt varvtal.

Ett sätt att effektivisera ett system är att aktivt ta till vara värme från kylmaskiner. Om det finns ett samtidigt behov av värme och kyla, bör möjligheterna att använda spillvärme från kylmaskinen för uppvärmningsändamål studeras. Det är särskilt viktigt att kontrollera att

temperaturnivåer hos värme från kylmaskinen är tillräckligt höga för att kunna användas i värmesystemet.

För tappvarmvatten gäller att ha kontroll över temperaturnivåer så att de inte blir onödigt höga med värmeförluster som följd. Givetvis får de inte heller bli för låga med potentiella legionellaproblem som följd. Lägsta tillåtna krav på temperaturnivåer hos tappvarmvatten finns som myndighetskrav och skall givetvis följas. Förutom att hålla kontroll på tappvarmvattentemperaturen, kan besparingar åstadkommas genom att minska på förbrukningen av tappvarmvatten, dvs att mängden vatten som förbrukas kan reduceras. Idag finns olika typer av snålspolande vattenarmaturer och munstycken på marknaden, vilka utan försämrad komfort kan spara avsevärda mängder varmvatten. Särskilt markerat är detta i byggnader där andelen tappvarmvatten är hög (t ex bostäder).

6.8 Elektriska installationer

6.8.1 Belysning

Ett belysningssystem består av fyra huvudkomponenter:

- lampor
- drivdon
- ljusarmaturer
- belysningskontroll.

Det finns en rikhaltig litteratur inom området, se t ex [11], varför de första tre av huvudkomponenterna ovan behandlas kortfattat. Belysningskontroll ges en något mer ingående beskrivning.

Lampor

Energibesparingsåtgärder relaterade till lampor kan delas upp i tre grupper:

- Reducering. I områden som har mer ljus än vad verksamheten ställer krav på (kontrolleras t ex genom att stämma av aktuella lux-tal mot kravspecifikationer), finns normalt möjlighet att reducera antalet lampor. Görs normalt genom att släcka hela armaturer eller genom att ta bort ljuskällor från enskilda armaturer. Innan reduceringar görs, kontrollera att befintliga drivdon klarar detta.
- Utbyte. Gamla ineffektiva lampor byts successivt ut mot nya med bättre prestanda, som ger ett ökat ljusutbyte, dvs mer ljus per W el som lampan drar. Detta kan göras i kombination med ovanstående punkt. Glöm inte att kontrollera vad befintliga drivdon klarar.
- Förändring. I situationer där vanliga glödlampor används bör undersökas om det finns möjlighet att ändra från glödlampor till sk lågenergilampor.

Drivdon

Drivdon krävs för alla typer av lampor av urladdningstyp (ex lysrör och lågenergilampor). Drivdonet förser lampan med den hög spänning som krävs för att tända lampan och ser därefter till att leverera lagom mycket ström till lampan för att hålla den i drift.

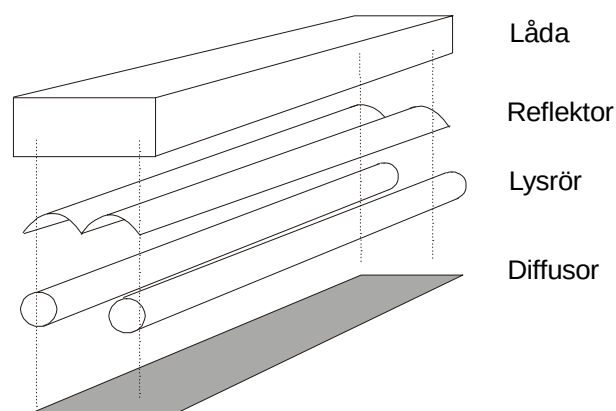
Det finns möjlighet att spara energi genom att välja rätt drivdon till lampan eller armaturen. Skillnaden ligger mellan att använda sk elektroniska (kallas även högfrekvensdon) eller elektromagnetiska drivdon (konventionella drivdon). En jämförelse mellan drivdon av konventionell typ och drivdon elektroniska drivdon görs i nedanstående tabell. De värden som används för de konventionella drivdonen kan ses som värden för sämre, äldre drivdon medan de värden som används för de elektroniska drivdonen kan ses som normalt förekommande idag. För båda typerna kan man hitta drivdon med bättre prestanda.

Tabell 6.1 Jämförelse mellan ett konventionellt drivdon och ett elektroniskt, som driver två lysrörslampor i en ljusarmatur.

Typ	Förluster drivdon	Lampor	Totalt
Konventionellt	2x10	2x36	92
Elektroniskt	2x4	2x36	80
Elektroniskt	2x4	2x32	72

Armaturer

En armatur består av några eller alla delar som visas i figur 6.11



Figur 6.11 Uppbyggnaden av en ljusarmatur.

Frånsett själva ljuskällan, är det reflektorn som mest påverkar armaturens effektivitet. I gamla armaturer kan reflektorn helt saknas. Om inte hela armaturen kan bytas finns det normalt möjligheter att komplettera med en reflektor. Utöver detta är det viktigt att komma ihåg att ett effektivt sätt att hålla uppe effektiviteten hos en ljusarmatur är att underhållsprogram och städprogram där belysningen ingår genomförs enligt plan.

Styrning och reglering

Den vanligaste orsaken till att installera utrustning som ökar möjligheterna att styra och reglera ett belysningsystem, är att spara energi och därigenom driftkostnader. En andra orsak kan vara att flexibiliteten i lokalerna ökar och att det blir betydligt enklare att anpassa belysningsystemet till nya förutsättningar och förhållanden. En tredje orsak kan vara att personer verksamma i byggnaden ges möjlighet att individuellt styra belysningen efter egna önskemål. Ett system som används för att kontrollera belysningen är uppbyggt av tre huvudkomponenter eller delar; själva styr- och reglersystemet, givare och kommunikation.

Styr- och reglersystem kan i sin tur delas upp i två överordnade grupper:

- Manuella system;
- Automatiska system.

När ett automatiskt styr- och reglersystem för belysningen installeras i en byggnad, antingen i en nyproducerad eller i en renoverad, är det lämpligt att studeras möjligheterna att integrera eller på annat sätt anpassa styr- och övervakningssystemet för belysningen med byggnadens övergripande styr- och övervakningssystem, där sådant finns.

Även automatiska system har ofta möjligheter till manuell reglering. Övergripande kan sägas om dessa typer av system att den automatiska delen sköter nedreglering och avstängning, medan den manuella delen består av uppreglering och påslag. En variant av denna reglering hittas t ex i klassrum och består av en timer som vid förutbestämda intervall stänger belysningen. Belysningen måste därefter manuellt slås på igen. På detta sätt undviks att belysningen är tänd under långa tidsperioder då ingen finns i klassrummet.

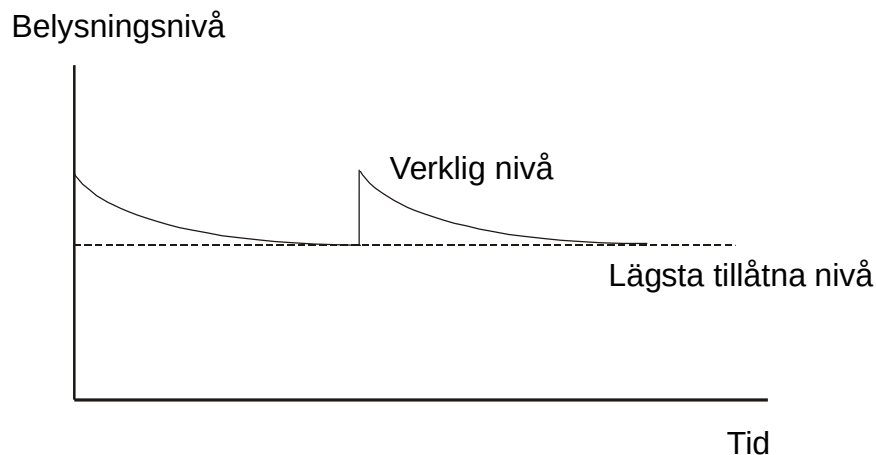
En viktig uppgift för ett belysningsystem med automatisk styr- och regler är att kontrollera när mer, eller viktigare ur energibesparingssynpunkt, när mindre artificiell belysning behövs. Idag används främst två olika typer av givare för detta ändamål:

1. *Närvarogivare*
Närvarogivare ”känner av” när personer befinner sig i rummet med hjälp av ultraljud eller infraröd strålning. När ingen befinner sig i utrymmet hålls belysningen släckt. Dessa givare är bäst lämpade för utrymmen som används intermittent, t ex vilrum, lager, hygienutrymmen, etc.
2. *Belysningsnivågivare*
Belysningsnivågivare består av fotoceller som mäter den totala ljusnivån i ett utrymme, inkluderande bidraget från dagsljus.

När ett system innehåller automatisk ljusreglering måste det vara utrustat med ljusnivågivare. Givarna kommunicerar med belysningens styrsystem som kontinuerligt anpassar den artificiella belysningen för att upprätthålla en förutbestämd belysningsnivå. På så sätt kan maximal nytta dras av dagsljus, vilket blir den parameter som bestämmer hur mycket den artificiella belysningen regleras ned i varje ögonblick. Det här sättet att styra belysningen relateras ofta till som dagsljuskompensering.

Alla diskussioner om hur belysning kan kontrolleras, bör inkludera en diskussion om hur personer verksamma i byggnaden kan medverka för att minska användningen av belysning. I kapitel 2 förs ett resonemang om hur detta kan göras.

Alla ljuskällor åldras och avger med tiden mindre ljus. När hänsyn tas till detta vid en projektering av ett belysningssystem, genom att man projekterar för att systemet skall leverera tillräckligt med ljus efter att systemet åldrats, medför det att belysningssystemet levererar mer ljus än nödvändigt större delen av tiden.



Figur 6.12 Ljusnivån i utrymmen som projekterats för att alltid hålla en lägsta given ljusnivå.

Med jämna intervall städas normalt armaturer och ljuskällor (normalt lysrör) byts mot nya.

Över längre tidsperioder kan stora mängder el således gå åt för att ljusnivån aldrig skall bli lägre än den lägsta tillåtna nivån. Här kan installation av ett system som automatiskt drar ner ljusnivån så att den alltid ligger på lägsta tillåtna nivå, spara betydande mängder el.

6.8.2 Övrig utrustning

Utrustning som används på arbetsplatser och drivs med el (tyngre industri undantagen) består i ett ökande antal datorer, skrivare, kopieringsapparater, faxar, mm. Samtidigt som dessa görs mer effektiva även ur energisynpunkt, så ökar antalet maskiner. Sammantaget innebär det att den sammanlagda elanvändningen hos dessa förmodligen ligger relativt konstant.

I hemmen blir datorer allt vanligare, även om de tider datorerna är i drift blir kortare än företagsdatorer. I hemmen är det maskiner av andra slag som blir mer framträdande i fråga om elanvändning. Här finns kyl och frys, spis, diskmaskin, tvättmaskin, torktumlare, stereo, TV, video, mm.

Generellt kan sägas att man alltid skall eftersträva utrustning med så låg energiförbrukning som möjligt. Det är dock viktigt att komma ihåg att varje sparad kWh el hos utrustningen inte alltid kan tillgodoräknas om man studerar byggnadens hela energibalans. All el som används av utrustningen blir till värme, med undantag av diskmaskin, tvättmaskin och vissa

torktumlare. I t ex diskmaskinen värms vatten upp och spolas sedan bort utan att värmen kan tas till vara i någon större omfattning. Den el som tillförs utrustningen och sedan som värme tillförs utrymmet utrustningen står i, reducerar behovet av värme från den befintliga värmeanläggningen.

Endast när utrymmet inte har något värmebehov kan man tillgodoräkna sig hela elbesparingen som en verklig besparing. Mer om byggnadens värmebehov och hur och när man kan tillgodoräkna sig besparingar, samt exempel på hur stora besparingar som kan åstadkommas med olika åtgärder ges i kapitel 7.

7 ENERGIBERÄKNINGAR - EXEMPEL

För att göra resonemanget kring byggnaders energianvändning mer konkret redovisas i detta kapitel exempel på energianvändningen för tre olika typer av byggnader. Dessa är bostadshus, kontorshus och sjukhus. För varje typ av byggnad har energibehoven för el-energi och uppvärmning beräknats utifrån en grundkonfiguration benämnd originalhuset. Därefter görs ett antal förändringar dels i byggnaden, dels i byggnadens installationer för att se hur mycket energibehovet förändras

Beräkningarna har gjorts med programmet BV². För varje byggnadstyp har beräkningar gjorts för orterna Malmö, Stockholm och Östersund för att belysa eventuella skillnader i geografi och klimat. Redovisningen i detta kapitlet behandlar endast de olika byggnadstyperna då de är belägna i Stockholm. I bilaga 4 redovisas resultaten från beräkningarna mer i detalj och där tas alla tre orterna med.

I redovisningen nedan kan effekten av enskilda åtgärder eller kombinationer av dessa avläsas antingen i absoluta tal eller relativt det ursprungliga huset. Värmeenergin som redovisas är energi för uppvärmning och ventilation. Energibehov för varmvatten tas ej med i redovisningen. Elenergibehovet är byggnadens totala behov av el.

7.1 Bostadshus

Bostadshuset är i detta exempel ett trevånings hus med 18 lägenheter på totalt 1500 m². Huset har frånluftsystem med ca. 0,5 oms/h och är byggnadstekniskt ett 70-talshus med U-värde i fasad på 0,3 W/m² °C och i vindsbjälklag 0,25 W/m² °C. En sammanställning av de viktigaste data för bostadshuset finns i bilaga 5. En sammanfattning av resultaten av de olika förändringarna presenteras i figur 7.1 respektive figur 7.2.

Notera att detta endast är ett exempel och att resultaten naturligtvis beror på hur originalhuset är beskaffat och hur stor varje förändring är.

1. Tak/Fasad:

Den första förändringen består i att tilläggsisolera huset på fasad och tak. Fasaden isoleras från ursprungsvärdet 0,3 W/m² °C till 0,25 (motsvarar tillägg av ca. 25 mm mineralull) respektive 0,2 (+70mm mineralull). Taket isoleras från ursprungsvärdet 0,25 W/m² °C till 0,20 (+50mm mineralull) respektive 0,15 (+150 mm mineralull). Energibehov för uppvärmning sjunker i detta fall med ca 9% per steg. Totala elbehovet förändras inte.

2. Fönster:

Byte av fönster, med U-värde 2 W/m² °C, till moderna högisolerande fönster med U-värde 1,5 respektive 1,0. Här sänks energibehovet för uppvärmning med ca. 3% per steg. Totala elbehovet förändras inte.

3. Infiltration:

Tätning av husets klimatskal för att minska ofrivillig ventilation (infiltration). Originalhuset antas ha en infiltration på 0,25 oms/h. Genom olika tätningsåtgärder, t.ex.

tätning av fönster och dörrar, antas att infiltrationen minskar till 0,20 respektive 0,15 oms/h. Energibehov för uppvärmning sjunker i detta fall med ca 4% per steg. Totala elbehovet påverkas inte.

4. Injustering:

Genom injustering av en byggnads värmesystem kan man i många fall sänka medeltemperaturen i huset. Det uppnås genom att rum som eventuellt har haft övertemperaturer, p.g.a. bristande injustering, får en sänkt rumstemperatur till föreskrivet värde. Originalhuset antas ha en medeltemperatur på 21°C under den kalla årstiden. Efter injustering antas att medeltemperaturen i huset kan sänkas till 20,5 respektive 20°C. Besparingen i värmeenergi blir ca. 4% per steg. Elenergibehovet förändras ej.

