

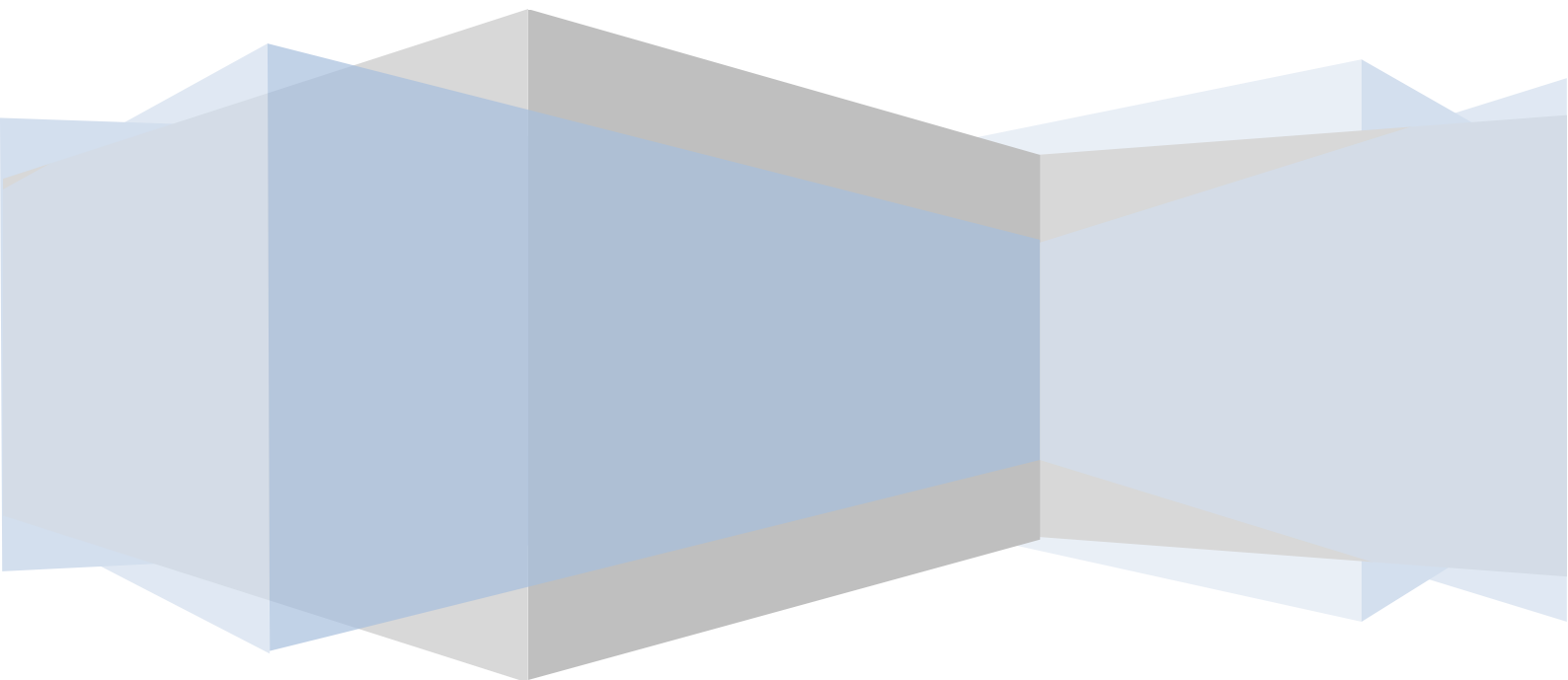
---

# Komfort- och inomhusmiljö- konsekvenser av strukturerad energieffektivisering för vårdlokaler

September 2008

Mathias Cehlin  
Högskolan i Gävle

Fredrik Karlsson  
Linköping universitet





## Förord

Detta arbete har utförts i samarbete mellan Högskolan i Gävle, Linköpings universitet och Landstingsfastigheter i Dalarna. Vi vill tacka samtliga i referensgruppen som bidragit till givande diskussioner med sina kunskaper.

Vi har haft stor hjälp med mätningarna på plats i Falun av personal vid Fastighetsteknik Falu lasarett. Vi vill framförallt tacka följande personer: Roland Marcus som varit till stor hjälp i samband med elmätningarna, Andreas Bortas som bland annat hjälpt till med att ta fram driftdata, specifikationer och guidat oss i drift- och styrsystemen samt Daniel Hansson som har hjälpt till med mätvärden från styrsystemet för värme- och ventilationsanläggningen. Mätningarna som redovisas har utförts av författarna och Fredrik Nilsson, forskningsingenjör vid avdelningen för Energisystem, Linköpings universitet.

Gävle och Linköping 2008-08-25



## Sammanfattning

Rapporten beskriver en fastighetsanpassad metodik för analys och optimering av energisystemen i vårdlokaler. Metodiken består av en kartläggningsmodell som innehåller samtidig kartläggning av inomhusklimatet och energianvändningen, beskrivning av dessa två med olika prestandamått, gemensam analys och åtgärdsmodell samt utvärdering av åtgärdernas påverkan på inneklimatfaktorer och energibehov. En gemensam beskrivning av inomhusklimat och energianvändning med fyra parametrar (Symtomindex, Arbetsmiljöindex, Elanvändning per kvadratmeter samt koldioxidutsläpp per kvadratmeter) har använts för att deklarerat energi och komfort per avdelning. Den gemensamma beskrivningen samt prestandamått för energi och inomhusklimatparametrar skapar en möjlighet att ta fram jämförelsetal mellan olika objekt som i sin tur kan bidra till ständig förbättring och energieffektivisering.

Energianvändningen och inomhusklimatet vid två ortopediska vårdavdelningar vid Falu lasarett har kartlagts och ett antal åtgärder för att förbättra inomhusklimatet och minska energianvändningen har undersökts. Inomhusklimatenkäterna visar på att personalen upplever inomhustemperaturen som besvärande hög en stor del av året, medan patienterna upplever densamma som behaglig. Mätningar och simuleringar visar på höga temperaturer under hela året i de inre delarna av lokalerna där personalen vistas den mesta tiden. De visar också på oacceptabelt höga lufttemperaturer under stora delar av sommaren i patientrum utmed sydostfasaden, vilket är en direkt följd av solinstrålning. Mätningar av elanvändningen visar på stora baslaster. Energianvändningen kan till störst del kopplas till ventilation (fläktel) och belysning. Genom att effektivisera eller släcka belysningen kan övertemperaturerna minskas. Genom att införa närvarosensorer har 10 % av elanvändningen vid avdelningen kunnat sparas. Ett ytterliggare antal åtgärdsförslag har diskuterats och inverkan av dessa åtgärder på energibehovet och inomhusklimatet har simulerats och analyserats. Simuleringarna visar att betydande förbättring av inomhusklimatet är möjligt att uppnå på grund av minskade övertemperaturer genom att solavskärningsåtgärder, effektivare belysning samt intrimning av värme och ventilationssystem genomförs. Samtidigt minskar energibehovet som en följd av införande av åtgärderna.



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>BAKGRUND.....</b>	<b>1</b>
1.1	ENERGIANVÄNDNING VID SJUKHUS .....	2
1.2	SYFTE .....	3
1.2.1	<i>Avgränsning</i> .....	4
1.3	TIDIGARE STUDIERS METODIK, LITTERATURÖVERSIKT .....	4
<b>2</b>	<b>INOMHUSKLIMAT .....</b>	<b>7</b>
2.1	TERMISKT KLIMAT .....	8
2.1.1	<i>PMV</i> .....	8
2.1.2	<i>PPD</i> .....	8
2.2	LUFTKVALITET .....	9
2.2.1	<i>"Torr luft"</i> .....	10
2.3	KLIMATKRAV.....	10
2.3.1	<i>Termiskt klimat</i> .....	10
2.3.2	<i>Luftkvalitet</i> .....	11
2.3.3	<i>Klimatkrav vårdlokaler</i> .....	12
<b>3</b>	<b>VERKTYG OCH MODELLER.....</b>	<b>15</b>
3.1	MÄTMETODER .....	15
3.1.1	<i>Temperatur och fukt</i> .....	15
3.1.2	<i>El</i> .....	15
3.1.3	<i>Värme</i> .....	15
3.1.4	<i>Lufthastighet</i> .....	15
3.1.5	<i>Luftkvalitet</i> .....	16
3.1.6	<i>Inomhusklimatenkäter</i> .....	16
3.2	INSAMLING AV ANDRA UPPGIFTER .....	16
3.3	SIMULERINGSMODELLER .....	16
<b>4</b>	<b>STRUKTURERAD METODIK .....</b>	<b>17</b>
4.1	KARTLÄGGNINGSMODELL .....	18
4.1.1	<i>Kartläggning av inomhusklimatet</i> .....	18
4.1.2	<i>Energikartläggning</i> .....	20
4.2	ÅTGÄRDSMODELL.....	22
4.2.1	<i>Generella åtgärder</i> .....	24
4.3	PRESTANDAMÅTT .....	25
4.3.1	<i>Prestandamått för inneklimat</i> .....	26
4.3.2	<i>Prestandamått för energianvändning</i> .....	28
4.4	ENERGI- OCH KLIMATPRESTANDA.....	30
<b>5</b>	<b>OBJEKT BESKRIVNING .....</b>	<b>33</b>
5.1	VERKSAMHETS BESKRIVNING .....	33
5.2	KONSTRUKTION OCH INSTALLATIONSTEKNISKA SYSTEM.....	33
5.2.1	<i>Värme och ventilation</i> .....	33
5.2.2	<i>Elsystem – viktig kraft/vanlig kraft</i> .....	34
5.2.3	<i>Tillförselsystem</i> .....	34
5.3	SYSTEMATISKT ENERGIARBETE VID FALU LASARETT, LANDSTINGET DALARNA .....	34
<b>6</b>	<b>RESULTAT.....</b>	<b>37</b>
6.1	KARTLÄGGNING AV INOMHUSKLIMAT .....	37
6.1.1	<i>Enkätundersökningar</i> .....	37
6.1.2	<i>Mätningar och numeriska beräkning</i> .....	39
6.1.3	<i>Analys och prestandamått</i> .....	46
6.2	ENERGIKARTLÄGGNING .....	49
6.2.1	<i>El och värmeanvändning Falu lasarett</i> .....	49
6.2.2	<i>Värmebehov hus 11</i> .....	52
6.2.3	<i>Elanvändning på avdelning 17 och 18</i> .....	52