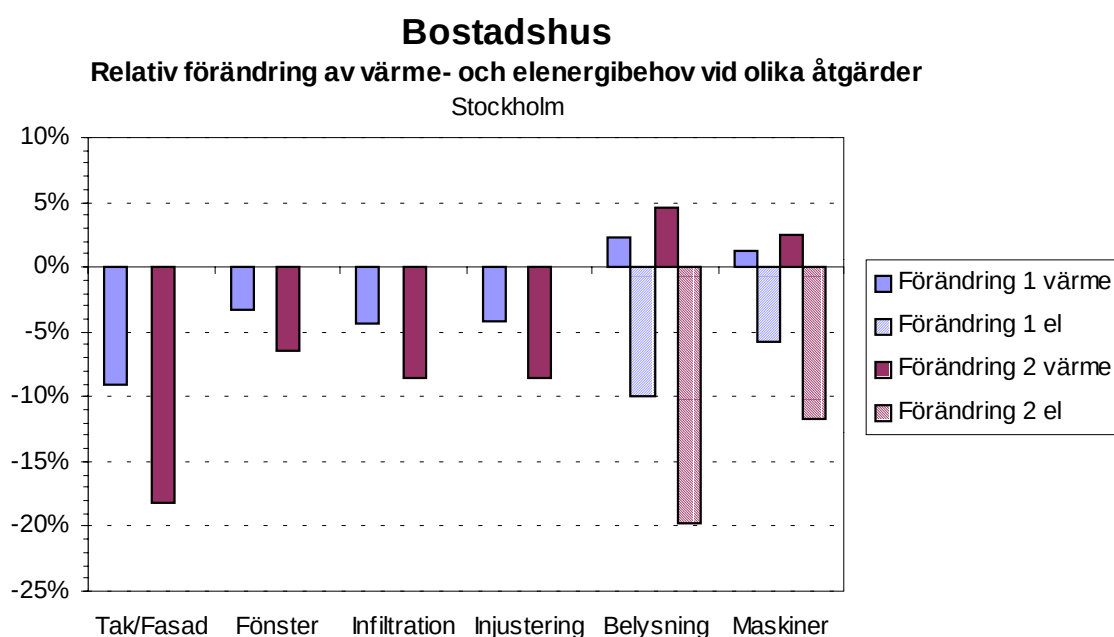
Vid injustering kan det i vissa fall bli nödvändigt att vidta kompletterande åtgärder i form av t.ex. tätning eller byte av fönster för att kunna uppnå en sänkning av medeltemperaturen i huset. Den termiska komforten får ju inte påverkas av en energibesparande åtgärd.

5. Belysning:

I detta fallet har installerad belysningseffekt minskats med 20% respektive 40% för att simulera installation av energieffektivare belysning och belysningsstyrning. Användarnas beteendemönster antas vara lika efter åtgärd. Effekten av åtgärden blir en sänkning av totala elenergianvändningen med ca. 10% per steg medan användningen av värmeenergi stiger med ca. 2,5% per steg.

6. Maskiner:

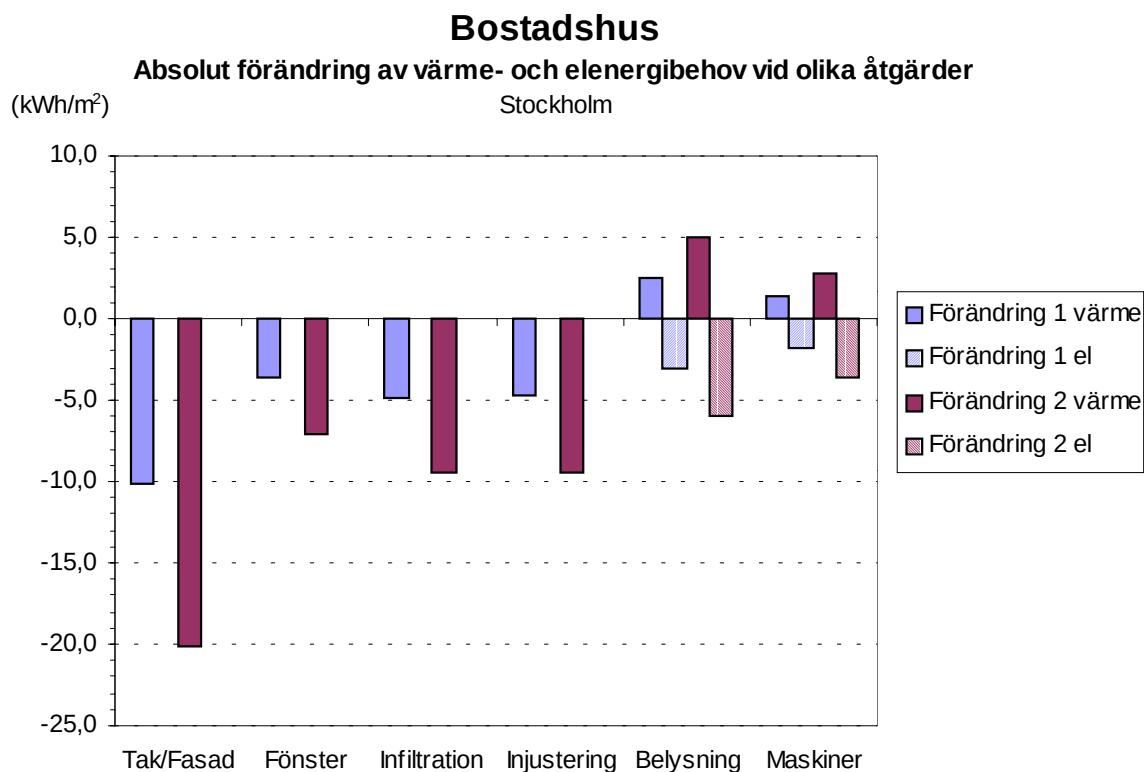
Även här antas att installerad maskineffekt sänks med 20% respektive 40% för att simulera installation av mer effekt- och energisnål teknik i form av t.ex. tvättmaskiner, tvättorkar, kylskåp, frysar etc. Besparingen blir ca. 6% av totala elenergianvändningen per steg medan värmeenergibehovet steg med drygt 1% per steg



Figur 7.1 Relativa förändringar av värme- och elenergibehov vid olika åtgärder.

Tabell 7.1 Parametervärden vid olika åtgärder i bostadshuset

	Originalhus	Förändring 1	Förändring 2
Tak/Fasad Förändring i U-värde (W/m ² °C)	0,3/0,25	0,25/0,20	0,20/0,15
Fönster Förändring i U-värde (W/m ² °C)	2,0	1,5	1,0
Infiltration Förändring i ofrivillig ventilation (oms/h)	0,25	0,20	0,15
Injustering Förändring av innetempe- ratur (medel)	21°C	20,5°C	20,0°C
Belysning Förändring av installerad belysningseffekt	0%	-20%	-40%
Maskiner Förändring av installerad maskineffekt	0%	-20%	-40%

**Figur 7.2** Absoluta förändringar av värme- och elenergibehov vid olika åtgärder.

7.2 Kontorshus

Kontorshuset är i detta exempel ett femvånings hus med en total area på 2500 m². Byggnaden har till- och frånluftsystem med värmeåtervinning. Uteluftflödet är ca. 1,0 oms/h under dagtid och på natten är fläktarna avstängda. Huset är byggt på 70 talet med U-värde i fasad på 0,3 W/m² °C och 0,25 W/m² °C i vindsbjälklag. En sammanställning av de viktigaste data för kontorshuset finns i bilaga 5. En sammanfattning av resultaten av de olika förändringarna presenteras i figur 7.3 respektive figur 7.4.

Notera att detta endast är ett exempel och att resultaten naturligtvis beror på hur originalhuset är beskaffat och hur stor varje förändring är.

1. Tak/Fasad:

Den första förändringen består i att tilläggsisolera huset på fasad och tak. Fasaden isoleras från ursprungsvärdet 0,3 W/m² °C till 0,25 respektive 0,2. Taket isoleras från ursprungsvärdet 0,25 W/m² °C till 0,20 respektive 0,15. Energibehov för uppvärmning sjunker i detta fall med ca 17% per steg. Totala elbehovet ökar endast marginellt med ca.1% per steg.

Orsaken till den stora värmeenergibesparingen ligger i att uppvärmningsbehovet endast existerar under den kalla delen av året (ca 40% av året) på grund av stor intern värmegenerering. Totala elbehovet förändras endast hos kylmaskinen och enbart marginellt då bara en liten del av kylbehovet beror av värmetransport genom fasader och tak.

2. Fönster:

Byte av fönster, med U-värde 2 W/m² °C, till moderna högisolerande fönster med U-värde 1,5 respektive 1,0. Här sänks energibehovet för uppvärmning med drygt 12% per steg. Totala elbehovet ökar marginellt med mindre än 1% per steg.

Här gäller samma orsaksresonemang som under punkt 1

3. Infiltration:

Tätning av husets klimatskal för att minska ofrivillig ventilation (infiltration). Originalhuset antas ha en infiltration på 0,25 oms/h. Genom olika tätningsåtgärder, t.ex. tätning av fönster och dörrar, antas att infiltrationen minskar till 0,20 respektive 0,15 oms/h. Energibehov för uppvärmning sjunker i detta fall med drygt 10% per steg. Totala elbehovet ökar marginellt med mindre än 1% per steg..

4. Solfaktor:

Solfaktorn anger hur bra ett fönster avskärmar solen. Solfaktorn 1,0 släpper igenom all solstrålning och 0,0 stänger ute all solstrålning. Ett treglasfönster har solfaktorn 0,67. I det här fallet har solfaktorn ändrats från ett treglasfönster till 0,54 och 0,40. Det motsvarar en sänkning av solfaktorn med 20%/steg.

Värmeenergibehovet ökar med ca. 5% per steg på grund av att uppvärmningen i byggnaden genom solstrålning minskar med minskande solfaktor. Däremot minskade det totala elenergibehovet genom att behovet av komfortkyla minskade på grund av lägre solbelastning under sommarhalvåret.

5. Belysning:

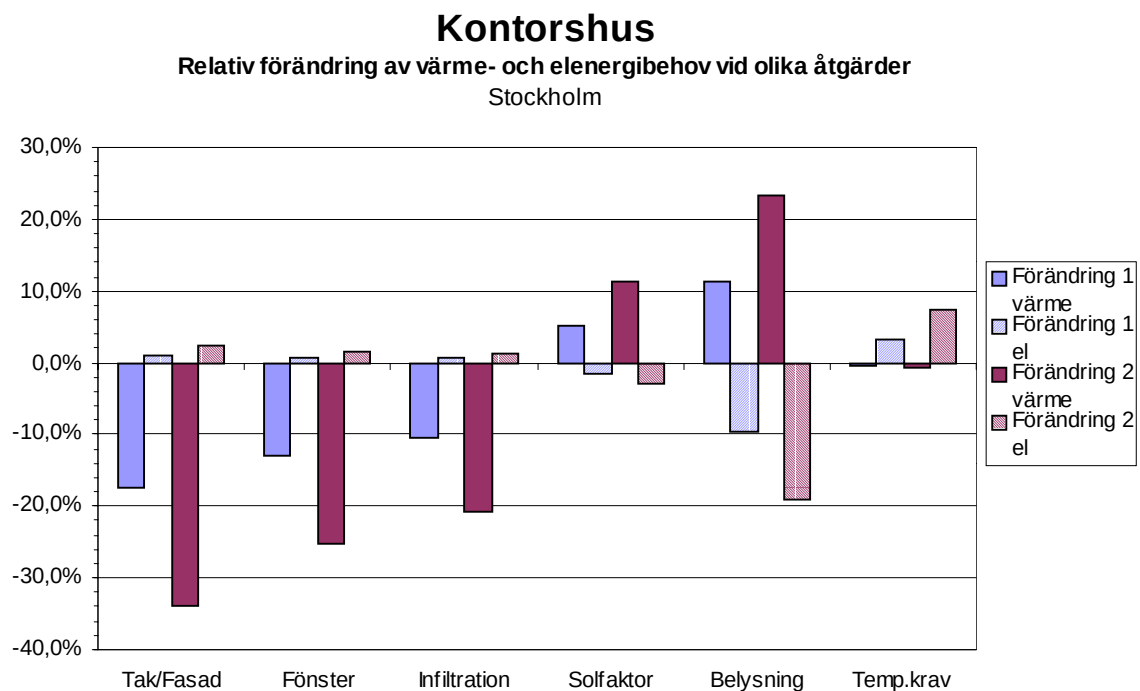
I detta fallet har installerad belysningseffekt minskats med 20% respektive 40% för att simulera installation av energieffektivare belysning och belysningsstyrning.

Användarnas beteendemönster antas vara lika efter åtgärd. Effekten av åtgärden blir en sänkning av totala elenergianvändningen med drygt 9% per steg medan användningen av värmeenergi stiger med ca. 11% per steg.

6. Temperaturkrav:

Med temperaturkrav menas här kraven på maximal rumstemperatur under sommaren. Max temperatur i originalhuset är satt till 24°C. I de olika stegen sänks sedan tillåten maxtemperatur till 22,5°C respektive 21°C. Förutom förändringar i energiförbrukning så medför hårdare max.temperaturkrav större kyleffektbehov och därmed större kylmaskin.

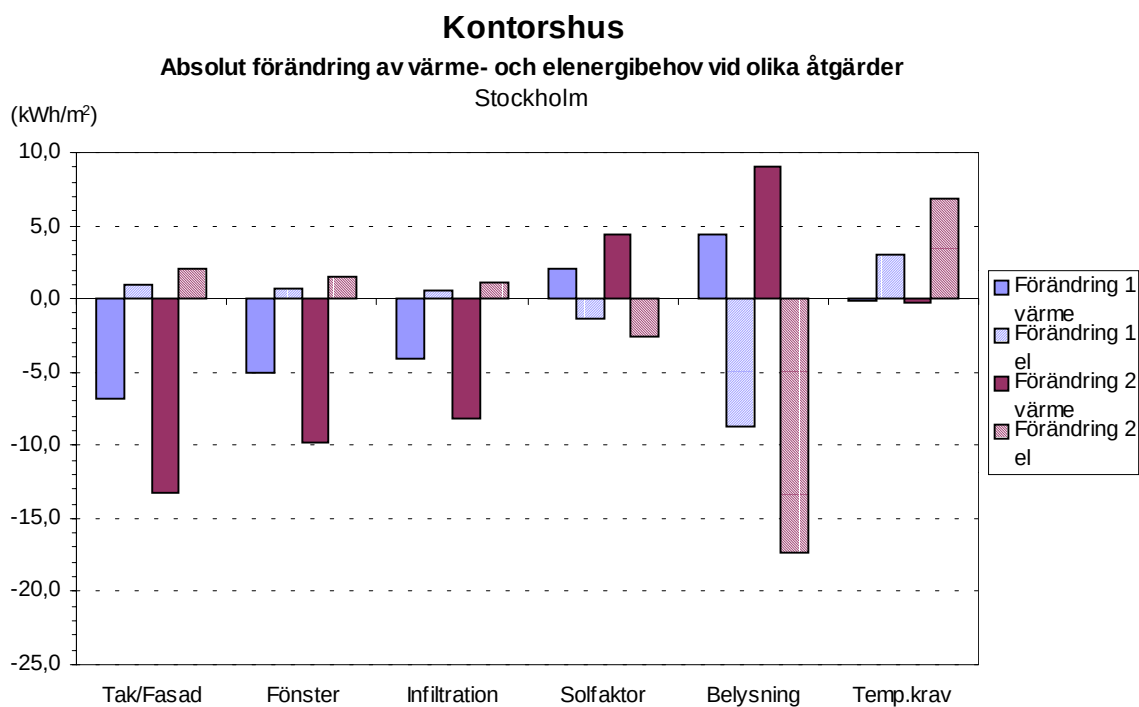
Resultatet blev en marginell sänkning av värmeenergibehovet med mindre än 1% per steg. Det totala elenergibehovet stiger ca. 3,5% per steg. Ökningen av elenergibehovet kommer från ett ökat kylbehov i och med lägre rumstemperaturer. Elenergibehovet till kylmaskinen fördubblades från temperaturkravet 24°C till 21°C.



Figur 7.3 Relativa förändringar av värme- och elenergibehov vid olika åtgärder.