6.2.4	<i>Simulerade värden för tillförd värme och kyla</i> .....	57
6.2.5	<i>Analys och prestandamått för energi</i> .....	58
6.3	GEMENSAM ENERGI- OCH INNEKLIMATPRESTANDA .....	59
6.4	ÅTGÄRDSFÖRSLAG .....	60
6.4.1	<i>Effekt av belysningsåtgärder</i> .....	60
6.4.2	<i>Solavskärmning</i> .....	61
6.4.3	<i>Omfördela tilluft</i> .....	62
6.4.4	<i>Kombination av belysning, markiser och omfördelning</i> .....	63
6.4.5	<i>Årstidsberoende börvärde frånluft</i> .....	63
6.4.6	<i>Sänkt inomhustemperatur vår, vinter höst</i> .....	64
6.4.7	<i>Tilläggsisolering och byte fönster</i> .....	64
6.4.8	<i>Balanstemperatur</i> .....	64
6.4.9	<i>Styrstrategier</i> .....	66
<b>7</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>67</b>
7.1	AVD 17 & 18 VID FALU LASARETT.....	68
<b>8</b>	<b>SLUTSATS</b> .....	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>73</b>
	<b>APPENDIX 1 - EFFEKTIVITETSBEGREPP</b> .....	<b>77</b>
	<b>APPENDIX 2 - SIMULERINGSMODELL</b> .....	<b>79</b>
	<b>APPENDIX 3 – PRIMÄRENERGIFAKTORER OCH KOLDIOXIDUTSLÄPP</b> .....	<b>85</b>
	<b>APPENDIX 4 - PLANLÖSNING ORTOPEDKLINIKEN, HUS 11, FALU LASARETT</b> .....	<b>87</b>
	<b>APPENDIX 5A – ENKÄTEN, PATIENT</b> .....	<b>89</b>
	<b>APPENDIX 5B – ENKÄTEN, PERSONAL</b> .....	<b>91</b>
	<b>APPENDIX 6 - NATTVANDRING 2007-01-05</b> .....	<b>93</b>
	<b>APPENDIX 7 - ANTECKNINGAR FRÅN ENERGISEMINARIUM 2007-11-15, FALUN</b> .....	<b>95</b>



# 1 Bakgrund

Energianvändningen i bebyggelsesektorn uppgick till ca 145 TWh år 2006, vilket är 36 % av Sveriges totala slutliga energianvändning. Bostäder och lokaler svarar för nästan 90 % av den totala energianvändningen i bebyggelsesektorn. Bebyggelsesektorn står också ca 15 % av det totala CO<sub>2</sub> utsläppet i Sverige. Sist, men inte minst, ur ett livscykelperspektiv står byggnadens brukstid för nästan 85 % av byggnadens totala energianvändning.

Människor tillbringar ca 90 % av sin tid inomhus, i bostaden och på arbetsplatsen. Luftkvaliteten, temperaturen och fuktigheten i bostäder och lokaler är viktiga samhällsfrågor eftersom de påverkar såväl energianvändningen och inomhusklimatet som människors hälsa och arbetsförmåga. Dåliga inomhusmiljöer kostar samhället årligen stora summor.

Det är därför av yttersta intresse att driva forskning som rör energianvändning i byggnader, inomhusmiljö och ett mer övergripande systemtänkande som inkluderar det omgivande energisystemet. En intressant och angelägen forskningsuppgift är att prediktera och tillhandahålla solid grundläggande kunskap om analyser och mättekniker i avsikt att effektivisera energianvändningen i system för ventilation, uppvärmning, kylning och belysning och fastighetsdrift av lokaler. Minimering av energibehovet i lokaler, eliminering av systemfel med samtidig uppvärmning och kylning, minskning av påverkan på den yttre miljön, tillhandahållande av bra inomhusluft och god komfort, säkert avlägsnande av föroreningar och effektiv luftdistribution är andra intressanta uppgifter som bör undersökas. Den vetenskapliga ansatsen bör omfatta både systemnivån och detaljerade undersökningar av subjektiva behov och objektiva mått i lokaler.

Inom vissa landsting har anmärkningsvärda resultat uppnåtts avseende energieffektivisering. Som exempel kan nämnas Landstinget Dalarna där energianvändningen för uppvärmning mer än halverats på 90-talet. Strategiska investeringar har genomförts i kombination med långsiktigt konsekvent optimering av driften av installationer. Insatserna har fokuserats genom ledningens medverkan via målstyrning, uppföljning och premiering av driftorganisationens resultat. Erfarenheterna har via seminarier spridits till kollegor, myndigheter och bl. a. IVA. Resultaten har vunnit intresse bland lokala fastighetsägare såväl i Dalarna som i Gävleborg, Södermanland och Uppsala. Nätverk av fastighetsägare som kallas ”energiligor” arbetar för att via en nyckeltalsbank skapa underlag till benchmarking och erfarenhetsspridning bland deltagande företag.

För att uppfylla EU:s åtagande inom ramen för Kyoto-avtalet och att nå nationellt uppställda klimatmål och lokala miljö kvalitetsmål har alltså en energieffektivisering i den befintliga fastighetssektorn stor betydelse. Av yttersta vikt är därför hållbar utveckling av byggd miljö, ökad kunskap avseende människors hälsa och välbefinnande samt miljöpåverkan och resursanvändning. När behoven för människorna i en viss lokal eller byggnad ska definieras måste man söka sig fram till de optimala förhållandena, ibland via kompromisser. Det är först när behoven är kända och översatta till kvantifierbara fysikaliska storheter som det är möjligt att till exempel behovsanpassa ventilation och inomhusklimat.

Ur fastighetsägarperspektiv är det nödvändigt att finna indikatorer som redovisar klimat och komfort i lokaler. Teknisk energieffektivisering drivs ofta långt utan hänsyn till kundkrav och kvalitetskonsekvenser för lokalbrukare och boende. Kvalitetskrav på externt anlitate driftoperatörer nödvändiggör metoder för att mäta och objektivt beskriva den inre miljön som konsekvens av driftoptimering. Fastighetsägare måste också på grund av kraven på

energideklarering av byggnader kunna deklarerat såväl energianvändningen som den inre miljön och yttre miljöpåverkan för sina byggnader.

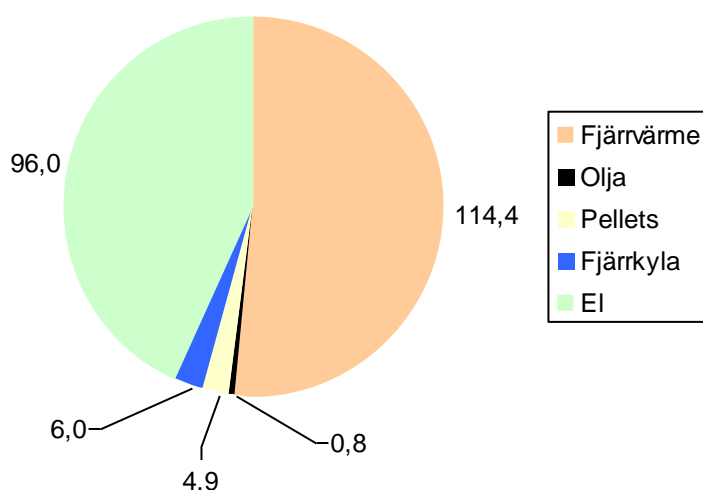
Mot denna bakgrund har avdelningen för Energisystem vid Linköpings universitet och avdelningen för energi- och maskinteknik vid Högskolan i Gävle i samarbete med Landstingen i Dalarna genomfört ett projekt med målsättningen att utveckla en fastighetsanpassad strukturerad metodik för analys av energisystemen i vårdlokaler med deklaration av komfort. Projektet har praktiskt genomförts med kontinuerliga möten, ungefär fyra per år, med referensgruppen som har bestått av representanter för Landstingsfastigheter Dalarna, driftspersonal från Fastighetsteknik Falu lasarett och forskargruppen. Personerna inom forskargruppen har haft ett tätt samarbete under hela projektet. För att sprida resultaten och få ytterligare synpunkter så genomfördes en workshop med representanter för närliggande landsting under hösten 2007.