Tabell 7.2 Parametervärden vid olika åtgärder i kontorshuset

	Originalhus	Förändring 1	Förändring 2
Tak/Fasad Förändring i U-värde (W/m ² °C)	0,3/0,25	0,25/0,20	0,20/0,15
Fönster Förändring i U-värde (W/m ² °C)	2,0	1,5	1,0
Infiltration Förändring i ofrivillig ventilation (oms/h)	0,25	0,20	0,15
Solfaktor Förändring av solfaktor i fönster	0,67	0,54	0,40
Belysning Förändring av installerad belysningseffekt	0%	-20%	-40%
Temperaturkrav Förändring av innetempe- raturkrav sommartid (°C)	24°C	22,5°C	21°C

**Figur 7.4** Absoluta förändringar av värme- och elenergibehov vid olika åtgärder.

För att undersöka vad en kombination av åtgärder får för resultat finns en sammanställning av tre olika kombinationer i figur 7.5 och 7.6 nedan. Vid kombinerad av åtgärder har samma förändringar använts som vid de enskilda åtgärderna. De tre kombinationerna av åtgärder är följande:

- **Fasad/Tak+Fönster+Solfaktor**

Kombinationen innebär tilläggsisolering av fasad och tak, byte till fönster med lägre U-värde och lägre solfaktor (bättre isolering och mindre solinstrålning). Resultatet blir

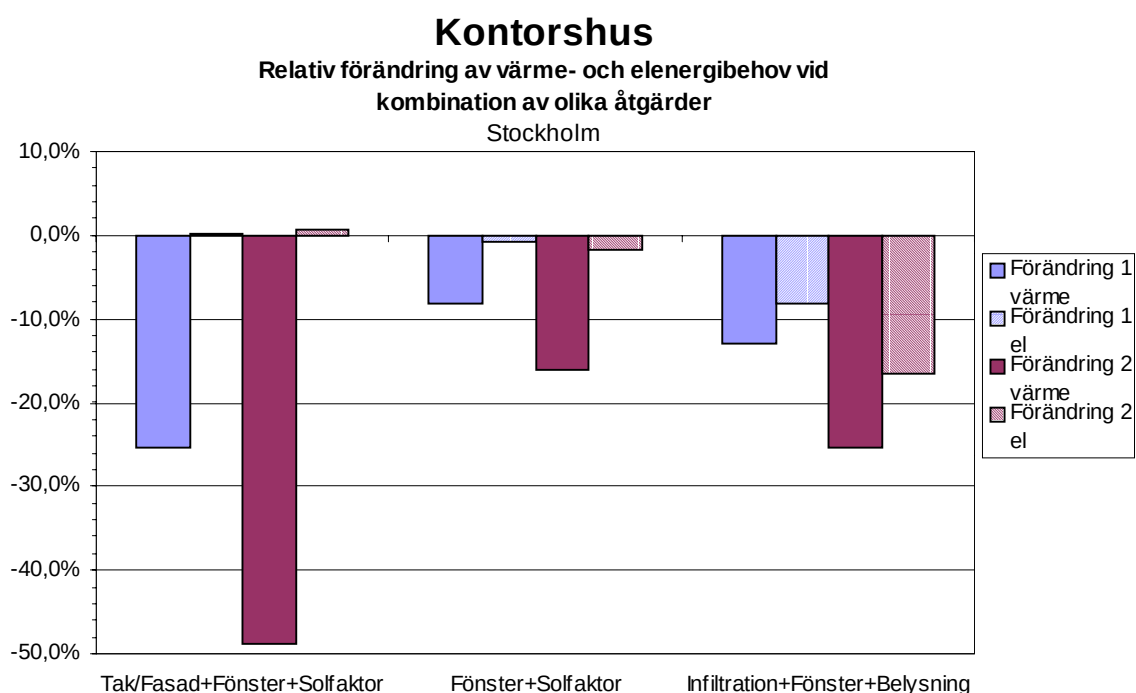
en minskning av värmebehovet med ca. 25% per steg medan det totala elbehovet i stort sett var oförändrat.

- **Fönster+Solfaktor**

Kombinationen innebär byte till fönster med lägre U-värde och lägre solfaktor(bättre isolering och mindre solinstrålning). Konsekvensen blev ett minskat värmebehov med ca. 8% per steg. Totala elbehovet minskar med knappt 1% per steg.

- **Infiltration+Fönster+Belysning**

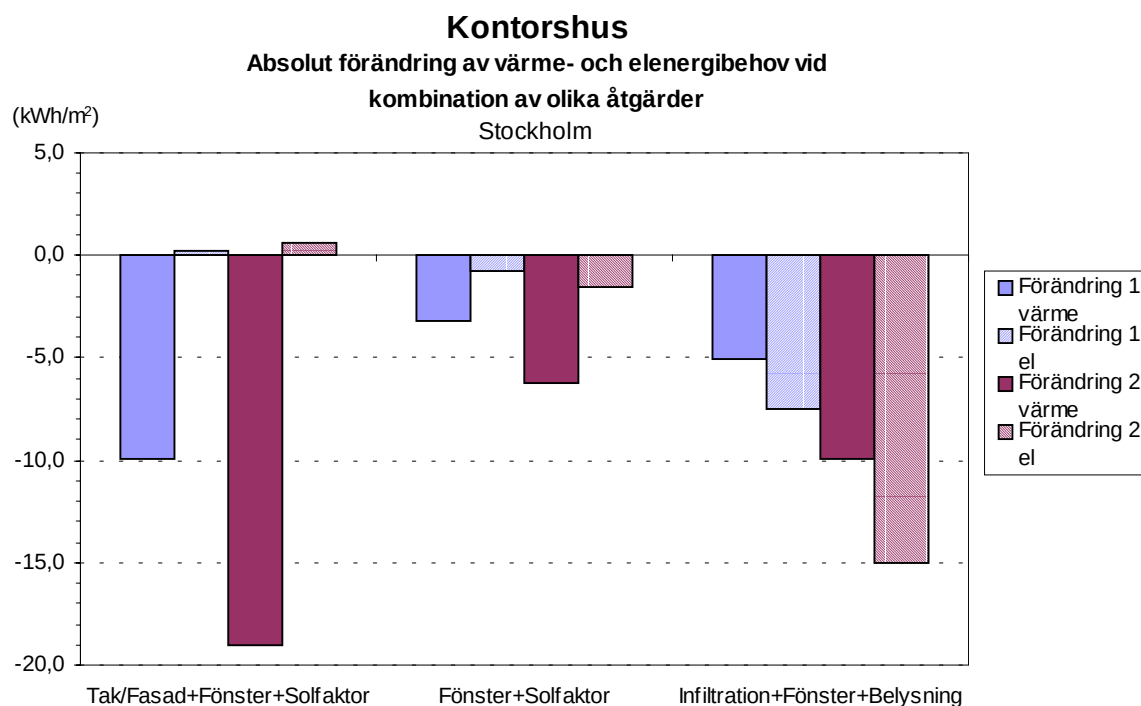
Denna kombination innebär tätning av byggnaden, vilket minskar infiltrationen, byte till fönster med lägre U-värde samt byte till belysning med lägre energiförbrukning. I detta fall minskar både värmebehovet och totala elbehovet. Värmebehovet med drygt 12% per steg och totala elbehovet med ca. 8% per steg.



Figur 7.5 Relativa förändringar av värme- och elenergibehov vid kombination av olika åtgärder

Tabell 7.3 Parametervärden vid kombination av olika åtgärder i kontorshuset

	Originalhus	Förändring 1	Förändring 2
Tak/Fasad			
Förändring i U-värde (W/m ² °C)	0,3/0,25	0,25/0,20	0,20/0,15
Fönster			
Förändring i U-värde (W/m ² °C)	2,0	1,5	1,0
Infiltration			
Förändring i ofrivillig ventilation (oms/h)	0,25	0,20	0,15
Solfaktor			
Förändring av solfaktor i fönster	0,67	0,54	0,40
Belysning			
Förändring av installerad belysningseffekt	0%	-20%	-40%



Figur 7.6 Absoluta förändringar av värme- och elenergibehov vid kombination av olika åtgärder.

7.3 Sjukhus

Sjukhuset är i detta exempel ett sjukvårnings hus med en total area på 3500 m². Byggnaden har till- och frånluftsystem med värmeåtervinning. Uteluftflödet är ca. 4,0 oms/h under dagtid och på natten minskas flödet till 3,0 oms/h. Huset är byggt på 70 talet med U-värde i fasad på 0,3 W/m² °C och 0,25 W/m² °C i vindsbjälklag. En sammanställning av de viktigaste data för sjukhuset finns i bilaga 5. En sammanfattning av resultaten av de olika förändringarna presenteras i figur 7.5 respektive figur 7.6.

Notera att detta endast är ett exempel och att resultaten naturligtvis beror på hur originalhuset är beskaffat och hur stor varje förändring är.

1. Tak/Fasad:

Den första förändringen består i att tilläggsisolera huset på fasad och tak. Fasaden isoleras från ursprungsvärdet 0,3 W/m² °C till 0,25 respektive 0,2. Taket isoleras från ursprungsvärdet 0,25 W/m² °C till 0,20 respektive 0,15. Energibehov för uppvärmning sjunker i detta fall med ca 4% per steg. Totala elbehovet förblir oförändrat.

2. Fönster:

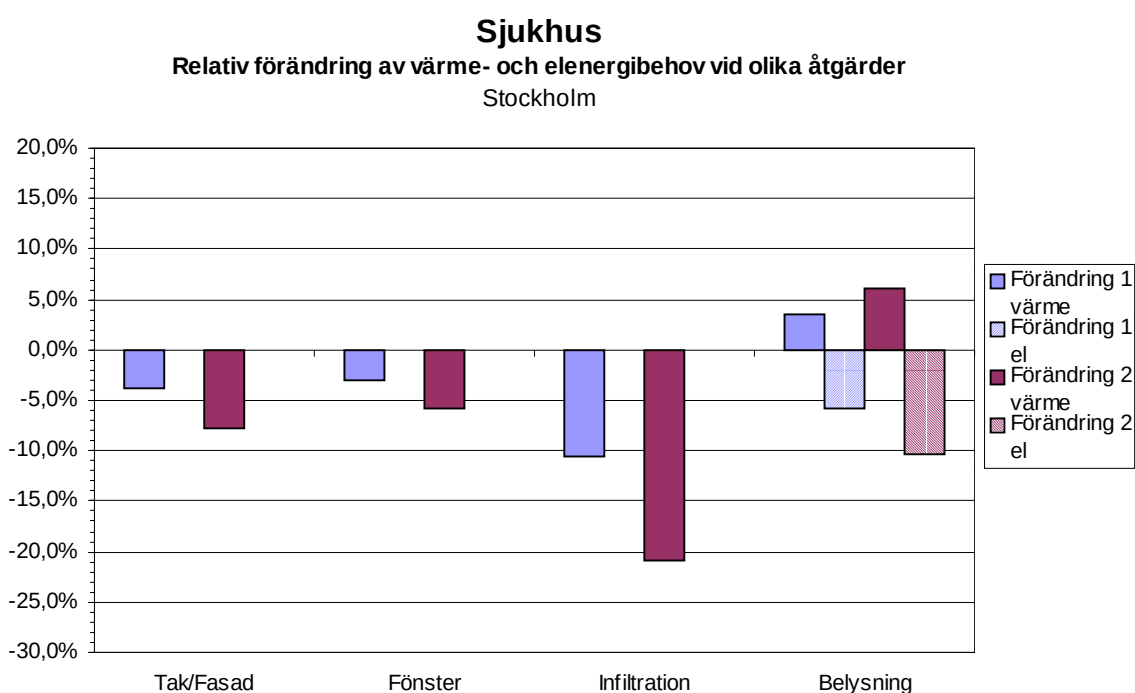
Byte av fönster, med U-värde 2 W/m² °C, till moderna högisolerande fönster med U-värde 1,5 respektive 1,0. Här sänks energibehovet för uppvärmning med ca. 3% per steg. Totala elbehovet förändras ej.

3. Infiltration:

Tätning av husets klimatskal för att minska ofrivillig ventilation (infiltration). Originalhuset antas ha en infiltration på 0,25 oms/h. Genom olika tätningsåtgärder, t.ex. tätning av fönster och dörrar, antas att infiltrationen minskar till 0,20 respektive 0,15 oms/h. Energibehov för uppvärmning sjunker i detta fall med drygt 10% per steg. Totala elbehovet påverkas ej.

4. Belysning:

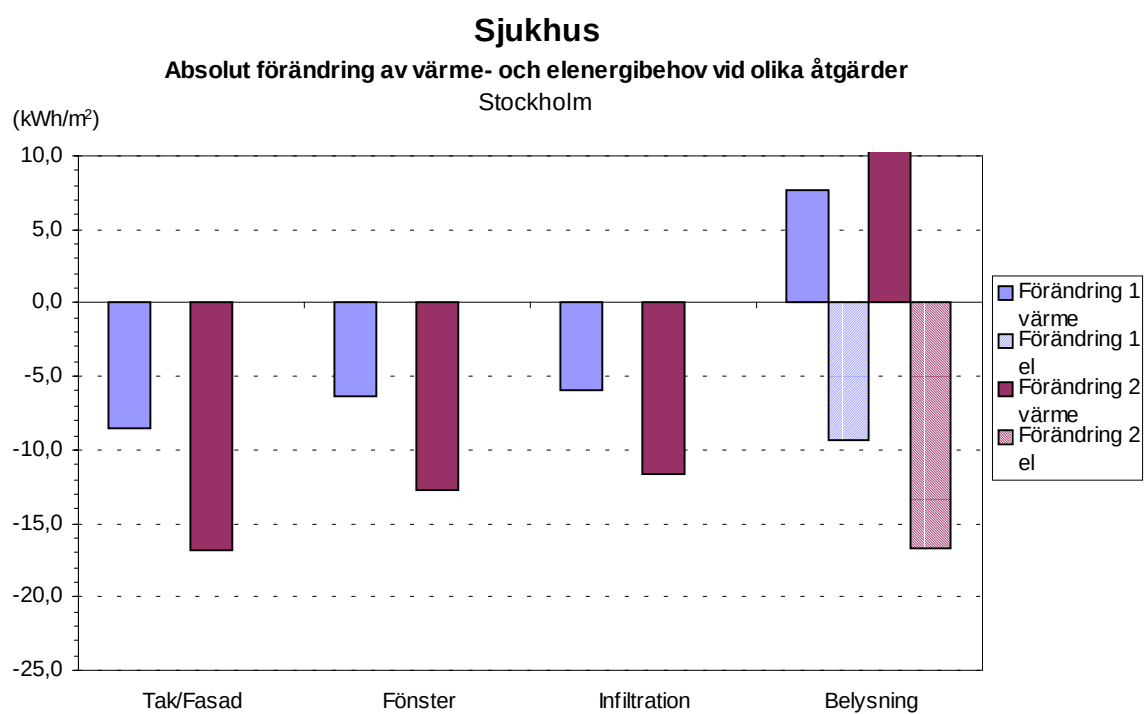
I detta fallet har installerad belysningseffekt minskats med 20% respektive 40% för att simulera installation av energieffektivare belysning och belysningsstyrning. Användarnas beteendemönster antas vara lika efter åtgärd. Effekten av åtgärden blir en sänkning av totala elenergianvändningen med ca. 6% per steg medan användningen av värmeenergi stiger med drygt 3% per steg.



Figur 7.7 Relativa förändringar av värme- och elenergiebehov vid olika åtgärder.

Tabell 7.4 Parametervärden vid olika åtgärder i sjukhuset.

	7 Originalhus	Förändring 1	Förändring 2
Tak/Fasad			
Förändring i U-värde ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)	0,3/0,25	0,25/0,20	0,20/0,15
Fönster			
Förändring i U-värde ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)	2,0	1,5	1,0
Infiltration			
Förändring i ofrivillig ventilation (oms/h)	0,25	0,20	0,15
Belysning			
Förändring av installerad belysningseffekt	0%	-20%	-40%



Figur 7.8 Absoluta förändringar av värme- och elenergibehov vid olika åtgärder.

8 BEDÖMNING AV SPARPOTENTIAL

Arbete med att minimera byggnaders användning av energi kräver ingående kunskaper om samspelet mellan de olika delar i en byggnad som påverkar byggnadens energianvändning. Det räcker inte med att ha ingående detaljkännedom om olika komponenter i byggnaden, utan det krävs en förståelse för hur byggnaden, dess installationer och verksamheter som bedrivs i byggnaden samspelar och påverkar varandra. Utan sådan kännedom är risken överhängande att åtgärder kommer till stånd som i sig är suboptimeringar, eller i värsta fall leder till ökad energianvändning på andra håll i byggnaden.

Därför görs i detta avsnitt en relativt grundläggande genomgång av hur en byggnad energitekniskt fungerar, särskilt med avseende på systemaspekter.

Genomgången är upplagd mot hur värmeunderskott (värmebehov) och värmeöverskott (kylbehov) uppstår och hur de varierar på årsbasis. Redogörelsen sker med hjälp av diagram över uteluftens varaktighet. Traditionellt har man använt denna metod endast till att studera byggnaders värmebehov. Här visas hur man kan använda metoden även för att studera en byggnads behov av kyla. Metoden att utgå ifrån utetemperaturens varaktighet gör att användaren får en övergripande fysikalisk förståelse för hur olika parametrar påverkar en byggnads behov av värme.

Hela resonemanget förs för en byggnad där den termiska massan (dvs byggnadens förmåga att lagra värme) försummas. Anledningen är att diskussionen främst syftar till att ge en övergripande beskrivning av hur byggnader fungerar och att resonemanget underlättas av att betrakta alla termiska förlopp i byggnaden som stationära. I praktiken förekommer givetvis inlagring i och urlagring ur byggnadskroppen beroende på bl a temperaturpendlingar och strålningsvärme. För att ytterligare förtydliga resonemanget betraktas varje varaktighetsdiagram i detta kapitel som om det representerade hela året, dvs ingen uppdelning görs mellan dag och natt.

Resonemanget avslutas med en genomgång av hur olika uppbyggnader av det klimathållningssystem (inkluderande kylsystem) som finns i byggnaden påverkar byggnadens behov av "köpt" kyla. I kapitel 2.2 återfinns en kort redogörelse för komfortkyla i byggnader, där uppbyggnaden av olika kylsystem inne i en byggnad går igenom.

En byggnad kräver tillförsel av energi både för att upprätthålla ett önskvärt rumsklimat och för att driva olika elektriska installationer och apparater. Medan den energi som åtgår för att upprätthålla rumsklimatet är mer eller mindre starkt kopplad till klimatförhållanden utanför byggnaden, är övrigt energibehov i stort sett oberoende av dessa klimatförhållanden. Det energibehov som inte beror av vädret kan dock avsevärt variera över dygnet.

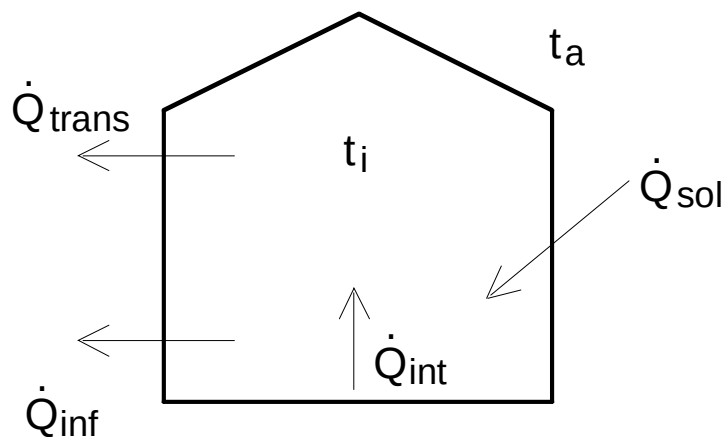
Enligt ovanstående kan följande grova indelning av parametrar som påverkar byggnadens energibalans göras:

1. Parametrar som påverkar energibalansen och är kopplade till förändringar i klimatet utanför byggnaden:
 - transmission genom byggnadens omslutningsytor,

- luftinfiltration,
 - solinstrålning genom fönster.
2. Parametrar som påverkar energibalansen men i stort är oberoende av förändringar i klimatet utanför byggnaden:
- el till belysning,
 - el för drift av utrustning i byggnaden,
 - värmeavgivning från personer,
 - uppvärmning av tappvarmvatten.

All elektricitet som används i rum i byggnaden omvandlas slutligen till värme och påverkar därmed rummets värmebalans. I t ex kontorsbyggnader är behovet av värme för tappvarmvatten oftast litet.

I nedanstående redogörelse betraktas byggnaden och dess energibalans separerat från klimathållningssystemet. Byggnadens energibalans, ur vilken erhålls bl a dimensionerande värme- och kylbehov, bestämmer utformningen av klimathållningssystemet. Detta system har i sin tur behov av ytterligare energi för att kunna fungera.



Figur 8.1 Byggnadens värmebalans vid ett givet tidsögonblick ($t_a < t_i$). I värmebalansen har värmebehovet för tappvarmvatten utelämnats och endast parametrar som inverkar på temperaturhållningen av byggnaden beaktas

Antag att temperaturen i en byggnad hålls konstant vid en given nivå, skild från temperaturen ute. Genom att ställa samman samtliga värmeflöden som påverkar luften i byggnaden, dels som värmeflöden genom byggnadens omslutningsytor, dels som värmeflöden som tillförs byggnaden internt, är det möjligt att bestämma hur mycket ytterligare värme som måste tillföras byggnaden alternativt hur mycket värme som måste bortföras från byggnaden (hur mycket byggnaden behöver kylas) för att upprätthålla den givna innetemperaturen (se figur 8.1):

$$\dot{Q}_{sol} + \dot{Q}_{int} + \dot{Q} - \dot{Q}_{trans} - \dot{Q}_{inf} = 0 \quad (8.1)$$

$\dot{Q}_{sol}$ = värmetillförsel på grund av solinstrålning [W]

$\dot{Q}_{int}$ = internt genererat värme [W]

$\dot{Q}$ = den sökta mängd värme som behöver tillföras alternativt bortföras för att hålla byggnaden vid den givna temperaturen [W]

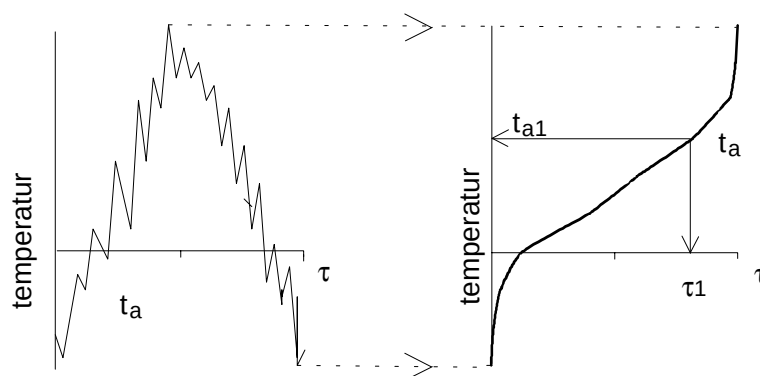
$\dot{Q}_{trans}$ = transmission genom byggnadens omslutningsyta [W]

$\dot{Q}_{inf}$ = luftinfiltration [W]

Då $\dot{Q} = 0$ är byggnaden i termisk balans med omgivningen.

8.1 Uppbyggnaden av ett varaktighetsdiagram

Teoretiskt är det möjligt att utifrån grafiska temperaturredovisningar i kronologisk ordning (vänstra delen av figur 8.2), bestämma både momentana effekter och värmebehov under givna tidsperioder om de värmeflöden som ingår i värmebalansen i figur 8.1 är kända. Praktiskt är det dock mycket besvärligt att grafiskt arbeta med denna typ av temperaturredovisningar.



Figur 2.2 Utetemperaturens varaktighet, bildad ur ett års utetemperaturer i kronologisk ordning. *Exempel:* Uteluftens temperatur t_a är relaterad till tidsperioden τ_1 så att uteluftens temperatur har varit lika med eller mindre än t_{a1} , under tidsperioden τ_1 .

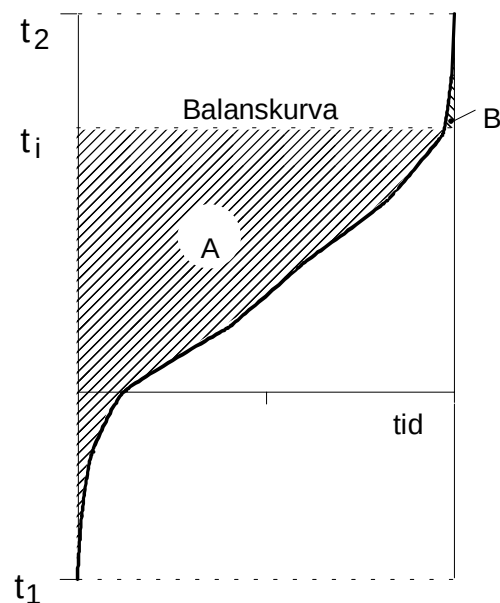
Den resulterande (högra) kurva som erhålls efter sortering av temperaturerna beskriver således varaktigheten hos uteluftens torra temperatur. Tidskoordinaten i varaktighetskurvan beskriver under hur lång tid temperaturen har varit lika med eller lägre än en viss utetemperatur. Värmeenergiebehovet under en tidsperiod är således direkt proportionellt mot en area som kan markeras i varaktighetsdiagrammet.

8.2 Byggnadens energibalans i varaktighetsdiagrammet

Vid en viss utetemperatur är värmeflödena på grund av transmission och luftinfiltration exakt lika stora som det internt genererade värmets (inklusive solinstrålning). Denna utetemperatur brukar benämnas byggnadens balanstemperatur. Vid balanstemperaturen behöver inget värme vare sig tillföras byggnaden eller föras bort ifrån byggnaden, utan byggnaden befinner sig i termisk balans med omgivningen.

Nedan visas med schematiska exempel i figurerna 8.3 - 8.6, hur varaktighetskurvorna kan användas och hur överskådligt samspelet mellan värme- och kylbehov kan åskådliggöras. Samtliga exempel visas i temperaturdiagram, men kan givetvis visas på motsvarande sätt även i effektdiagram (figur 8.7). I den första figuren (8.3) visas det enklaste fallet där ingen intern värmegenerering förekommer och där tillskottet från solinstrålning kan försummas. I den följande figuren (8.4) har en liten intern värmegenerering tillkommit, medan solinstrålningen

ännu är försumbar. I figur 8.5 visas hur balanskurvan förskjuts nedåt för en byggnad med stor intern värmegenerering, medan i figur 8.6 även solinstrålning adderats till den övriga interna värmegenereringen.



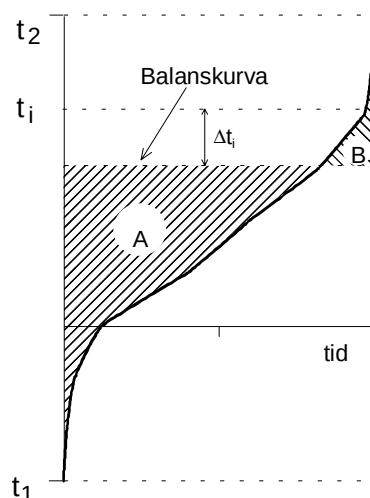
Figur 8.3 Grafisk beskrivning av värmebalansen för en byggnad. Ingen intern värmegenerering och inget solvärmetillskott.

När utluftens temperatur är högre än balansnivån (vilken i detta fall överensstämmer med inneluftens temperatur) krävs att värme bortförs från byggnaden för att kunna hålla den önskade temperaturen inne. När utluftens temperatur är lägre balansnivån, krävs på motsvarande sätt att värme tillförs byggnaden.

Om luftens temperatur t_i i byggnaden skall hållas konstant, måste byggnaden årligen tillföras en mängd värme som är direkt proportionell mot arean markerad "A" i figur 8.3. Arean markerad "B" är på motsvarande vis direkt proportionell mot det årliga kylbehovet. Dimensionerande värmeeffekt är direkt proportionell mot temperaturdifferensen $t_i - t_1$, medan dimensionerande kyleffekt är direkt proportionell mot temperaturdifferensen $t_2 - t_i$.

I byggnader utan kylning och utan intern värmegenerering kommer temperaturen inne att var lika med temperaturen ute, så länge denna är högre än innetemperaturens börvärde.

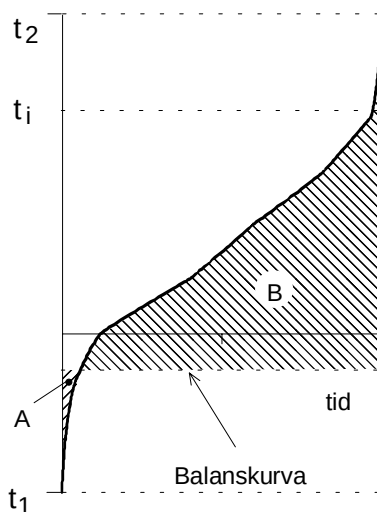
Om internvärme proportionellt mot differensen Δt_i genereras i byggnaden, medför det följande förändringar i den grafiska framställningen av byggnadens värmebalans.



Figur 8.4 Grafisk beskrivning av värmebalansen för en byggnad. Internt genererat värme inkluderat. Inget solvärmestillskott.

Både värmeenergibehovet över året och dimensionerande värmeeffekt minskar. Samtidigt med att behovet av att tillföra värme (*A*) minskar ökar behovet av att föra bort värme (*B*).

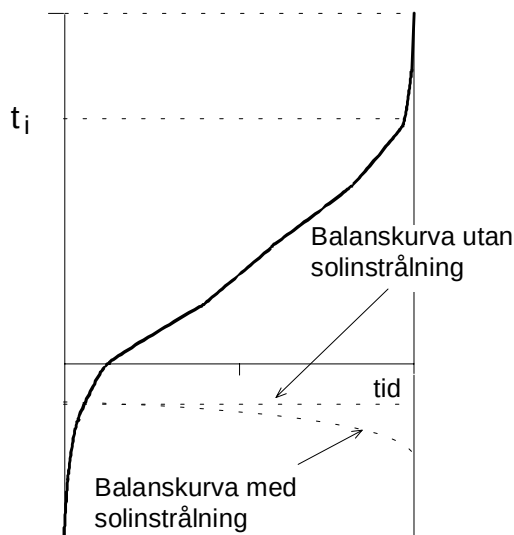
I t ex moderna kontorshus är ofta internt genererat värme stort i förhållande till totala mängden värme som behöver tillföras byggnaden över året. En av de starkt bidragande orsakerna till detta är den snabbt ökande användningen av datorer och annan energiintensiv kontorsutrustning, samtidigt som byggnadernas klimatskal har blivit allt effektivare (lägre värmegenomgångstal) och tätare. Värmebalansen för ett modernt kontorshus illustreras schematiskt i figur 8.5.



Figur 8.5 Grafisk beskrivning av värmebalansen för ett modernt kontorshus. Förhållandevis hög generering av internvärme. Försumbart bidrag från solinstrålning.

Värmebehovet (*A*) är nu av underordnad betydelse jämfört med kylbehovet (*B*). Här krävs ett aktivt värmestillskott endast under en liten del av året, medan värme behöver bortföras under större delen av året.

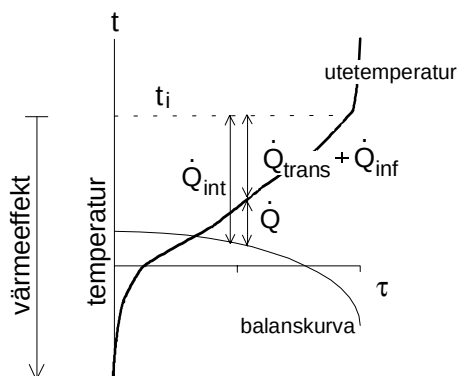
För att göra denna förenklade bild av energibehovet hos en modern kommersiell byggnad mera komplett, kan schematiskt tillskottet från solvärme också läggas in. Byggnadens energibalans påverkas då på det sätt som indikeras i figur 8.6. Text många moderna kontorshus är konstruerade med stora fönsterareor bl a för att kunna dra maximal nytta av dagsljus, vilket samtidigt innebär att mera solvärme tillförs byggnaden.



Figur 8.6 Grafisk beskrivning av energibalansen för ett modernt kontorshus med intern generering av värme samt solinstrålning, inkluderade.

I ovanstående schematiska exempel, figurerna 8.3-8.6, har byggnadens energibalans för ett år förenklat beskrivits med ett enda varaktighetsdiagram. I praktiken visar det sig vara nödvändigt att dela upp dygnet i dag och natt (beroende på skillnad i aktiviteter, solinstrålning mm), varvid byggnadens energibalans istället behöver beskrivas med två varaktighetsdiagram.

Med detta betraktelsesätt blir det möjligt att vid vilken utetemperatur som helst under året upprätta en värmebalans för byggnaden. Som tidigare nämnts är det möjligt att översätta temperaturdifferenser direkt till värmebelastningar, och vice versa. I figur 8.7 visas byggnadens värmebalans vid ett givet utetillstånd i ett varaktighetsdiagram. Värmeeffektens "nollinje" är låst till inomhustemperaturen, dvs i en byggnad som saknar intern värmegenerering (inklusive solinstrålning), finns inget behov av värmetillförsel då utetemperaturen och temperaturen inne är lika stora.