## 1.1 Energianvändning vid sjukhus

Energianvändningen på sjukhus är speciell i jämförelse med många andra lokaler. Verksamheten bedrivs ofta 24-timmars om dygnet, vilket ger ett karaktäristiskt användningsmönster med höga laster även nattetid. Det finns speciella krav på inomhusklimatet, vilket har lett till en satsning på installationstekniska system med bland annat stora ventilationsflöden. De interna lasterna är också stora, vilket bidrar till uppvärmningen av byggnadskomplexen.

Sjukhus är byggda för att brukas under lång tid, vilket betyder att de kommer att renoveras och byggas om i perioder, inom ramen för den ursprungliga konstruktionen. Den långa livslängden ger möjlighet att satsa på energieffektiva system med något högre investeringskostnad men med lägre livscykelkostnad i jämförelse med vad som i allmänhet installeras.

Sjukhus i Sverige använder idag 222 kWh/m<sup>2</sup> och år, enligt den senaste statistiken (STEM, 2008). Fördelningen på olika energislag redovisas i figuren nedan.



**Figur 1-1. Specifik energianvändning per area i svenska sjukhus [kWh/m<sup>2</sup>]. 4,1 kWh/m<sup>2</sup> av elanvändningen är elvärme (STEM, 2008).**

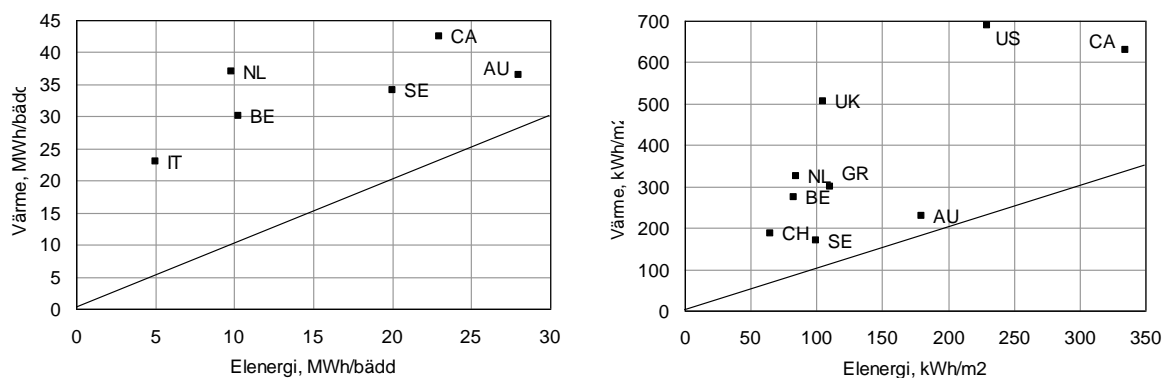
Ungefär 37 % av elanvändningen kan hänföras till fläktel. Den andra stora posten är belysning som står för 24 % av elbehovet. Övrig fastighetsel (hissar, pumpar, cirkulationsfläktar) står för knappt 8 %, kyla för drygt 4 %, medicinsk verksamhet för ca 5 %

och kontorsutrustning samt tryckluft och motorvärmare etc. står för knappt 11 % av total tillförd el vid sjukhus och större vårdcentraler.

Den främsta energianvändningen vid sjukhus kan därmed hänföras till uppvärmning (värme), ventilation (el) och belysning (el). Ventilationen påverkar även uppvärmningen eftersom varm inomhusluft ersätts med kall utomhusluft som måste värmas upp.

En jämförelse mellan sjukhus i olika delar av världen sammanställdes 1996 (Jakélius, 1996), där även erfarenheter från energieffektiviseringsåtgärder vid sjukhus redovisades. Siffrorna visade årliga medelvärden för värme respektive elenergi fördelat per bädd och per bruttoarea för det typiska sjukhusbeståndet i respektive land (se figurer nedan). Det är stor variation mellan olika länderna, vilket bland annat förklaras med sjukhusstandarden i de olika länderna, storleken på sjukhus (sjukhusen i Kanada är i genomsnitt mindre än i de andra länderna), elpriser, samt i vissa fall klimat (Jakélius, 1996). Det märks också att fördelningsnyckeln spelar roll i hur resultaten tolkas då Sverige hamnar på en bättre placering, relativt övriga länder när energin fördelas per kvadratmeter istället för per bädd.

**Fel! Bokmärket är inte definierat.**



Figur 1-2. Årliga medelvärden för värme- och elenergi olika länder fördelat per bädd (vänster) respektive bruttoarea (höger) (Jakélius, 1996).

## 1.2 Syfte

Projektets syfte är att

- beskriva en fastighetsanpassad strukturerad metodik för analys och optimering av energisystemen i byggnader med specifik tillämpning på vårdlokaler
- identifiera kvalitetsparametrar och mätmetod för behovsanpassat inomhusklimat i lokalerna som tillfredställer både vårdpersonalen och patienterna
- metodiken skall ligga till grund för att kunna deklarerera energi/komfort i en komplex fastighetsstruktur, typ sjukhus
- skapa underlag för en nyckeltalsbank för benchmarking via energinätverk bland fastighetsägare

Huvudsyftet med projektet är att redovisa en systematik för effektivisering och optimering av drift och skötsel av existerande installationstekniska anläggningar och ange strategiska funktioner vid investeringar i nya anläggningar med hänsynstagande till inomhusmiljö och komfortkrav från brukarna av vårdlokaler. Metodiken skall möjliggöra en förändrad syn på målsättningen för energieffektivitet i kombination med inneklimat. Angreppssättet utgår från systemnivån, men förutsätter mätning och uppföljning.

Mer specifikt innefattar projektet att dokumentera och utveckla en fastighetsanpassad strukturerad metodik för analys av energisystemen och komfort i specifikt vårdlokaler som tar hänsyn till driftoptimering av befintliga installationer med konsekvensbeskrivning av innemiljö och yttre miljöpåverkan. Denna metodik skall vara generell för vårdlokaler och kunna användas även av övriga lokalhyresvärdar, men också kunna anpassas för varje fastighets särskilda förutsättningar. Avsikten är främst att fokusera på att finna systemfel och att successivt effektivisera systemen. Felaktigt utformad energianvändning åtgärdas med ökad lönsamhet som följd. Helhetssyn på installationstekniska anläggningar ska gälla, vilket innebär att helheten är viktigare än delarna. Detta innebär också att alla ingående delar, såväl ventilation, värme, klimatkyla, belysning, datorer och apparater ska ingå. Landstingsfastigheters tidigare erfarenheter och pågående arbete inom energieffektivisering, miljö, hälsa och säkerhet tas tillvara i detta projekt. Metodiken ska kunna ge underlag för Energideklarationer per fastighet likaväl som Komfortdeklaration av lokaler. Vunna erfarenheter med praktisk energieffektivisering vid flertalet landsting kommer med projektet att systematiseras och metodiken dokumenteras.

Ett viktigt syfte med projektet är att arbetet skall leda till ökat fokus på energieffektivitet i landstingen och att detta också ökar kraven på att den utvecklade metodiken används tack vare ökad jämförbarhet. Kunskap om systemanalyser av energisystem sprids inom landstingen. Även andra fastighetsägare kan dra nytta av metodiken.

### **1.2.1 Avgränsning**

Metodiken är begränsat till att i första hand tillämpas på vårdlokaler, men kan givetvis användas som mall för strukturerad energieffektivisering i andra typer av fastigheter. Länssjukhuset i Falun är demonstrationsobjekt för denna studie. Genomförande av kartläggning och förändringar på prov har endast berört del av våningsplan 3 i hus 11 på Falu lasarett. De aktuella vårdavdelningarna är valda utifrån att patienterna spenderar relativt lång tid där och har mestadels fysiska handikapp (till exempel vård efter operation). Sjukhusavdelningar kan kategoriseras efter deras förutsättningar och hur ansträngande arbetet är. Därför ställs olika krav på inomhusklimatet i ett sjukhus. Arbetet har endast berört vårdavdelningar det vill säga lokaler där behandling och vård sker av patienter. Dessa typer av avdelningar har hög personalintensitet och patienter spenderar en stor del av sin tid här under sin sjukhusvistelse (Dilani, 1998). I detta arbete ingår ej operationssalar, laboratorier, intensivvårdavdelningar eller andra lokaler med speciella krav. Det förutsätts att byggnaden har en välfungerande byggnadskonstruktion, ej utsatt för allvarliga fuktskador och höga halter av emissioner från byggnadsmaterial. Komfort- och inomhusmiljökonsekvenser vid åtgärder är begränsade till termiska- och luftkvalitetkonsekvenser.

## **1.3 Tidigare studiers metodik, litteraturöversikt**

Det är ont om studier som fokuserar på både inomhusklimat och energieffektivisering av vårdlokaler. En litteratursökning bland vetenskapliga artiklar ger ett begränsat resultat. Vanligast ligger fokus på energieffektiviseringsåtgärder och förändrade tillförselsystem till sjukhusen. Eftersom syftet med detta projekt är att visa på en metodik som kan användas för att effektivisera energianvändningen vid sjukhus har de studier som fokuserar på energikartläggning och analys av sjukhusbyggnader i vid mening därför studerats närmare.