Figur 8.7 Byggnadens värmebalans beskriven i ett varaktighetsdiagram med både temperatur- och effektskala inlagd.

Vid den i figur 8.7 givna uttemperaturen är det internt genererade värmets $\dot{Q}_{\text{int}}$ större än den värme som förs bort genom transmission och infiltration $\dot{Q}_{\text{trans}} + \dot{Q}_{\text{inf}}$, varvid det uppstår ett nettobehov av att föra bort värme $\dot{Q}$. Om inte värmets $\dot{Q}$ förs bort kommer temperaturen inne att börja stiga.

REFERENSER

- [1] *Energiboken – Kunskapsläge och forskningsfront*, (1995), T21:1995, ISBN 91-540-5726-4, Statens Råd för Byggnadsforskning, Stockholm
- [2] ASHRAE (1995), *HVAC Handbook (SI edition)*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, USA.
- [3] Aronsson, S., Nilsson, P-E., (1996), *Learning from experiences with Energy Management of Commercial Buildings*, CADDET Analysis Report No. 19, CADDET EE, Sittard, The Netherlands
- [4] Turner, W.C., *Energy Management Handbook*, (1997) (third edition), Fairmont Press, Inc., (distributed by PTR Prentice Hall, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ 07632, USA).
- [5] Wiklund, H., Sandberg, O., (1991), *Normalårskorrigerig av fjärrvärmeproduktion*, Umeå Universitet avd. för Tillämpad Fysik, Inst. rapport 1991:209.
- [6] Hammarsten S., Hjalmarsson C., (1983), *Energisignaturen är en modell som avspeglar boendevanor*, VVS 1983:1, VVS förlags AB, Stockholm.
- [7] Hammarsten S., Hjalmarsson C., (1988), *Bestämning av byggnaders effektbehov genom mätning*, Statens Institut för Byggnadsforskning, TN:7, Gävle.
- [8] Stenlund, L., Sandberg, O., (1984), *Effektbehov i tunga flerbostadshus*, VVS&Energi 1984:5, VVS förlags AB, Stockholm.
- [9] Boverkets Byggregler, BBR, BFS 1998:38.
- [10] Aronsson, S., (1996), *Fjärrvärmekunders värme- och effektbehov*, Avhandling, Institutionen för Installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg
- [11] Starby, L., (1992), *Belysningshandboken*, 2a upplagan, Ljuskultur, Stockholm
- [12] *Definiera vistelsezonen*, AMA-nytt, VVS EL, 1/91
- [13] ANSI/ASHRAE Standard 55-1981, *Thermal environmental conditions for human occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA.
- [14] Formgren, H. (1994), *Omfattningen av allergi och annan överkänslighet: Vetenskaplig kunskapssammanställning*, Folkhälsoinstitutet, 1994:18.

- [15] Björkstén, B. (1996), *Allergi och annan överkänslighet ur ett miljöperspektiv: En kunskapsöversikt*, Naturvårdsverket, Rapport 4523.
- [16] Sundell, et al. (1997), *Problem med inomhusklimatet, Utredningar, mätningar, åtgärder*, Byggforskningsrådet, Anslagsrapport A8:1997.
- [17] Nordquist, B. (1995), *Goda exempel på sunda hus, daghem och skolor*, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för byggnadskonstruktionslära”, Rapport TABK -- 95/7032.
- [18] SOSFS 1989:51, Socialstyrelsens föfattningssamling, *Socialstyrelsens allmänna råd om ventilation i bostäder med flera lokaler*, 1989.
- [19] SOSFS 1989:13, Socialstyrelsens föfattningssamling, *Socialstyrelsens allmänna råd om åtgärder mot formaldehyd i byggnader*, 1989.
- [20] *Klassindelade Inneklimatsystem, R1*, Svenska Inneklimatinstitutet, Scanvac, Stockholm, 1990.
- [21] *Riktlinjer för projektering*, (1995), ISBN 91-88826-00-7, Akademiska Hus, Göteborg.
- [22] *Injustering av värmesystem*, (13s), VVS-Tekniska Föreningen, Stockholm.
- [23] Abel, E., *Byggnaden som klimatsystem*, (1999), K. VIN085:1, ISSN 0280-8862, Inst. för Installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- [24] Gustén, J. (ed), (1996), *Installationsteknik – systemanalys*, K. K405:1996, ISSN 0280-8862, Inst. för Installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- [25] ENEU 94, Skriftsamling som kan beställas hos Industrilitteratur AB, Stockholm.

BILAGA 1 Nuvärdesfaktorn för ett årligen utfallande konstant belopp

$$I = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}$$

Nuvärdesfaktorn för ett årligen utfallande konstant belopp

År	4%	6%	8%	10%	12%	15%	20%	25%
1	0.9615	0.9434	0.9259	0.9091	0.8929	0.8696	0.8333	0.8000
2	1.8861	1.8334	1.7833	1.7355	1.6901	1.6257	1.5278	1.4400
3	2.7751	2.6730	2.5771	2.4869	2.4018	2.2832	2.1065	1.9520
4	3.6299	3.4651	3.3121	3.1699	3.0373	2.8550	2.5887	2.3616
5	4.4518	4.2124	3.9927	3.7908	3.6048	3.3522	2.9906	2.6893
6	5.2421	4.9173	4.6229	4.3553	4.1114	3.7845	3.3255	2.9514
7	6.0021	5.5824	5.2064	4.8684	4.5638	4.1604	3.6046	3.1611
8	6.7327	6.2098	5.7466	5.3349	4.9676	4.4873	3.8372	3.3289
9	7.4353	6.8017	6.2469	5.7590	5.3282	4.7716	4.0310	3.4631
10	8.1109	7.3601	6.7101	6.1446	5.6502	5.0188	4.1925	3.5705
11	8.7605	7.8869	7.1390	6.4951	5.9377	5.2337	4.3271	3.6564
12	9.3851	8.3838	7.5361	6.8137	6.1944	5.4206	4.4392	3.7251
13	9.9856	8.8527	7.9038	7.1034	6.4235	5.5831	4.5327	3.7801
14	10.5631	9.2950	8.2442	7.3667	6.6282	5.7245	4.6106	3.8241
15	11.1184	9.7122	8.5595	7.6061	6.8109	5.8474	4.6755	3.8593
16	11.6523	10.1059	8.8514	7.8237	6.9740	5.9542	4.7296	3.8874
17	12.1657	10.4773	9.1216	8.0216	7.1196	6.0472	4.7746	3.9099
18	12.6593	10.8276	9.3719	8.2014	7.2497	6.1280	4.8122	3.9279
19	13.1339	11.1581	9.6036	8.3649	7.3658	6.1982	4.8435	3.9424
20	13.5903	11.4699	9.8181	8.5136	7.4694	6.2593	4.8696	3.9539
25	15.6221	12.7834	10.6748	9.0770	7.8431	6.4641	4.9476	3.9849
30	17.2920	13.7648	11.2578	9.4269	8.0552	6.5660	4.9789	3.9950
35	18.6646	14.4982	11.6546	9.6442	8.1755	6.6166	4.9915	3.9984
40	19.7928	15.0463	11.9246	9.7791	8.2438	6.6418	4.9966	3.9995
45	20.7200	15.4558	12.1084	9.8628	8.2825	6.6543	4.9986	3.9998
50	21.4822	15.7619	12.2335	9.9148	8.3045	6.6605	4.9995	3.9999

BILAGA 2 Annuitetsfaktorn

$$P = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}}$$

Annuitetsfaktorn

År	4%	6%	8%	10%	12%	15%	20%	25%
1	1.0400	1.0600	1.0800	1.1000	1.1200	1.1500	1.2000	1.2500
2	0.5302	0.5454	0.5608	0.5762	0.5917	0.6151	0.6545	0.6944
3	0.3603	0.3741	0.3880	0.4021	0.4163	0.4380	0.4747	0.5123
4	0.2755	0.2886	0.3019	0.3155	0.3292	0.3503	0.3863	0.4234
5	0.2246	0.2374	0.2505	0.2638	0.2774	0.2983	0.3344	0.3718
6	0.1908	0.2034	0.2163	0.2296	0.2432	0.2642	0.3007	0.3388
7	0.1666	0.1791	0.1921	0.2054	0.2191	0.2404	0.2774	0.3163
8	0.1485	0.1610	0.1740	0.1874	0.2013	0.2229	0.2606	0.3004
9	0.1345	0.1470	0.1601	0.1736	0.1877	0.2096	0.2481	0.2888
10	0.1233	0.1359	0.1490	0.1627	0.1770	0.1993	0.2385	0.2801
11	0.1141	0.1268	0.1401	0.1540	0.1684	0.1911	0.2311	0.2735
12	0.1066	0.1193	0.1327	0.1468	0.1614	0.1845	0.2253	0.2684
13	0.1001	0.1130	0.1265	0.1408	0.1557	0.1791	0.2206	0.2645
14	0.0947	0.1076	0.1213	0.1357	0.1509	0.1747	0.2169	0.2615
15	0.0899	0.1030	0.1168	0.1315	0.1468	0.1710	0.2139	0.2591
16	0.0858	0.0990	0.1130	0.1278	0.1434	0.1679	0.2114	0.2572
17	0.0822	0.0954	0.1096	0.1247	0.1405	0.1654	0.2094	0.2558
18	0.0790	0.0924	0.1067	0.1219	0.1379	0.1632	0.2078	0.2546
19	0.0761	0.0896	0.1041	0.1195	0.1358	0.1613	0.2065	0.2537
20	0.0736	0.0872	0.1019	0.1175	0.1339	0.1598	0.2054	0.2529
25	0.0640	0.0782	0.0937	0.1102	0.1275	0.1547	0.2021	0.2509
30	0.0578	0.0726	0.0888	0.1061	0.1241	0.1523	0.2008	0.2503
35	0.0536	0.0690	0.0858	0.1037	0.1223	0.1511	0.2003	0.2501
40	0.0505	0.0665	0.0839	0.1023	0.1213	0.1506	0.2001	0.2500
45	0.0483	0.0647	0.0826	0.1014	0.1207	0.1503	0.2001	0.2500
50	0.0466	0.0634	0.0817	0.1009	0.1204	0.1501	0.2000	0.2500

BILAGA 3 Nuvärdesfaktorn för enstaka belopp

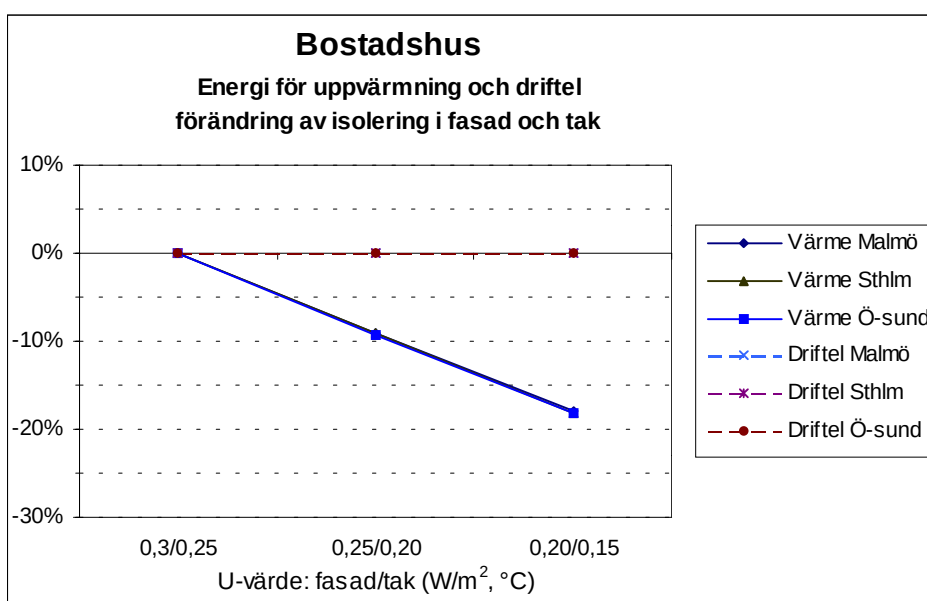
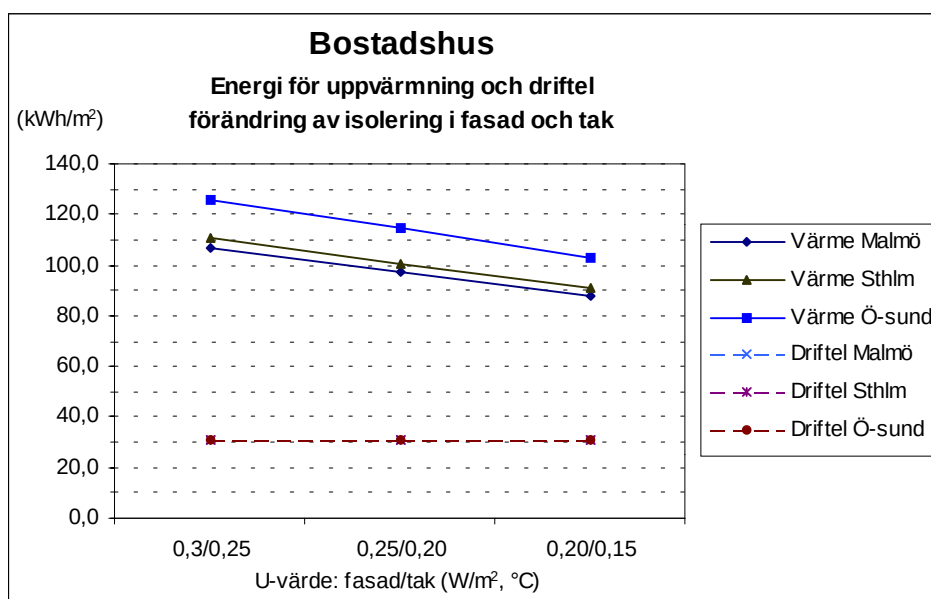
$$I_e = (1 + r)^{-n}$$

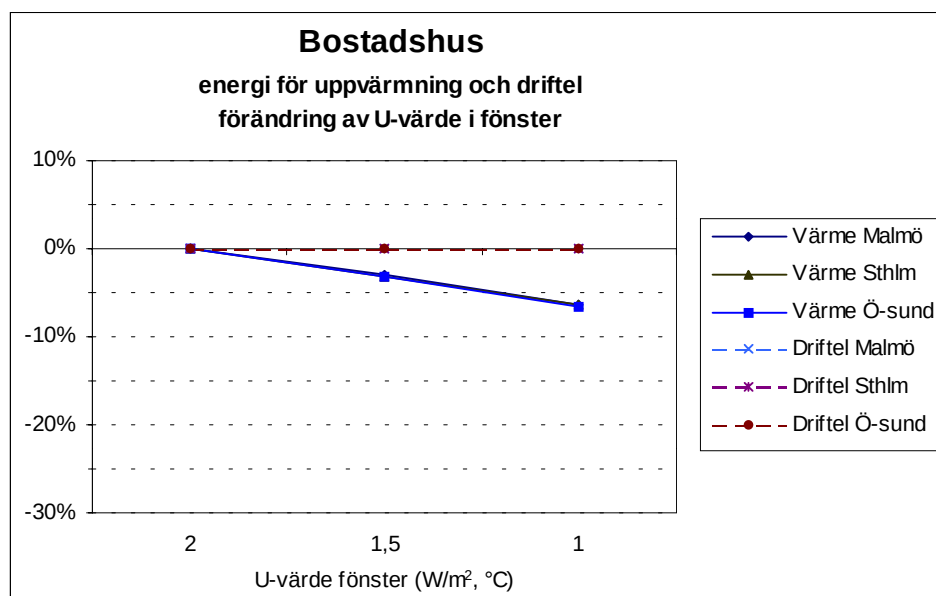
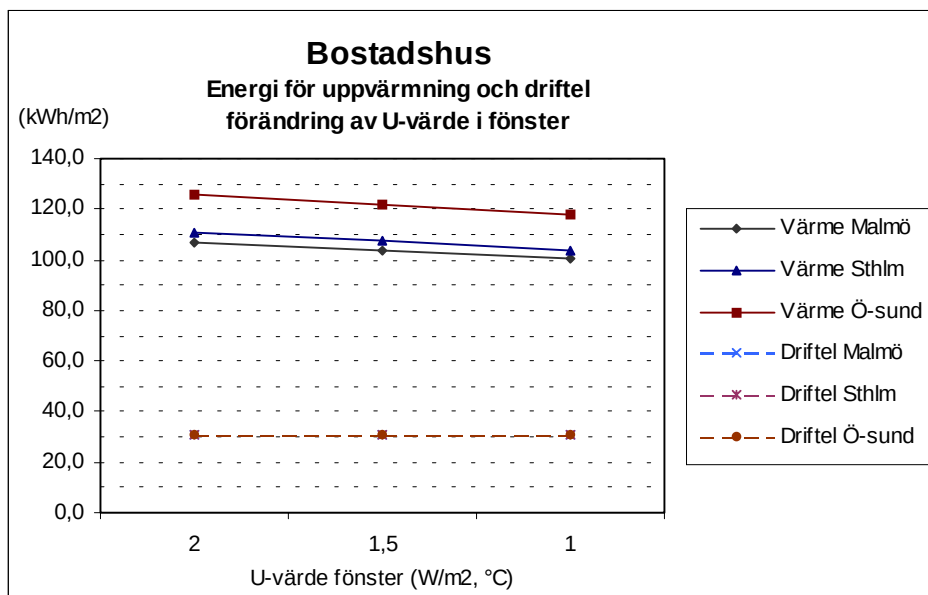
Nuvärdesfaktorn för enstaka belopp