Inom ramen för Energimyndighetens arbete med förbättrad energistatistik inom bebyggelsen genomfördes under 2006-2007 en inventering av energianvändningen i 159 vårdbyggnader i 26 kommuner (STEM, 2008). Syftet med studien var att ta fram energistatistik och beskriva

fördelningen av energianvändningen på olika funktioner i byggnaderna, stort fokus ligger på att kvantifiera och bedöma effektiviseringspotentialen för elanvändningen. Undersökningen genomfördes genom att mäta totalt tillförd energi till byggnaden med intervall om en timme under fem till tio dagar. Mätningen kompletteras med en inventering av eldriven utrustning i byggnaden och schablonvärden för elbehovet. Inventeringen görs i samråd med driftpersonal för att få en bild av drifttiden för utrustningen. Resultaten redovisas dels i absoluta tal, dels per kvadratmeter samt per årsanställd i byggnaden. I den avslutande diskussionen konstateras att det är svårt att finna ett bra fördelningsmått för energianvändningen (STEM, 2008)

Ett exempel på energikartläggning av vårdlokaler hämtat från Grekland redovisas i en artikel från 1994 (Santamouris et al., 1994). Studien grundar sig på kartläggning av 30 vårdbyggnader där beskrivning av byggnadens konstruktion, värme- och kylsystem, varmvattensystem samt elanvändning (belysning, utrustning etc.) sammanställts. Energianvändningen för respektive byggnad mättes på månadsbasis för el och bränslen. Resultaten redovisas i årligt energibehov per kvadratmeter.

I ett examensarbete vid Lunds tekniska högskola studerades energieffektivisering av två vårdbyggnader vid Lunds universitetssjukhus (Carmonius & Pålsson, 1999). Syftet med arbetet var att inventera energianvändningen i byggnaderna och ge förslag på energieffektiviseringsåtgärder. De studerade byggnaderna innehåller en infektionsklinik samt en ögonklinik. Analysen startade med inventering av installationstekniska system och konstruktion av byggnaderna. Mätningar av värmeenergi genomfördes på dygnsbasis under tre veckor. Eleffektbehovet mättes med en samplingstid om en minut från vilka medelvärdet under 15 minuter sparades under mätperioden som varade i en vecka. Resultaten redovisas i total energianvändning samt energianvändning per kvadratmeter.

Energianvändningen vid sjukhusen i Norrbottens läns landsting har studerats i ett examensarbete vid Luleå tekniska universitet (Estola & Jonsson, 2001). Syftet med arbetet var att sammanställa åtgärder och erfarenheter från de olika sjukhusen i länet, vilket uppfylldes genom att sammanställa energianvändningen för ventilation, värme och kyla, styr- och regler, belysning och motorvärmare. Uppgifter kring detta baserades på uppgifter från respektive sjukhus via deras interna redovisning samt genom intervjuer med driftpersonal på plats. I examensarbetet redovisas energibehov för el respektive värme på årsbasis, dels i absoluta tal, dels per kvadratmeter.

Forskning kring inomhusklimat i sjukhus är mestadels 10 till 20 år gammal, varav mycket begränsat är gjort kring klimatkrav för vårdlokaler. Optimering av inomhusklimat i sjukhus är komplext eftersom sjukhusbyggnader rymmer mer än en enhetlig grupp av brukare. Kartläggning av inomhusklimat i sjukhus kan normalt göras genom teknisk mätning av fysikaliska variabler samt med enkäter angående upplevelsen av inomhusmiljön och besvär av symtom. MM-040 NA Sp4 enkäten är utvecklad av Arbets- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro och är idag ett standardiserat formulär för fältundersökning av människors upplevelse av inomhusklimatet i sjukvårdsinrättningar (Andersson et al., 2008). MM-enkäterna lämpar sig dock ej som frågeformulär till patienter i sjukhus eftersom de vistas under relativt kort tid i byggnaden. De standardiserade MM-enkäterna utgör en basal del i den så kallade Örebromodellen (Andersson och Stridh, 1990). Strategin går ut på att man går fram i steg och systematiskt genomför och utvärderar planerande och insatta åtgärder. Första steget utgör inventering av installationstekniska system, konstruktion av byggnaderna och diskussion med brukare. I steg två genomförs enkätundersökning samt grundläggande tekniska mätningar som till exempel luftflöden, lufttemperatur och relativ fuktighet. Ifall

behov finns kan ett ytterligare steg genomföras, innehållande mer avancerade fysikaliska, kemiska, eller biologiska mätningar som till exempel luftsammansättningsanalys.

I en nyligen publicerad doktorsavhandling vid Chalmers tekniska högskola studerades inomhusmiljön och hur den upplevs i fyra sjukhus i Sverige (Ekbom, 2007). Syftet med arbetet var undersöka hur personal och patienter upplever inomhusklimat samt att försöka översätta behoven hos de olika kategorierna av människor till objektiva mätvärden och därigenom upprätta målvärden för inomhusklimatet. Frågeformuläret var baserat på ISO 10551 (1995) och lämpade sig både för personal och för patienter. Resultaten visar lite överraskande på att båda grupperna var nöjda med temperatur på ca 22-23 grader, trots stora skillnader på aktivitetsnivå mellan grupperna.

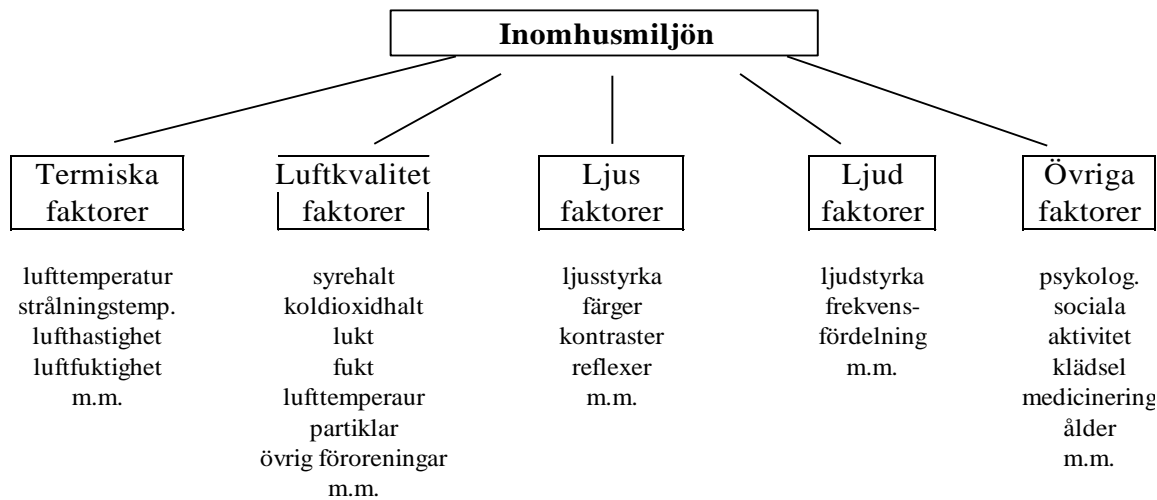
Exempel på studier av termiskt klimat i sjukhus med hjälp av byggnadssimuleringsprogram redovisas i en artikel från 2002 (Anthony, 2002). Studien visar på möjligheten till att förbättra termiska komforten inomhus i en sjukhusbyggnad belägen i Sri Lanka genom användning av byggnadssimuleringsprogram.

En studie som inte studerar sjukhus men är intressant då den studerar brukarnas upplevelse av byggnaden och dess energianvändning är ett projekt från Storbritannien där målet var att förbättra driften i befintliga byggnader för att bättre uppfylla de önskemål som fanns hos hyresgästerna samt minska miljöpåverkan från byggnaden (Cohen et al., 2001). Metoden som beskrivs, börjar med en första rundvandring där tillgänglig data som beskriver fastigheten, dess energibehov samt utrustning i den (kontorsutrustning etc.) samlas in. Under den första rundvandringen genomförs initiala mätningar. Mätutrustning för att kunna mäta, elanvändning, ljus, temperatur och fuktighet samt en kamera finns tillgänglig under rundvandringen. Inom ramen för utredningen distribueras en enkät innehållande frågor rörande personens bakgrund (ålder, kön etc.), inomhusklimatparametrar (temperatur, luftfuktighet, luftkvalitet, belysning, ljud, hälsa etc.), personlig kontroll över värme, kyla, belysning etc. samt respons hos hyresvärderna vid eventuella klagomål. Samtidigt som enkäten genomförs en energikartläggning. Författarna tar upp att det är viktigt att se förändringar i energianvändningen och dess koppling till inomhusklimatet samt aktiviteten i lokalen.

## 2 Inomhusklimat

I vårdlokaler kommer energianvändningen i underordnad betydelse gentemot medicinska krav. Kraven på inomhusklimatet måste vara högre än för andra byggnader, såsom bostäder och kontor, i och med ökad risk för infektion och prioritet för tillfriskning av patienter. Byggnaden skall vara utformad på sådant vis att spridning av föroreningar via luftflöden inom byggnaden kan minimeras. I operationssalar och intensivvårdsavdelningar tillkommer andra krav som strikt luftfiltrering och vidhållning av övertryck för att förhindra förekomsten av skadliga partiklar.

Människans välbefinnande och upplevelse av inomhusmiljön påverkas av en mängd olika faktorer, se figur 2-1. Hur den fysiska miljön upplevs beror ej endast på fysiologiska faktorer utan även på psykologiska och sociala faktorer. Begreppet inomhusklimat brukar användas som en samlande benämning på de fysiska inomhusmiljöfaktorerna: termiskt klimat, luftkvalitet, ljusnivå, ljudnivå, vilka i sin tur består av flera underfaktorer. Alla dessa faktorer måste nogtas i akt för att kunna skapa en stimulerande och hälsosam miljö.



Figur 2-1. Faktorer som påverkar människors uppfattning av inneklimatet.

För att skapa ett behagligt termiskt klimat och en god luftkvalitet i en byggnad krävs klimatstyrande installationer. De klimatstyrande systemens funktion och uppbyggnad bestäms av bland annat:

- kravnivå på inneklimatet
- verksamhet som bedrivs i byggnaden
  - o intern värmealstring
  - o föroreningsalstring
- yttre klimatet
- byggnadstekniska utformningen
  - o solavskärmning
  - o U-värden på konstruktionsdelar
  - o otätheter

Vid val av kostnadseffektiva energiåtgärder krävs inte bara kännedom om byggnadens utformning utan också insikt om de samband och faktorer som påverkar inomhusklimatet.

Särskilt vid energibesparingsåtgärder på de klimatstyrande systemen är det av stor vikt att driftpersonal har insikt i anläggningens funktion och nödvändiga kunskaper för att sköta anläggningen. Detta för att säkerställa energieffektiv drift samt säkerställa ett inneklimat som är i överensstämmelse med de krav som ställs.

## 2.1 Termiskt klimat

Termisk komfort definieras som det tillstånd då människor är tillfreds med den termiska omgivningen, det vill säga känner sig i termisk neutralitet utan att önska varken varmare eller kallare omgivning. Avgörande för värmeutbytet mellan en människa och hennes omgivning är främst luftens temperatur, luftens hastighet och riktning, strålning till och från ytor, relativ fuktighet samt aktivitetsnivå och klädsel. Utöver dessa klimatparametrar används även begreppet drag (ofrivillig lokal avkylning) för att beskriva det termiska klimatet. Vanligtvis brukar hastighet överstigande 0.15 m/s betraktas som obehag i form av upplevelse av drag. Andra problem av denna art kan orsakas av allt för kalla golv eller för stora vertikala temperaturgradienter.

Ofta brukar man använda sig av den operativa temperaturen istället för lufttemperatur då den sammanväger luftens temperatur och medelstrålningstemperaturen mot omgivande ytor.

### 2.1.1 PMV

Vid värdering av termiska klimatet uppstår problem att sätta gränser eftersom upplevelsen är subjektiv. Predicted Mean Vote (PMV) är ett index som för olika kombinationer av klimatvariabler gör det möjligt att förutsäga hur missnöjda en stor grupp av människor genomsnittligt är vid en viss typ av inomhusklimat.

PMV-index utgår från att upplevelsen av det termiska klimatet definieras genom en sjugradig enkätskala enl. SS-EN ISO 7730.

Kall	Kyligt	Något kyligt	Neutral	Något varm	Varm	Mycket varm
-3	-2	-1	0	1	2	3

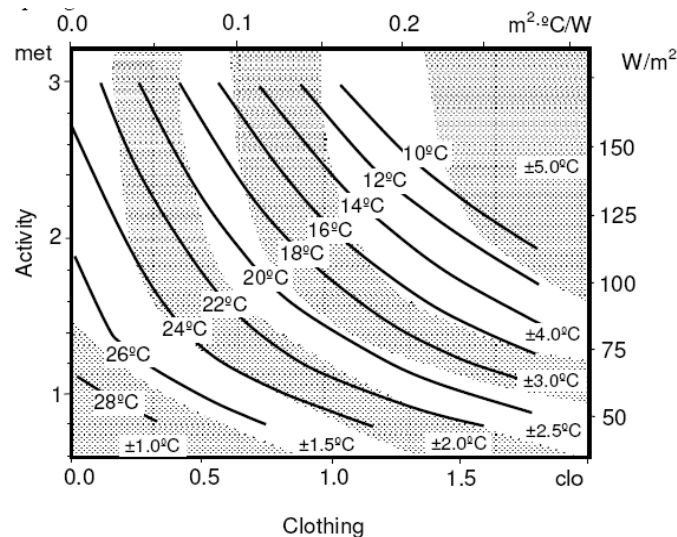
Det numeriska medelvärdet från en grupp människor visar, i skalan ovan, på hur stort missnöjet med det termiska klimatet är.

### 2.1.2 PPD

Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) är ett jämförelsetal och ger en kvantitativ förutsägelse av hur stor del av en grupp människor som är missnöjda vid ett visst termiskt klimat. Ett perfekt klimat för alla går inte att skapa. Det lägsta värdet är 5 % otillfredsställda. Detta beror till stor del på individuella skillnader mellan människor. Enligt internationella rekommendationer ska antalet otillfredsställda hållas under 10 % (SS-EN ISO 7730).

För att bestämma krav beträffande termiskt klimat kan målvärden för den operativa temperaturen bestämmas genom PMV och PPD enligt SS-EN ISO 7730. Lämpligt temperaturintervall bestäms av brukarnas aktivitetsnivå och vilken värmeisolerande förmåga deras kläder har. Figur 2-2 visar ett diagram för att bestämma lämplig intervall för den operativa temperaturen. De växelvis skuggade fälten visar tillåten temperaturvariation mot bakgrund av ett missnöje på 10 %.





**Figur 2-2. Målvärde för den operativ temperaturen (PMV=0) som funktion av aktivitet (met) och beklädnad (clo). Diagrammet motsvarar PPD<10%, enligt SS-EN ISO 7730, vid lufthastighet på högst 0.1 m/s.**

## 2.2 Luftkvalitet

Vad avser luftkvalitet är osäkerheten större när det gäller människors upplevelse än för termiskt klimat. Dock är det otvivelaktigt att kvaliteten hos inomhusluften är av stor vikt för komforten och prestationsförmågan. I sjukhus måste det ställas höga krav på luftkvaliteten p.g.a. ökad risk för infektioner (Montz, 2003). I samband med SBS (Sick building Syndrome) och allergiska luftvägssjukdomar som astma framstår luftens kvalitet som mest betydelsefull. SBS utgör ett samlingsbegrepp för ett antal olika symtom som kan uppträda i samband med vistelse i en byggnad. Vanliga SBS-symtom är trötthet, huvudvärk, ögonbesvär, halstorrhet och hudbesvär. SBS-symtom drabbar i första hand personer som är känsligare än andra, eller personer som är temporärt mer känsliga än normalt.

Luftens kvalitet inomhus bestäms av förekomsten och styrkan av olika interna föroreningskällor, luftflödesmängden, hur effektiv ventilationen är, samt föroreningar som tillförs byggnaden utifrån. Avgörande för luftkvaliteten är således föroreningsbelastningen och ventilationssystemets funktion. Missnöje med inomhusluftens kvalitet kan därför ej endast förklaras med att ventilationen är felaktig, utan kan förklaras med att verksamheten i lokalen har ändrats efter projekteringen (förutsatt att projekteringen är korrekt).

Korrekt utformning av ventilationssystem är en förutsättning för att lokalerna ska ventileras effektivt och därigenom minska risken för förhöjda föroreningskoncentrationer. Även överskottsvärme kan betraktas som en förorening. Generellt gäller att luft upplevs "friskare" och mindre instängd vid låga temperaturer. Ventilationseffektivitet och luftutbyteseffektivitet är två olika begrepp som används för att beskriva hur effektiv ventilationen är. Dessa två begrepp beror på ett flertal olika parametrar:

- Till- och frånluftsdonens placering.
- Typ av don.
- Tilluftshastighet.
- Temperaturskillnad mellan till- och frånluft.
- Förekomst av störningar t ex värmekällor, aktivitet etc.

Se Appendix 1 för mer information angående ventilationseffektivitet och luftutbyteseffektivitet.

Riktlinjer för god luftkvalitet inomhus har under åren ofta specificerat högsta acceptabla halter av en lång rad luftburna föroreningar, såsom dammhalt, CO, CO<sub>2</sub>, flyktiga organiska föreningar, mikroorganismer. Det är dock mycket sällsynt med funna entydiga korrelationer mellan föroreningshalter och symtomutfall för det lågdosområde som människor i icke-industriella lokaler vanligen utsätts för. För människogenererande föroreningar (s.k. bioeffluenter) används ofta koldioxidhalt som indikator. Studier visar att för större populationer är antalet otillfredsställda brukare 14 % om alla personer utsätts för en koldioxidhalt på 800 ppm (Ekberg, 1992).

### **2.2.1 "Torr luft"**

Luftfuktighetens inverkan på upplevelsen av inomhusklimatet kan anses välkänd. Mer oklart är däremot vilka hälsoeffekter luften kan ge upphov till, framförallt effekterna av mycket låg luftfuktighet vilket är under vintern för sjukhus i Sverige. Hög fuktighet inomhus framförallt under vintern är en klar riskfaktor för tillväxt av kvalster och mikroorganismer samt förhöjda halter av formaldehyd. Vid låg luftfuktighet finns indikationer på att vissa bakterier och virus har förbättrad överlevnad. Klagomål på torr luft är vanligt förekommande i byggnader, framförallt sjukhus (Ekbo, 2007; Hellgren och Reijula, 2006). Studier har visat att upplevelsen av "torr luft" oftare beror på att luften är förorenad, för varm samt icke optimal ventilationsmängd än på att den är fysikaliskt torr (Sundell et al., 1993; Norlén och Andersson, 1993; Andersson, 1997; Göthe et al., 1987; Sandlund, 1988). Symptom på torr luft bör främst bekämpas med andra metoder än luftbefuktning. Den viktigaste och sannolikt effektivaste åtgärden för att reducera upplevelsen av torr luft är att sänka lufttemperaturen där så är möjligt. Det är också viktigt att optimera luftflödena och att se till att luften förorenas så lite som möjligt. Effektiv städning förhindrar höga halter av dammpartiklar i luften. Generell luftbefuktning kan medföra sidoeffekter som tillväxt av dammkvalster, mikroorganismer och för SBS (Burge et al., 1987; Sundell et al., 1993).