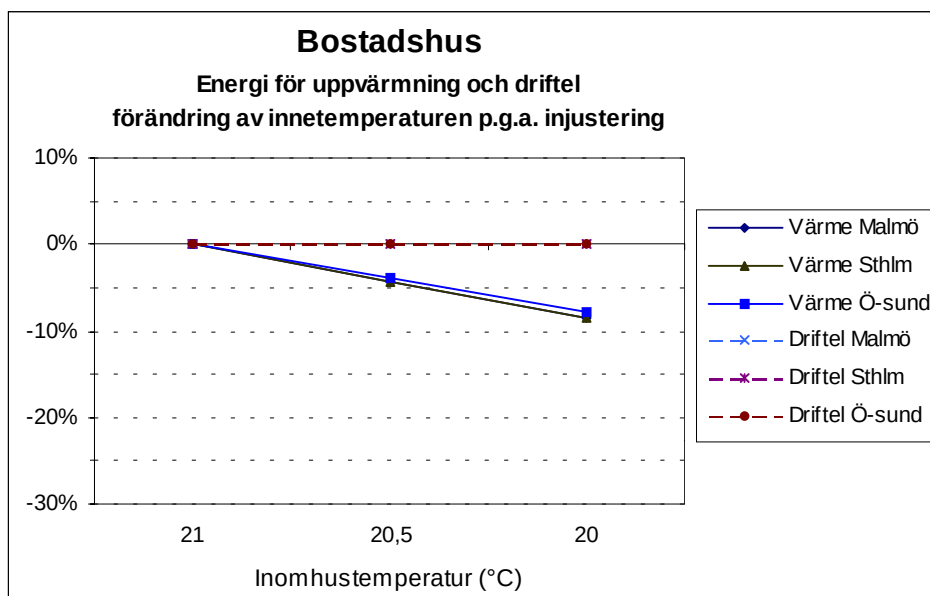
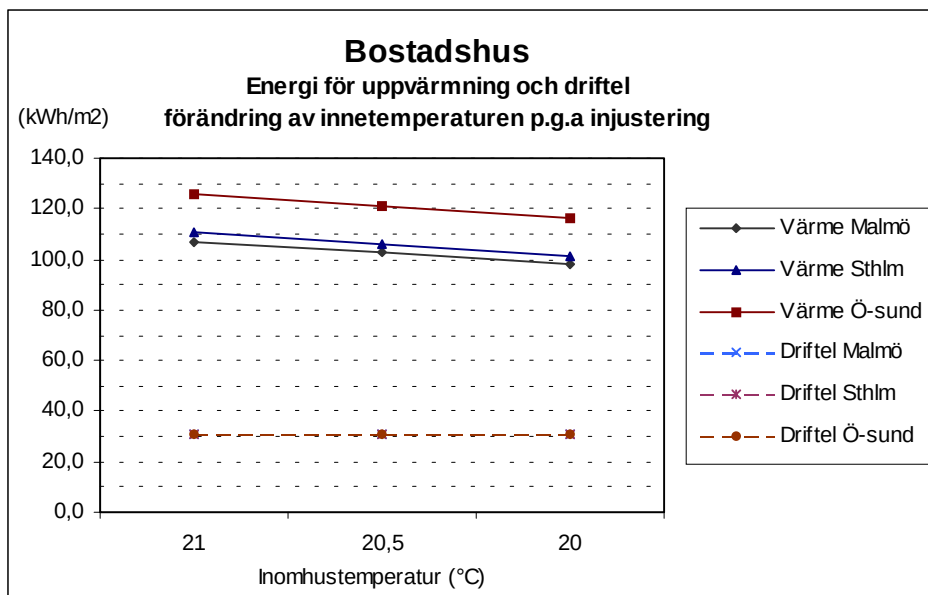
År	4%	6%	8%	10%	12%	15%	20%	25%
1	0.9615	0.9434	0.9259	0.9091	0.8929	0.8696	0.8333	0.8000
2	0.9246	0.8900	0.8573	0.8264	0.7972	0.7561	0.6944	0.6400
3	0.8890	0.8396	0.7938	0.7513	0.7118	0.6575	0.5787	0.5120
4	0.8548	0.7921	0.7350	0.6830	0.6355	0.5718	0.4823	0.4096
5	0.8219	0.7473	0.6806	0.6209	0.5674	0.4972	0.4019	0.3277
6	0.7903	0.7050	0.6302	0.5645	0.5066	0.4323	0.3349	0.2621
7	0.7599	0.6651	0.5835	0.5132	0.4523	0.3759	0.2791	0.2097
8	0.7307	0.6274	0.5403	0.4665	0.4039	0.3269	0.2326	0.1678
9	0.7026	0.5919	0.5002	0.4241	0.3606	0.2843	0.1938	0.1342
10	0.6756	0.5584	0.4632	0.3855	0.3220	0.2472	0.1615	0.1074
11	0.6496	0.5268	0.4289	0.3505	0.2875	0.2149	0.1346	0.0859
12	0.6246	0.4970	0.3971	0.3186	0.2567	0.1869	0.1122	0.0687
13	0.6006	0.4688	0.3677	0.2897	0.2292	0.1625	0.0935	0.0550
14	0.5775	0.4423	0.3405	0.2633	0.2046	0.1413	0.0779	0.0440
15	0.5553	0.4173	0.3152	0.2394	0.1827	0.1229	0.0649	0.0352
16	0.5339	0.3936	0.2919	0.2176	0.1631	0.1069	0.0541	0.0281
17	0.5134	0.3714	0.2703	0.1978	0.1456	0.0929	0.0451	0.0225
18	0.4936	0.3503	0.2502	0.1799	0.1300	0.0808	0.0376	0.0180
19	0.4746	0.3305	0.2317	0.1635	0.1161	0.0703	0.0313	0.0144
20	0.4564	0.3118	0.2145	0.1486	0.1037	0.0611	0.0261	0.0115
25	0.3751	0.2330	0.1460	0.0923	0.0588	0.0304	0.0105	0.0038
30	0.3083	0.1741	0.0994	0.0573	0.0334	0.0151	0.0042	0.0012
35	0.2534	0.1301	0.0676	0.0356	0.0189	0.0075	0.0017	0.0004
40	0.2083	0.0972	0.0460	0.0221	0.0107	0.0037	0.0007	0.0001
45	0.1712	0.0727	0.0313	0.0137	0.0061	0.0019	0.0003	0.0000
50	0.1407	0.0543	0.0213	0.0085	0.0035	0.0009	0.0001	0.0000

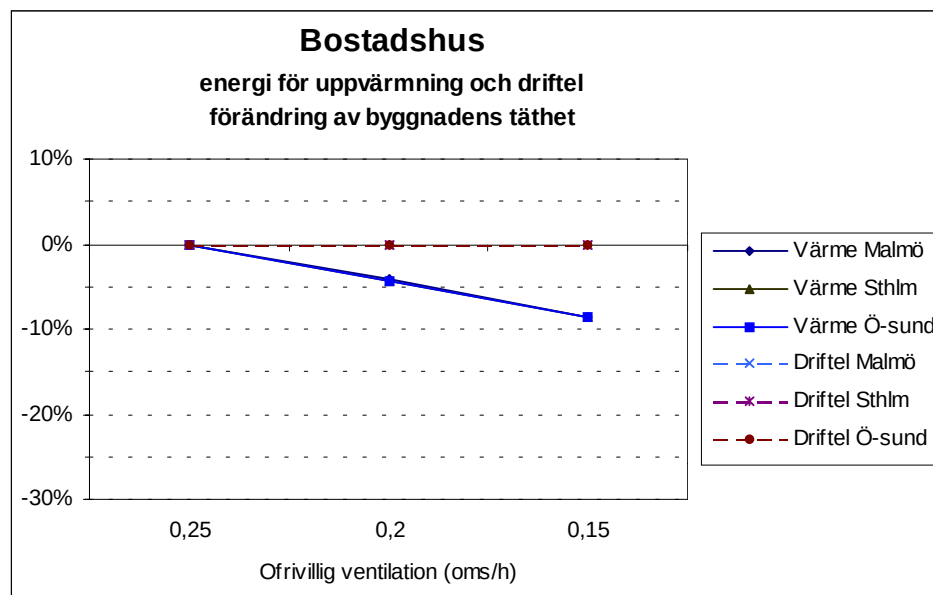
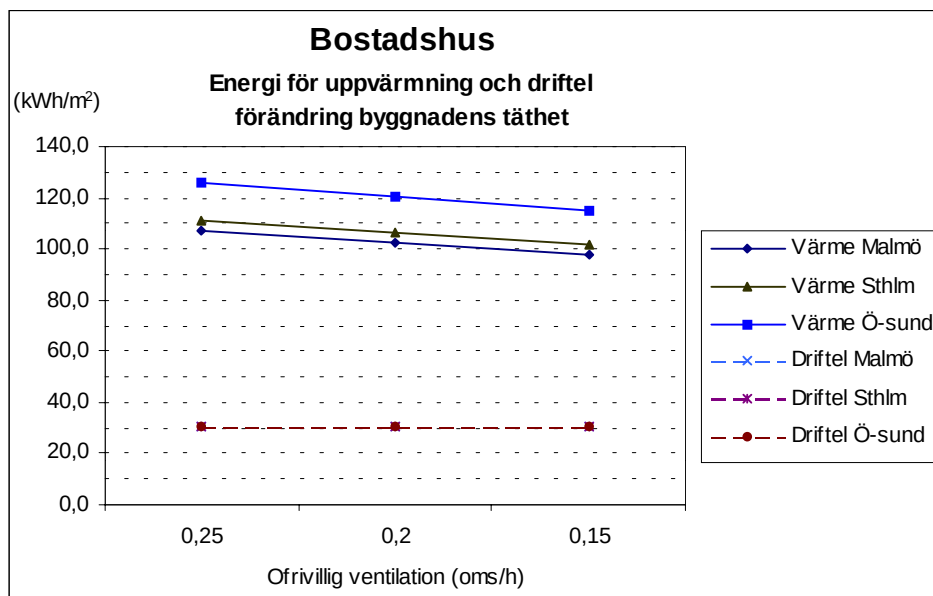
BILAGA 4**Energiberäkningar**

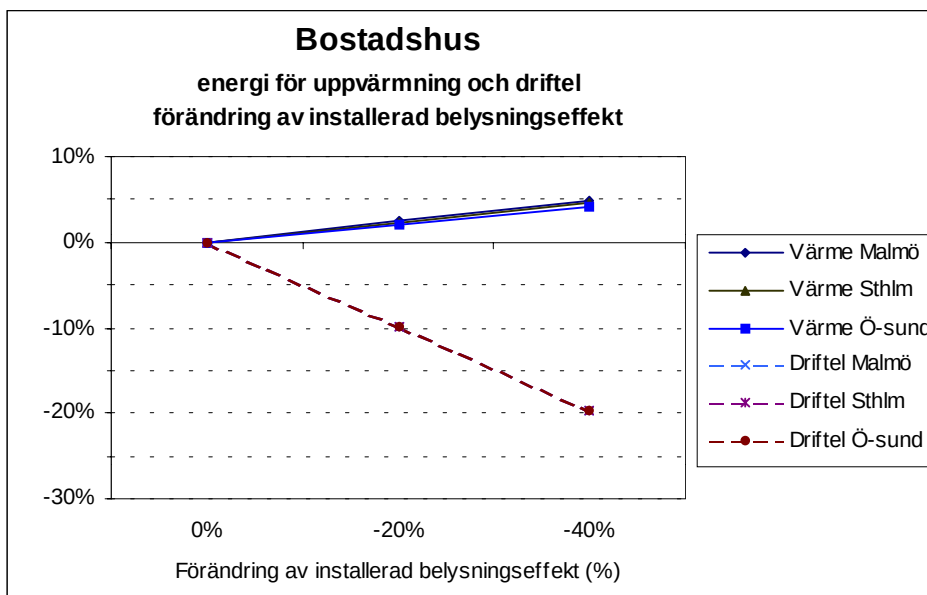
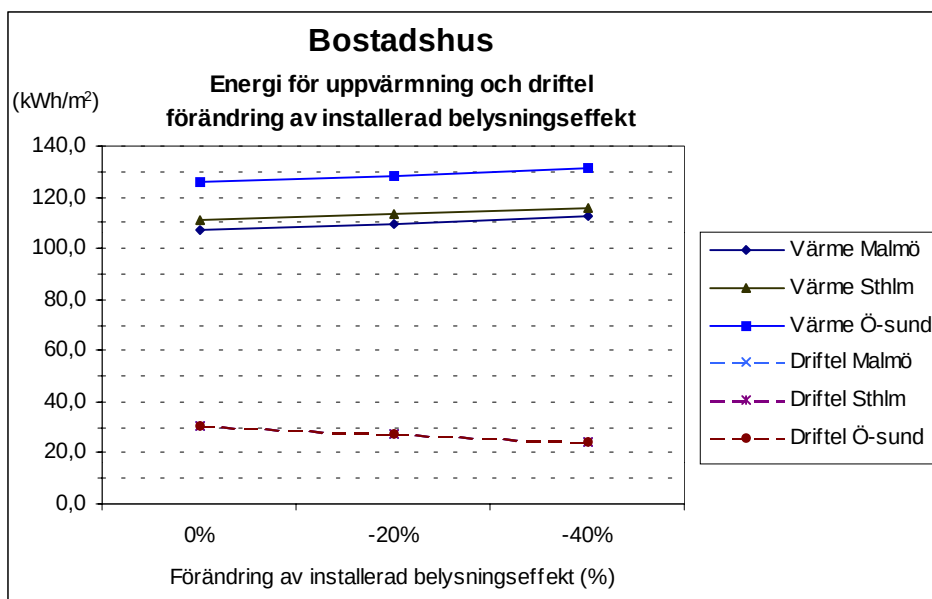
Nedan följer en mer omfattande redovisning av resultat från beräkningarna med BV². I varje diagram redovisas värden för Malmö, Stockholm och Östersund. Data för byggnaderna återfinns i bilaga 5.