## **2.3 Klimatkrav**

Att definiera ett inomhusklimat i en byggnad har en avgörande betydelse för inneklimateinstallationernas utformning och omfattning. Det har givetvis även en stor betydelse för personerna som vistas i lokalerna.

Skriften "R1 – Riktlinjer för specifikation av inneklimatekrav" av VVS Tekniska föreningen utgör underlag för att specificera och värdera inneklimatens kvalitet. Riktlinjerna baseras på krav och råd från svenska myndigheter och gällande svensk standard, samt att de harmoniseras med europeiska standarder inom området. Riktlinjerna är begränsade till två klimatklasser för både det termiska klimatet (TQ1, TQ2) och luftkvaliteten (AQ1, AQ2).

### **2.3.1 Termiskt klimat**

För att uppnå den högst termiska klimatklassen, TQ1, förutsätts att den enskilde brukaren ska individuellt kunna påverka rumstemperaturen i enskilda rum som till exempel kontor. Den lägre klimatklassen TQ2 återspeglar både de grundkrav och de allmänna råd som ges från svenska myndigheter. Klimatklass TQ2 innebär bl.a. att man skall åstadkomma ett termiskt klimat där maximalt 10 % av dem som befinner sig i aktuellt utrymme är missnöjda med komforten enligt SS-EN ISO 7730. För båda klimatklasserna accepteras under sommardag

högre rumstemperaturer i viss utsträckning, under storleksordningen 80 arbetstimmar per år, än vad som normalt anses komfortabelt.

Rekommendationerna i tabellen nedan är inte anpassad för någon specifik typ av verksamhet utan är tänkt att fungera som ett generellt verktyg vid bestämning av lokalers inomhusklimat.

**Tabell 2-1. Målvärden för termisk klimat enligt de senaste riktlinjerna sammanställt av VVS Tekniska föreningen.**

Klimatklass	Klimatparameter	Anmärkning
	<b>Operativ temperatur (°C)</b>	
TQ1 <sup>1</sup> , TQ2	Intervall så att PPD<10%	Vid temperaturer över 27°C accepteras att rumstemperaturen hålls 3°C lägre än utomhustemperaturen
	<b>Golvtemperatur (°C)</b>	
TQ1 TQ2	22 - 26 20 - 26	
	<b>Vertikal temperaturgradient (°C/m)</b>	
TQ1 TQ2	<2 <3	0.1m - 1.1m över golvet 0.1m - 1.1m över golvet
	<b>Strålningstemperaturasymmetri (°C/m)</b>	
TQ1, TQ2 TQ1, TQ2	<5 <10	Tak - golv Fönster - motsatt vägg
	<b>Lufthastighet i vistelsezonen (m/s)</b>	
TQ1 TQ2	<0.10 vid T <sub>luft</sub> = 20 <0.15 om T <sub>luft</sub> = 26 <0.15 vid T <sub>luft</sub> = 20 <0.25 om T <sub>luft</sub> = 26	Värdena förutsätter avsaknad av kallstrålning

<sup>1</sup>kräver möjlighet till individuell rumsreglering av klimatet.

### 2.3.2 Luftkvalitet

Enligt de senaste riktlinjerna klassas luftkvaliteten i en lokal med hänsyn till rumsluftens koldioxidhalt, se tabell 2-2. För båda klasserna gäller att hygienluftflöden samt högsta tillåtna koncentrationen av luftburna föroreningar följer myndigheternas krav och allmänna råd. Tabell 2-3 visar en sammanställning av råd från svenska myndigheter och andra organisationer.

**Tabell 2-2. Målvärden för luftkvalitetsklasserna.**

Klimatklass	Klimatparameter	Anmärkning
	<i>Koldioxidhalt</i> (ppm)	
AQ1	ej varaktigt över 800 ppm	ca 400 ppm över utomhusluften
AQ2	ej varaktigt över 1000 ppm	ca 600 ppm över utomhusluften

**Tabell 2-3. Krav och råd beträffande högsta tillåtna föroreningskoncentrationer i lokaler för att reducera risk för ohälsa.**

Förorening	Beteckning	Enhet	Högsta koncentration
Radon	Rn	Bq/m <sup>3</sup>	200
Kolmonoxid	CO	mg/m <sup>3</sup>	2
kvävedioxid	NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	40
Ozon	O <sub>3</sub>	µg/m <sup>3</sup>	50
Formaldehyd	HCHO	µg/m <sup>3</sup>	50
Totalhalt flyktiga organiska ämnen	TVOC	µg/m <sup>3</sup>	300
Luftburna partiklar<10µm	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>	40
Luftburna partiklar<2,5µm	PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup>	15

### 2.3.3 Klimatkrav vårdlokaler

I dagens svenska krav och rekommendationer gällande inomhusklimatet saknas nästan helt specifika krav för vårdlokaler. Det är svårt att använda dagens generella krav och rekommendationer till en grupp människor med olika förutsättningar. Patienter och personal på en vårdavdelning skiljer sig åt främst vad gäller aktivitet, men även klädsel, fysiska förutsättningar och ålder. Medicinering kan också påverka metabolismen hos patienter (Parsons, 2002). Patienter med olika åkommor som befinner sig på samma avdelning kan ha olika uppfattning om inomhusklimatet (Buskirk and Loomis, 1977; Fanger, 1977; Wang and Peterson, 1995). Kravet på max 10 % missnöjda med termisk klimatet kan, mot bakgrund av tidigare redovisning, med största sannolikhet inte uppfyllas i en vårdlokal där två grupper av människor, med olika förutsättningar, vistas. Studier utförd av Ekbom (2007) visar att den mest optimala operativa temperaturen inomhus i vårdlokaler, med utgångspunkt från personers aktivitets- och klädselnivå, ligger 3 till 7 grader lägre för personal än för patienter. Dock visar samma studie överraskande att dessa två brukargrupper hade överlag samma positiva uppfattning om det termiska klimatet. Resultaten från ett antal vårdavdelningar visar lite överraskande på att båda grupperna var nöjda med lufttemperatur mellan 21,5 -23 grader, trots stora skillnader på aktivitetsnivå mellan grupperna. Slutsatser från studierna var att optimala operativa temperaturen i vårdlokaler ligger på 22 grader vintertid och 23 grader sommartid. Mätningar i fyra vårdavdelningar visar även att lufttemperaturer var i det närmast identisk med operativa temperaturen (Ekbom, 2007).

För sjukhus kan förväntas att människogenererande föroreningar tillsammans med värme är de kritiska föroreningarna. Det är låg risk för höga halter av luftburna partiklar och gasformiga föroreningar, som till exempel dammpartiklar och VOC, eftersom byggnaderna har höga luftomsättningar (Ekbom, 2007). Men för att luften i vårdlokalerna, där astmatiker

och allergiker vistas, ska vara acceptabel bör det i korridorer och trapphus finnas mekanisk tilluft. Tilluften bör passera ett partikelfilter med avskiljningsgrad 80-90 % vilket motsvarar lägst EU-klass 7.

Nedan följer förslag på klimatkrav och råd gällande vårdlokaler. Optimal operativa temperaturen är anggett enligt riktlinjer från doktorsavhandlingen av Ekbohm (2007). Det övriga termiska klimatparametrarna är satt att uppfylla TQ2, medan luftkvaliteten är satt till AQ1 klassen. Att uppnå TQ1 i vårdlokaler anses som mycket svårt samt kostsamt. När det gäller luftkvaliteten gäller även att tillåtna koncentrationen av luftburna föroreningar följer myndigheternas krav och allmänna råd, se tabell 2-3. Ofta brukar rekommenderas luftfuktighet i lokaler mellan 30 – 60 %, men här definieras inget lägsta värde för luftfuktigheten eftersom det då kräver luftbefuktning under stora delar av året. För krav angående ljud och ljus se gällande version av SS 025268, SS-EN 12464-1 samt SS-EN 12665.

**Tabell 4. Förslag på målvärden för vårdlokaler.**

Klimatparameter	
<b>Operativ temperatur (°C)</b>	
Vinter	
-högsta värde	25
-optimalt värde	22
-lägsta värde	21
Sommar	
-högsta värde	26
-optimalt värde	23
-lägsta värde	22
<b>Golvtemperatur (°C)</b>	
högsta värde	26
lägsta värde	20
<b>Vertikal temperaturgradient (°C/m)</b>	
0.1m - 1.1m över golv	3
<b>Strålningstemperaturasymmetri (°C)</b>	
Tak - golv	<5
Fönster - motsatt vägg	<10
<b>Luft hastighet i vistelsezonen (m/s)</b>	
Om T <sub>luft</sub> = 20	<0.15
Om T <sub>luft</sub> = 26	<0.25

Klimatparameter	
<b>Luftfuktighet (%)</b>	
högsta värde	60
lägsta värde	-
<b>Koldioxid</b>	
Högsta värde	800
<b>Luftutbytetseffektivitet (%)</b>	
lägsta värde	40%
<b>Luftflöden</b>	
allmänna lokaler	0.35 l/s,m <sup>2</sup> + 7 l/s, person
vårdrum	10 l/s, person *
behandlingsrum	8 l/s, person **
toaletter	10 l/s

\* AFS 01:7

\*\* SBN 80



## 3 Verktyg och modeller

Vid studier av inomhusklimat och energianvändning krävs kunskap om hur olika parametrar varierar över tid. I vissa fall är det lämpligt att bygga upp modeller för att kunna simulera hur olika åtgärder kan komma att påverka både inomhusklimatparametrar samt energi- och effektbehov. För att kunna ta fram tillförlitliga modeller måste det finnas möjlighet att jämföra med uppmätta värden. Nedan redovisas översiktligt hur dessa parametrar kan samlas in.