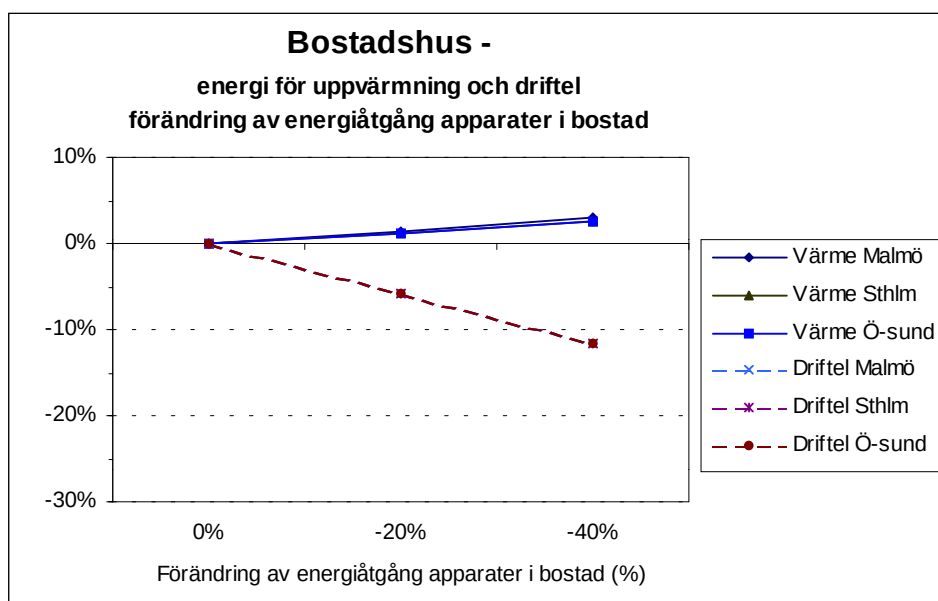
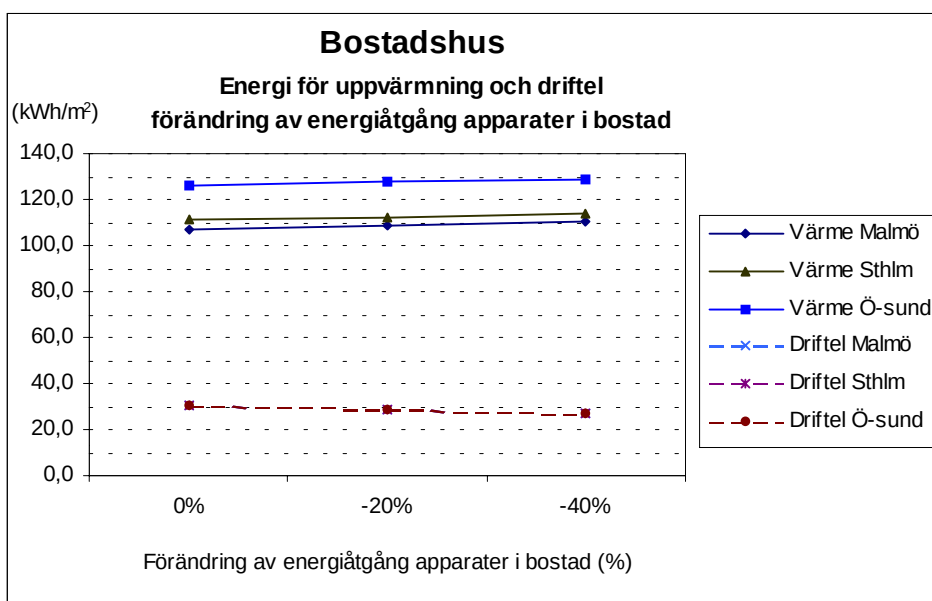
Bostadshus:



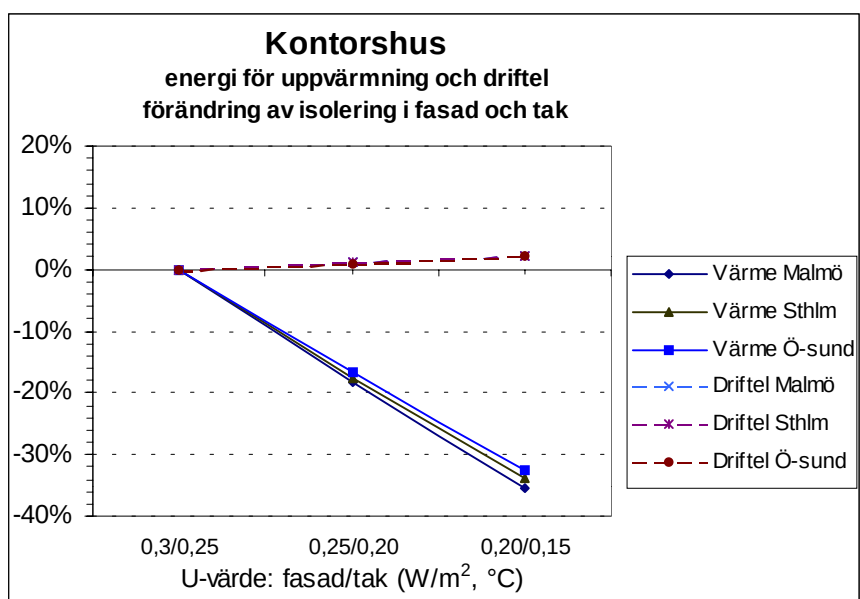
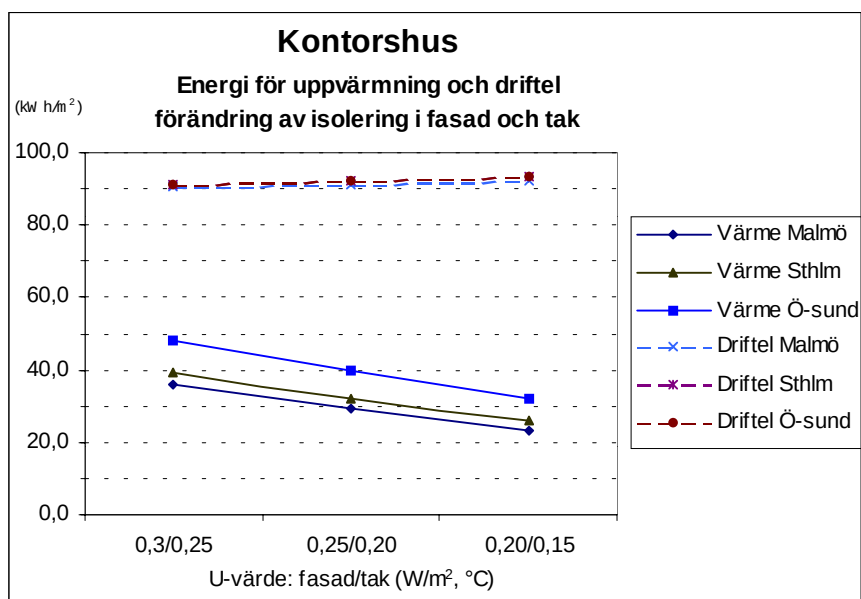


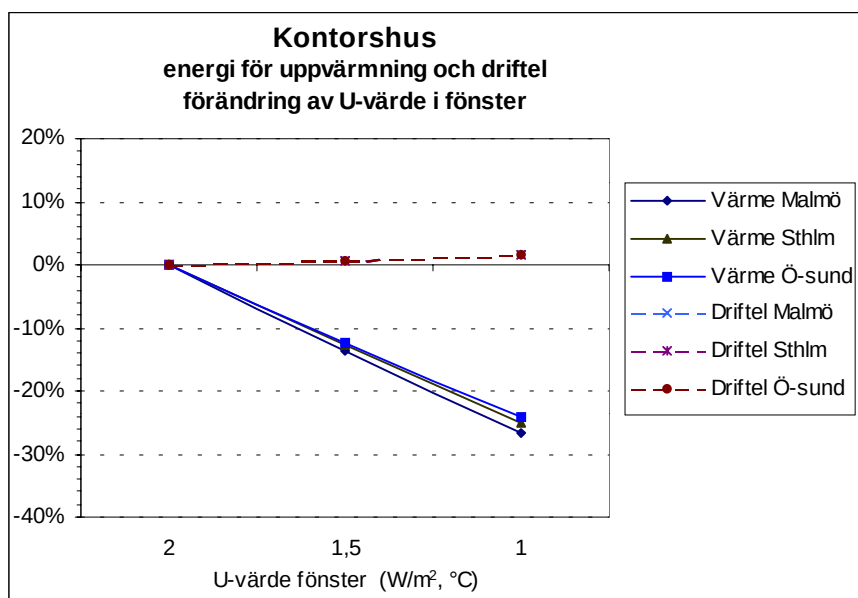
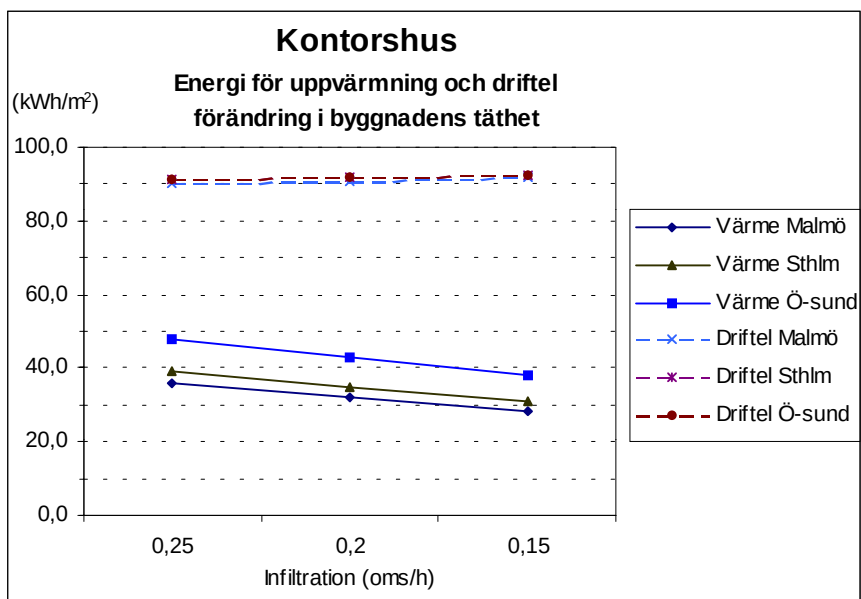


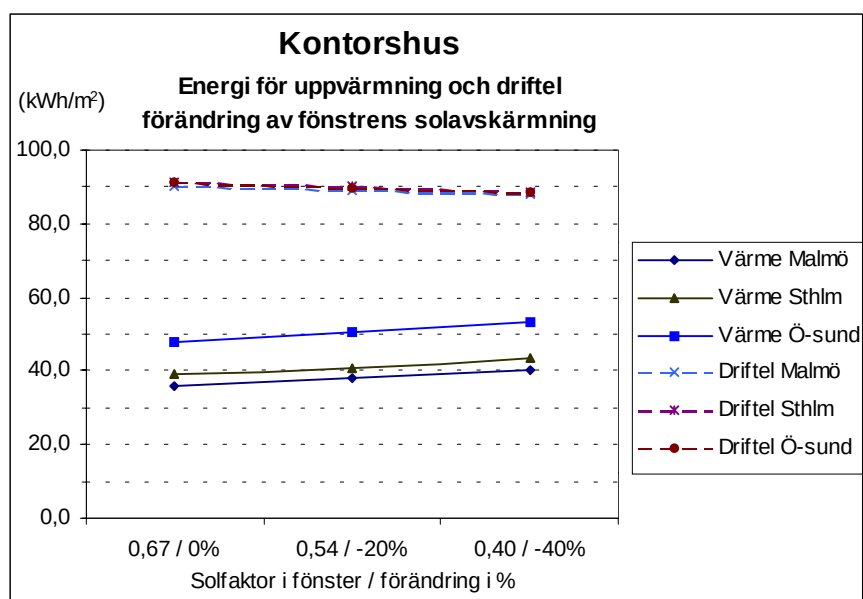


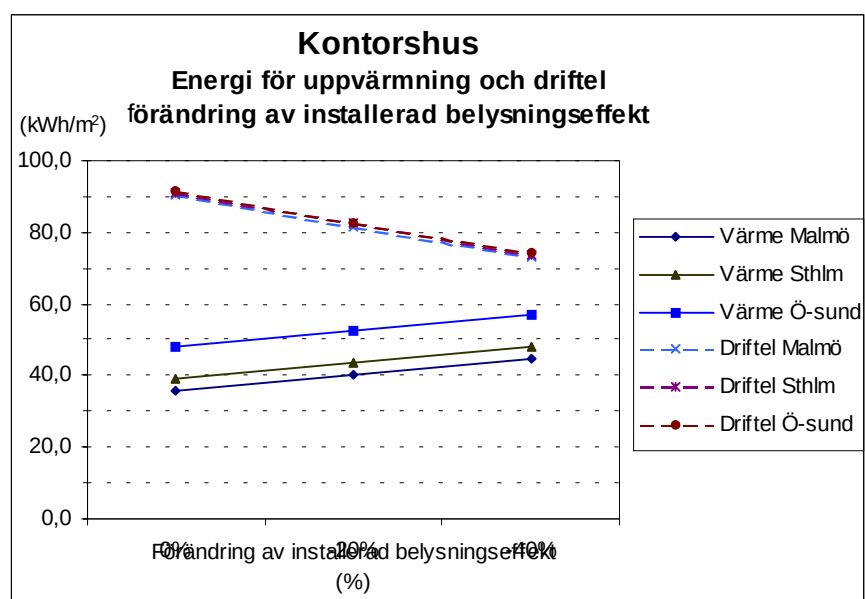
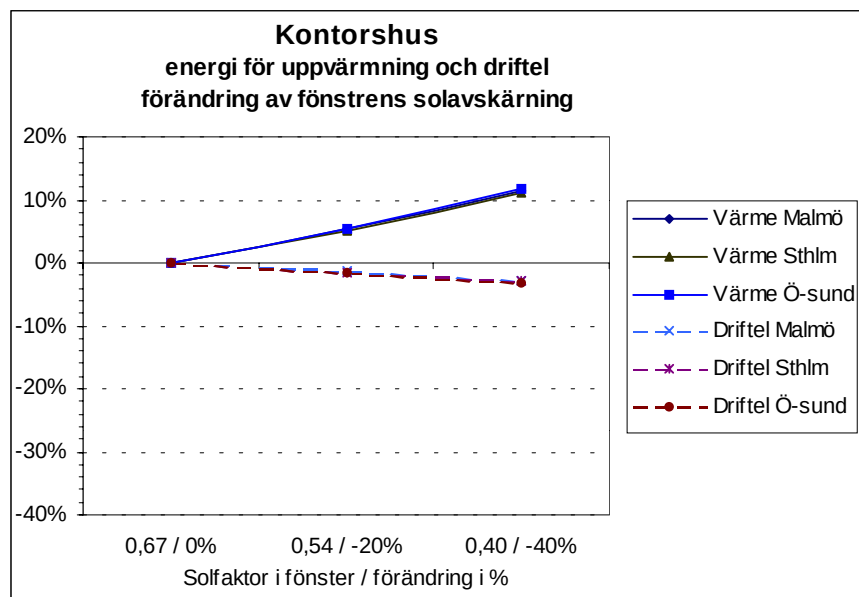


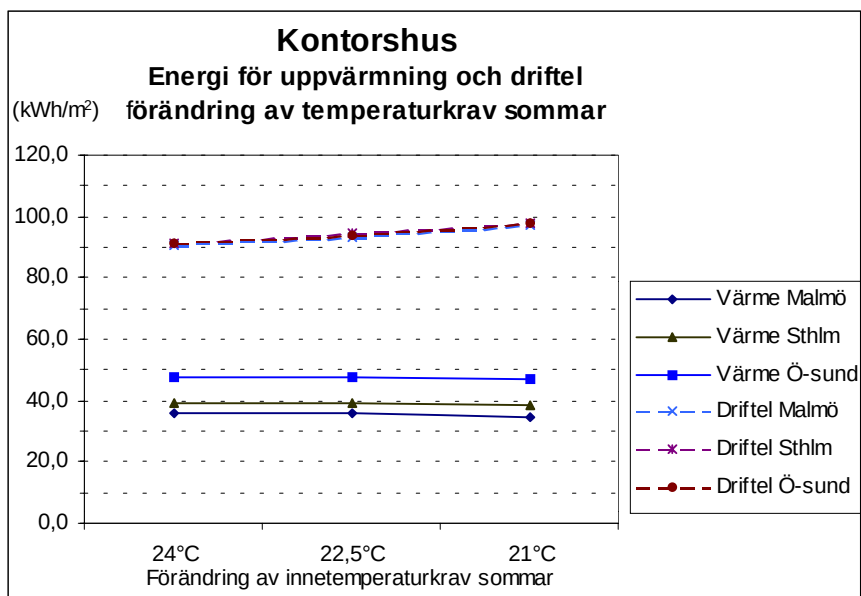
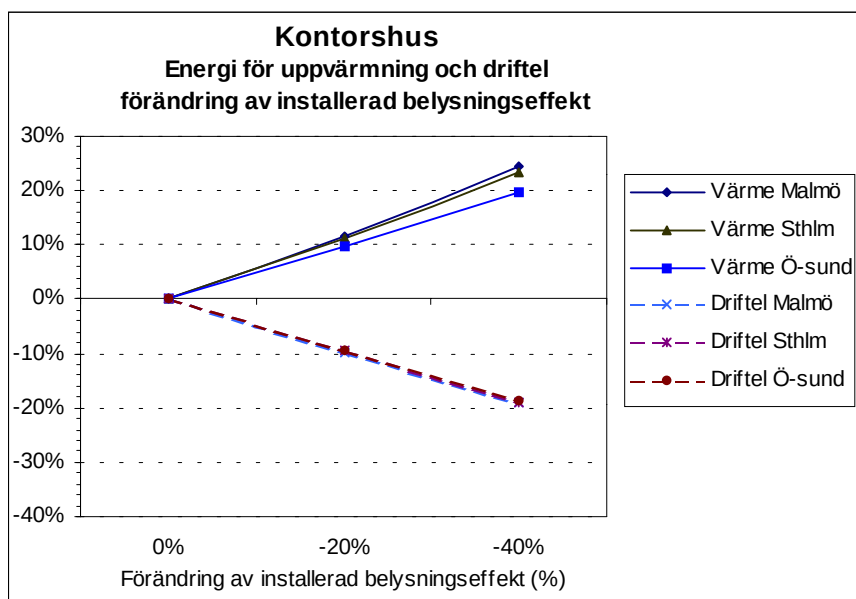
KONTORSHUS

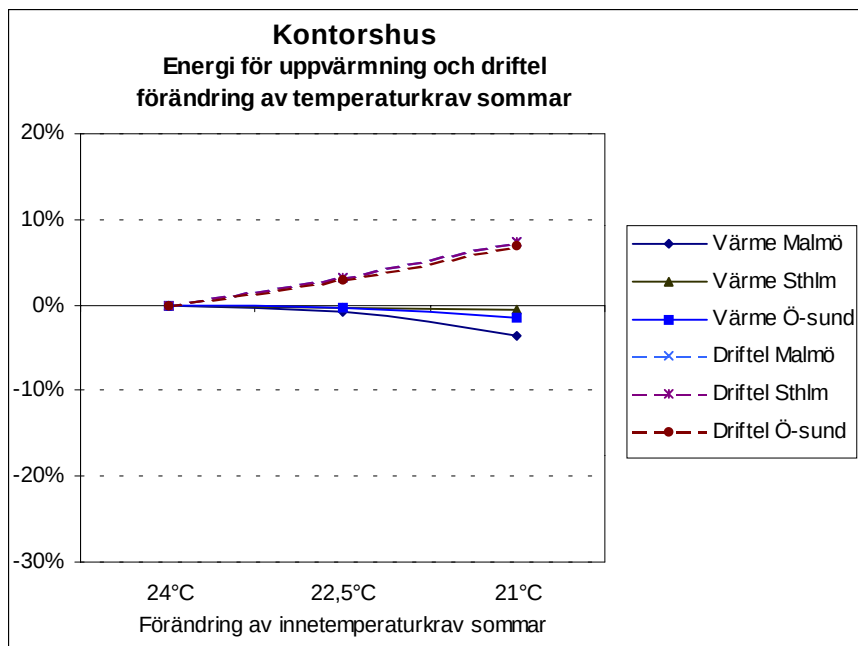




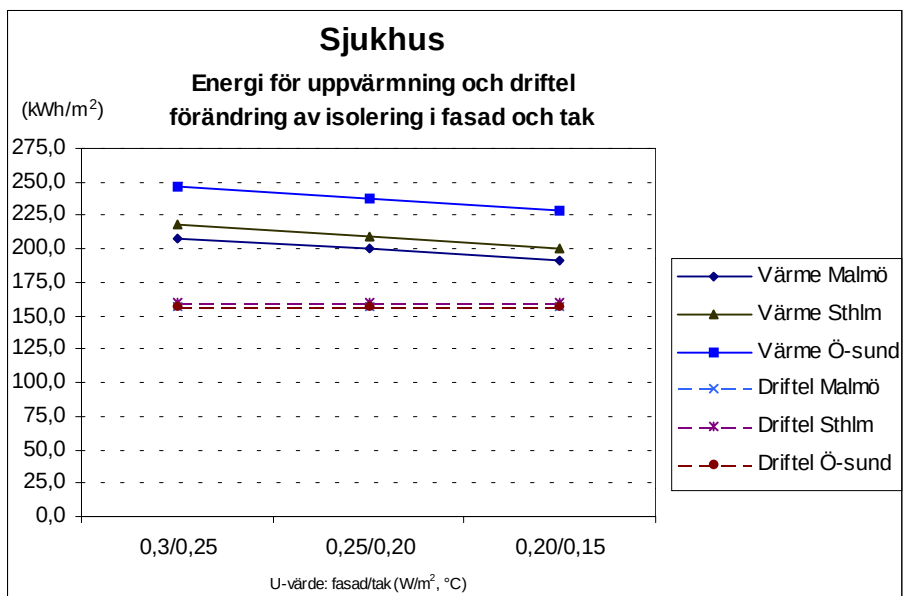


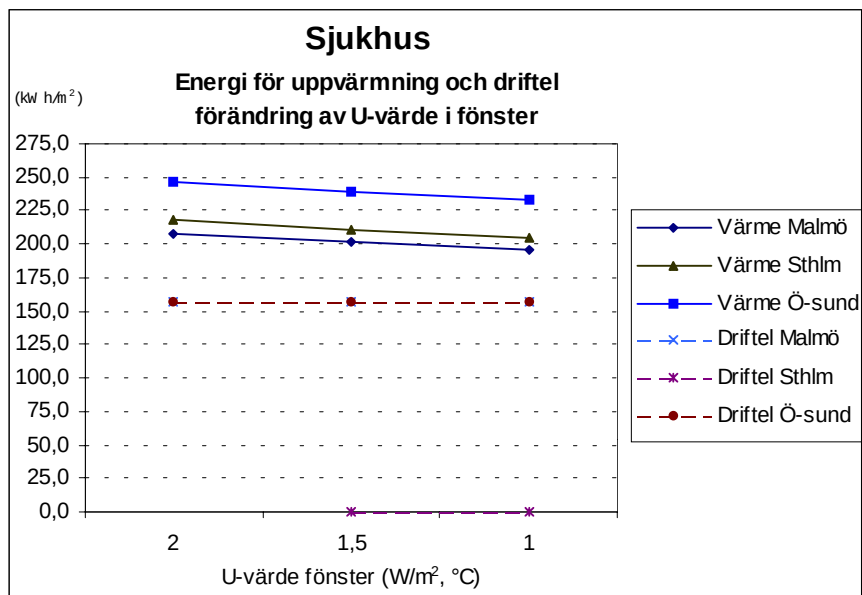
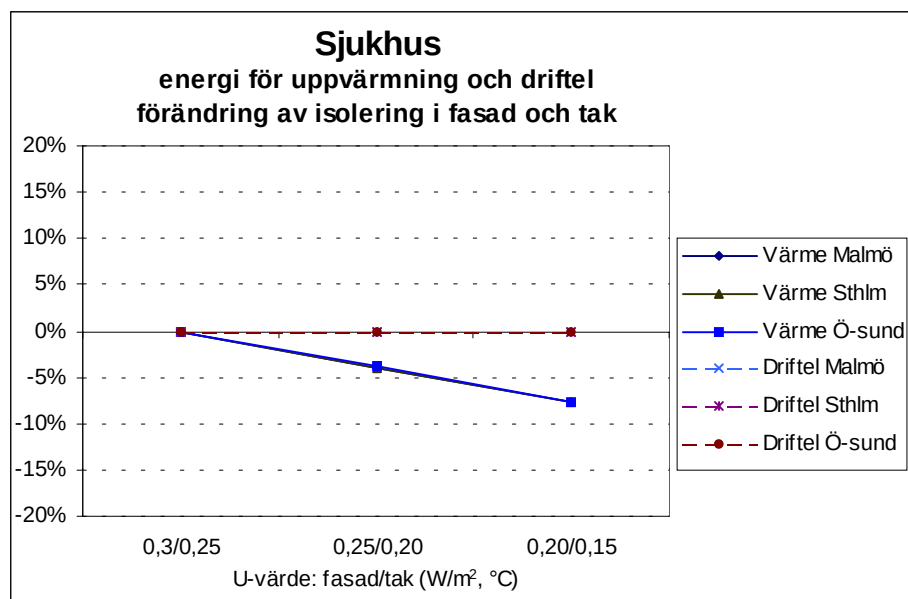


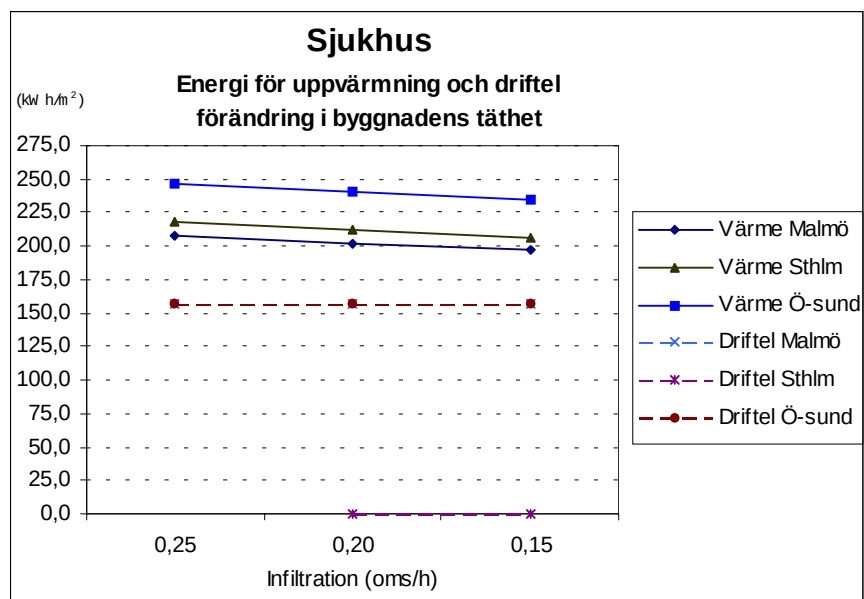
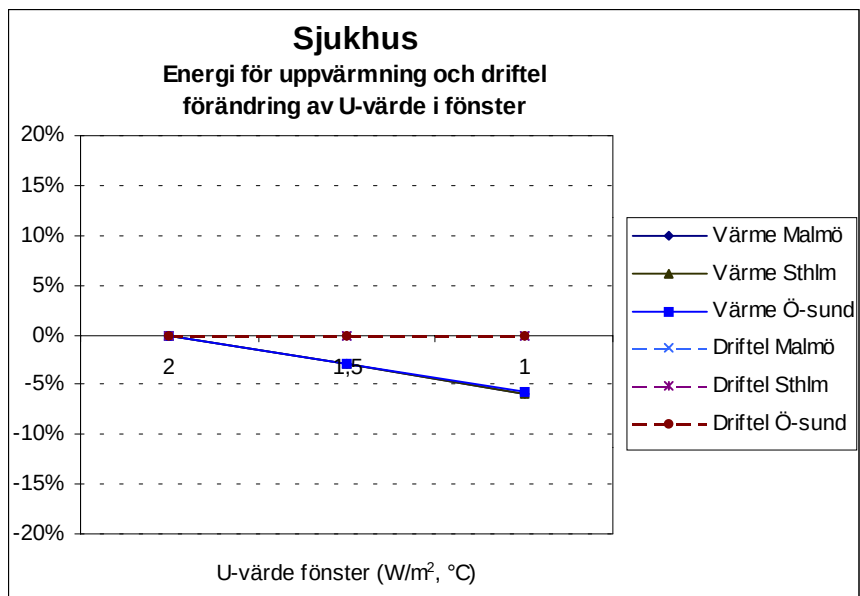


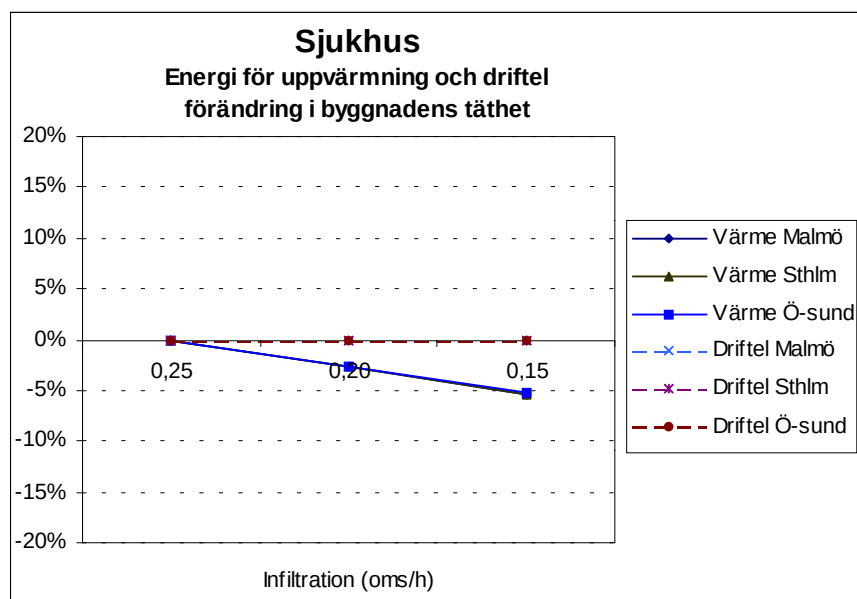


SJUKHUS









BILAGA 5**Sammanställning av förutsättningar:**

Indata	Flerbostadshus	Kontor	Sjukhus
Area total	1500	2500	1000
Area per våningsplan	500	500	500
Längd x bredd	50 x 10	50 x 10	50 x 10
Antal våningar	3	5	7
U-värde fasad	0,3 W/m ² , °C	0,3 W/m ² , °C	0,3 W/m ² , °C
U-värde tak	0,25 W/m ² , °C	0,25 W/m ² , °C	0,25 W/m ² , °C
U-värde platta mark	0,4 W/m ² , °C	0,4 W/m ² , °C	0,4 W/m ² , °C
Fönster typ	3-glas	3-glas	3-glas
Fönster U-värde	2,0 W/m ² , °C	2,0 W/m ² , °C	2,0 W/m ² , °C
Fönster area:			
Syd	45 m ²	100 m ²	140 m ²
Nord	35 m ²	100 m ²	140 m ²
Öster	5 m ²	40 m ²	55 m ²
Väster	5 m ²	40 m ²	55 m ²
Internvärme belysning			
Sommar dag	0,5 W/m ²	8 W/m ²	7 W/m ²
Sommar natt	2 W/m ²	1 W/m ²	2 W/m ²
Vinter dag	1 W/m ²	8 W/m ²	7 W/m ²
Vinter natt	3 W/m ²	3 W/m ²	3 W/m ²
Internvärme personer			
Sommar dag	1 W/m ²	8 W/m ²	10 W/m ²
Sommar natt	2 W/m ²	1 W/m ²	7 W/m ²
Vinter dag	1 W/m ²	8 W/m ²	10 W/m ²
Vinter natt	2 W/m ²	3 W/m ²	7 W/m ²
Internvärme maskiner			
Sommar dag	0,5 W/m ²	7 W/m ²	3 W/m ²
Sommar natt	1 W/m ²	2 W/m ²	2 W/m ²
Vinter dag	1 W/m ²	7 W/m ²	3 W/m ²
Vinter natt	1,5 W/m ²	2 W/m ²	2 W/m ²
Ventilationssystem	Frånluft	Till- och frånluft	Till- och frånluft
Uteluftflöde			
Dag	0,35 l/s,m ²	1,0 l/s,m ²	4,0 l/s,m ²
Natt	0,35 l/s,m ²	0,0 l/s,m ²	3,0 l/s,m ²
Tilluftstemperatur	Uteluft	18°C	18°C
Specifik fläkteffekt	2,5 kW/(m ³ /s)	2,5 kW/(m ³ /s)	2,5 kW/(m ³ /s)
Innetemperatur			
Lägsta	21°C	21°C	21°C
Högsta	--	24°C	24°C
Kylsystem	--	Vattenburen kyla	Luftburen kyla