### 3.1 Mätmetoder

De parametrar som är av störst intresse vid en kartläggning av energi och inomhusklimat är temperaturer, luftkvalitet samt el och värme. Här används CO<sub>2</sub> och inomhusklimatenkäter som mått på luftkvalitén.

#### 3.1.1 Temperatur och fukt

Genom att mäta temperaturen på olika platser och under olika tider får man en uppfattning om temperaturfördelningen på avdelningen samt hur temperaturen varierar över dygnet. Detta kan sättas i relation till resultatet av andra mätningar. Temperaturen kan mätas som lufttemperatur eller som operativa temperatur. Den senare beskriver ett medelvärde av lufttemperaturen och strålningstemperaturen. Inom detta projekt har lufttemperaturen mätts under längre tider med Tinytag logger (se bild till höger). Momentan mätning av lufttemperatur har genomfört med multifunktionsinstrumentet Testo 435.



#### 3.1.2 El

På sjukhusnivå kan elanvändningen över tid erhållas från nätbolaget. Vid detaljerade mätningar används så kallade strömtänger som kopplas till minst en av faserna på respektive matningspunkt och där mäter strömmen. Den uppmätta strömmen multipliceras med momentan uppmätt spänning och korrektionsfaktor för reaktiv effekt.

#### 3.1.3 Värme

I de fall värmebehovet mäts via driftövervakningssystemet är det möjligt att logga mätvärden. I många fall är det möjligt att få tillgång till månadsvärden av värmebehovet på byggnadsnivå. Mer detaljerade mätningar, både vad gäller tidsupplösning och uppdelning av byggnader i mindre enheter, kräver ofta mätning av temperaturdifferens och flöde av värmemediet.

#### 3.1.4 Lufthastighet

Mätning av lufthastigheter i lokaler har genomförts med varmtrådsgivare kopplad till multifunktionsinstrumentet Testo 435. Genom att mäta lufthastigheten på olika platser och under olika tider får man en uppfattning om risken för drag. Anemometer har också används för att bestämma luftflöden i kanaler. Varmtrådsgivare tillsammans med stös användes för flödesmätning av frånluftsdon.

### **3.1.5 Luftkvalitet**

Genom att mäta koldioxidhalten på olika platser och under olika tider får man en uppfattning om ventilationens anpassning till verksamheten på avdelningen. Mätning koldioxidhalt har genomförts med en IAQ multifunktionsgivare, vilket förutom CO<sub>2</sub>-halt mäter luftfuktighet och absoluttryck.

### **3.1.6 Inomhusklimatenkäter**

MM-040 NA Sp4 -enkäten har används för kartläggning av personalens upplevelse och symtom. MM-040 NA Sp4 är utvecklad av Arbets- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro och är idag ett standardiserat formulär för fältundersökning av människors upplevelse av inomhusklimatet i sjukvårdsinrättningar. I och med att enkäten är standardiserad finns referensdata att jämför med.

Eftersom enkäten baserades på hur personalen uppfattat inneklimatet senaste året, beslutades att en ny enkätundersökning med några få precisa frågor skulle utformas. Tanken var att personalen samt patienter skulle rapportera hur de momentant uppfattar inneklimatet för ett vinterfall samt senare ett sommarfall. Se Appendix 5 för information angående denna enkätundersökning.

## **3.2 Insamling av andra uppgifter**

Andra uppgifter som behövs för att möjliggöra analys av energianvändningen och fördela energianvändningen på olika parametrar sammanställs utifrån uppgifter från personal vid sjukhuset. Exempel på sådana uppgifter är antal anställda, antal bäddar, antal patienter.

Uppgifter om byggnadens konstruktion är förhoppningsvis möjligt att ta del av via ritningar. I annat fall används schablonvärden eller byggnadspraxis från den aktuella perioden.

## **3.3 Simuleringsmodeller**

En simulering av en byggnad möjliggör att undersöka hur olika åtgärder påverkar energianvändning och inomhusklimatparametrar innan åtgärden genomförs i praktiken.

Ett dynamiskt energisimuleringsprogram löser effektbalansen för en byggnad under ett antal tidssteg. En byggnads effektbalans består av ventilationsförluster, transmissionsförluster (ledning) genom väggar och tak, förluster genom läckor i fönster, väggar och tak (så kallad infiltration), samt tillförsel av interna effekter, solljus, uppvärmning och kylning. En modell innebär alltid förenklingar av verkligheten, vilket påverkar resultatet av simuleringen. Resultatet måste därför verifieras mot kända värden, i detta fall uppmätta temperaturer och energibehov. De energisimuleringsprogram som har används i denna studie är IDA ICE 3.0 och ESP-r (Environmental System Performance, research edition, v. 11.4), se Appendix 2 för mer information angående indata till modellerna.

CONTAM är ett simuleringsprogram för analys av luftkvalitet och ventilation.

Simuleringsprogrammet kan användas för att beräkna bl.a. infiltration, rum-till-rum luftflöden inuti en byggnad, föroreningskoncentrationer och luftens lokala medelålder. CONTAM har i denna studie används för att analysera luftströmmar och luftens lokala medelålder.



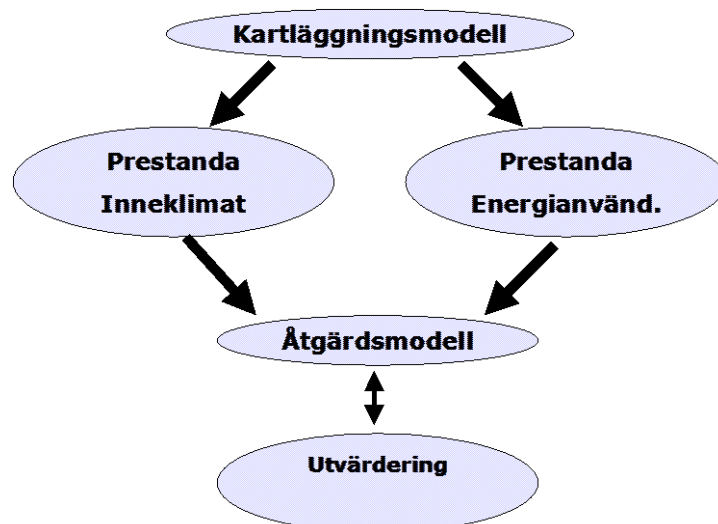
## 4 Strukturerad metodik

Vid större förändringar i en installationsteknisk anläggning finns stora möjligheter att få med energieffektivitet och bättre inomhusmiljö som viktiga faktorer. Dessa strategiska investeringar i nya anläggningar innebär en möjlighet att kraftigt reducera framtida energianvändning och energikostnader samt att minska påverkan på den yttre miljön och tillhandahålla bra inomhusluft och god komfort för anställda och patienter.

Genom att studera vårdlokaler, som har mycket komplexa byggnader, kan erfarenheter vinnas om hur tekniska system samverkar med brukarnas behov. Denna studie kan öka insikten om installationstekniska anläggningars energianvändning och förbättringsmöjligheter och samspelet mellan olika delar i systemet. Investeringar i energieffektivitet får inte ses var för sig utan måste ses som en möjlighet för den installationstekniska anläggningen att som ett *system* sträva mot lägre resursanvändning.

I detta kapitel beskrivs ett metodiskt angreppssätt för energisystemanalys av installationstekniska anläggningar i vårdlokaler. Helhetssyn på installationstekniska anläggningar skall gälla, vilket innebär att helheten är viktigare än delarna. Detta innebär också att alla ingående delar, såväl ventilation, värme, klimatkyla, belysning, datorer och apparater ingår. Angreppssättet utgår alltså från systemnivån, men förutsätter mätning och uppföljning.

Figur 4-1 visar utredningsmetodik som används i detta projekt där både energiprestanda och inneklimatprestanda skall optimeras. Här är kunskap och studier om växelverkaner mellan energianvändning och inneklimatprestanda ytterst central. Optimalt är att energieffektiviseringar inte resulterar i försämring av inneklimatet samt att åtgärder för att förbättra inomhusklimatet ej sker på bekostnad av ökad energianvändningen.



Figur 4-1. Utredningsmetodik för optimering av både energi- och inneklimatprestanda i en byggnad.

Den aktuella metodiken går ut på att man går fram i steg och utvärderar planerade och insatta åtgärder. Utredningsstrategin delas in i två huvudfaser: *Fas 1 – Kartläggning*, *Fas 2 – Åtgärder och uppföljning*. I *Fas 1* genomförs en grundlig kartläggning av inomhusklimatet och aktuell energianvändning. Först när man gjort en bred genomgång av byggnadens tekniska tillstånd, energianvändning samt problembilden kan man börja fundera över åtgärder.

Kartläggningsstrategin resulterar i index (prestandamått) för energianvändningen samt inomhusmiljön för byggnaden. Genom att jämföra aktuellt prestanda med riktvärden och index för olika rumskategorier kan man ta beslut angående lämpliga åtgärder. Efter åtgärder har genomförts bör efterkontroll och uppföljning ske för att undersöka att det blivit som det var tänkt. De åtgärder som har utförts kanske inte har utförts på rätt sätt eller kanske det finns andra tekniska brister som måste åtgärdas för att lösa problemet. Detta undersöks till en början med tekniska mätningar och uppföljning av driftstatistik men bör kompletteras (ifall ändringar på inomhusklimatet förväntas) även med ny enkätundersökning efter ca ett år med de nya förhållandena.

Nedan följer först detaljerad beskrivning av kartläggningsmodell för energianvändning och inomhusklimat, sedan följer beskrivning av åtgärdsmodell samt hur uppföljning av åtgärder skall ske.

## 4.1 Kartläggningsmodell

Kartläggningsmodellen som används i detta projekt grundar sig på en samtidig kartläggning av inomhusklimat och energianvändning, enligt figur 4-2. Kartläggningsmodellen delar in respektive kartläggning i steg för att underlätta tillvägagångssättet. Kartläggningsstrategin ska resultera i prestandamått för energianvändningen samt inomhusmiljön för byggnaden.

Inneklimat	Energianvändning
1. Genomgång av bygghandlingar, inspektion av byggnaden, kontroll av drift, diskussion med brukare	1. Genomgång av bygghandlingar, inspektion av byggnaden, kontroll av drift
2. Kartlägg hur brukarna upplever innemiljön, enkäter. Indikerande mätning av tekniska förhållanden	2. Kartlägg energianvändningen, ställ upp en energibalans. Genomför eventuellt ytterligare kompletterande mätningar
3. Gör bedömning av misstänkta relevanta brister	3. Analysera förändringar i energianvändning över tid, jämför med andra objekt, nattvandring
4. Utred relevanta brister, mer detaljerade mätningar, byggnadssimulering	4. Utred möjliga energieffektiviseringar, genomför eventuellt mer detaljerade mätningar, byggnadssimulering
5. Analysera och ange möjliga orsakssamband. Finns brister? Varför?	5. Prioritera åtgärder och föreslå fortsatta studier

**Figur 4-2. Kartläggningsmodell. Denna strategi underlättar kartläggning av energianvändning samt utredningar om inomhusklimatet i byggnader.**

### 4.1.1 Kartläggning av inomhusklimatet

Det totala inneklimatet bestäms av en mängd parametrar. Det finns en grundläggande svårighet i att utreda orsaken till inomhusklimatproblem. Eftersom mycken kunskap saknas om orsakerna är det ofta svårt att konstatera brister med hjälp av enkla mätningar. Enkätundersökningar är därför ett måste som komplement för att få en bild av det förhållande som råder. Eftersom det är praktiskt omöjligt att genomföra mätningar där all tänkbara klimatpåverkande parameters studeras, är det nödvändigt att identifiera ett mindre antal

parametrar som är representativa för klimatet i byggnaden. Samtidigt måste ett antal representativa zoner väljas ut som mätobjekt, till exempel behandlingsrum, patientrum, administrativa rum, korridor. Dessa zoner bör ligga dels i de centrala delarna av byggnaden samt utmed fasaderna helst mot söder respektive norr.

Det finns ingen allmän accepterad metodik för att genomföra utredning av inneklimatproblem. Nedan beskrivs förslag på utredningsmetodik som används i detta arbete, och som tidigare nämnts delas utredningen in i steg för att underlätta tillvägagångssättet.

### *Steg 1*

Vid en utredning är det viktigt att brukarna ej misstror utredarens avsikter med undersökningen. Det är viktigt att skapa förtroende hos brukarna och låta alla komma till tals. Därför, när kartläggningen startar skall personalen informeras helst personligen vid till exempel ett avdelningsmöte. Personalen bör få info varför utredningen görs och vilka resultat som kommer fram.

Under steg 1 skapar man sig en allmän bild av situationen genom att: besöka lokalerna i fråga, diskussion med personalen, genomgång av bygghandling, kontroll av driftsdata, kontroll av aggregatskötsel och i samband med rundvandring genomföra enklare tekniska momentana mätningar såsom lufttemperatur och CO<sub>2</sub>-halter.

### *Steg 2*

I steg 2 genomförs enkätundersökning och grundläggande tekniska mätningar. MM-040 NA Sp4 -enkäten (eller motsvarande) används för kartläggning av personalens upplevelse och symptom. Enkätundersökningen kan med fördel genomföras av Företagshälsan vid det aktuella landstinget.

Eftersom det är praktiskt omöjligt att genomföra mätningar där all tänkbara klimatpåverkande parameters studeras, är det nödvändigt att identifiera ett mindre antal parametrar som är representativa för klimatet i byggnaden. Samtidigt måste ett antal representativa zoner väljas ut som mätobjekt, till exempel behandlingsrum, patientrum, administrativa rum, korridor. Dessa zoner bör ligga dels i de centra delarna av byggnaden samt utmed fasaderna helst mot söder resp. norr. Val av de specifika zonerna baseras på info från *steg 1*, där vissa kritiska zoner kan ha detekterats vid indikerande mätningar och intervjuer vid rundvandringen. Mätningar bör göras båda under sommar- och vinterhalvåret för att säkerställa förhållandena i lokalerna. Mätningar som bör starta och göras under detta skede är framförallt loggning av lufttemperatur, relativ fuktighet, CO<sub>2</sub>-halt under minst 2 veckor (helst lägre tid) på vintern respektive sommaren.

Luftflöden skall kontrollmätas om det ej är nyligen gjort och säkerställa att flödena överensstämmer med projekterat. Tillsammans med CO<sub>2</sub>-halt och info om tidstyrning kan tolkas om ventilation är bra eller dålig. Här måste stor hänsyn tas till personbelastningen samt om den aktuella lokalen är dimensionerad för den verksamhet som för tillfället bedrivs där.

Komplettera loggningsmätningar i sommar och vinterfall med enkla upplevelseenkäter som kan besvaras både av personal och av patienter.

### *Steg 3*

Bedömning av misstänkta relevanta brister sker fortlöpande allt eftersom data kommer in.

### *Steg 4*

Utred eventuella relevanta brister genom mer detaljerade mätningar. Detaljerad mätning ger även material för deklaration av komfort. Här kan man göra mätningar av drag, vertikal temperaturdifferens, köldbryggor och otätheter via termografering, luftutbytesomsättning, partikelhalt, TVOC, VOC, radon, buller, ljus mm. De tekniska mätningarna kan kompletteras med byggnadssimuleringar. Metoder för byggnadssimuleringar är mera av forskningstyp än avsedda för normala karläggnings- och åtgärdsarbete .

### *Steg 5*

Analys och framtagning av prestandamått och jämför resultaten med andra referensobjekt.

## **4.1.2 Energikartläggning**

En energikartläggning innebär att man går igenom energibehovet för ett system, till exempel en byggnad, och kartlägger produktion, distribution och användning av energi inom systemet. Målet är att få fram ett bra underlag för en fortsatt analys av möjligheterna till att effektivisera energianvändningen. Beggs (2002) delar upp en energikartläggning i följande fyra delar: *Insamling av data, analys, presentation, samt prioritering*. Dessa delsteg bildar ryggraden i den kartläggningsmodell som föreslås i figur 4-2 ovan.

Steg 1 och 2 kan kategoriseras som insamling av data, steg 3 och 4 motsvarar analys i Beggs uppdelning, steg 5 innehåller prioritering av åtgärder. Presentation av data återfinns i steg 3, 4 och 5.

### *Steg 1*

I det första steget samlas översiktlig information om objektet in, till exempel geografisk information, klimat och byggnadskonstruktion. De installationstekniska systemen och deras styrning kartläggs och sammanställs. Dessutom sammanställs vilka verksamheter som förekommer i lokalerna, i vilken omfattning lokalerna används, samt vilka energikrävande processer som är i gång vid vilka tider. Detta steg genomförs med fördel i nära samarbete med någon som känner till lokaler och systemen. Det är också viktigt att skapa goda relationer till driftansvariga samt med personal i verksamheten i lokalerna som kommer att undersökas, detta för att underlätta det fortsatta arbetet.

### *Steg 2*

Fakturor och mätvärden som visar energianvändningen på årsbasis eller månadsvis sammanställs för att få en första bild av energiflödena inom byggnaden. En första grov fördelning sker mellan el, värme, kyla och eventuella bränslen. En så kallad top-down analys börjar med att studera den totala energitillförseln för att sedan fördela ut den uppmätta energin på olika processer. Utifrån den verksamhetsbeskrivning som framkommit i steg ett så fördelas de olika energislagen på processer, till exempel belysning, uppvärmning och administrativ utrustning. Detta kan vara svårt med enbart månadsvisa mätningar, vilket därmed kräver ytterliggare mätningar med kortare tidsintervall för att förfinas bilden av energiflödena i byggnaden.

El kan mätas både momentant och loggas under längre tid genom att mäta i ställverk, proppskåp eller närmare slutanvändaren. Beroende på hur elsystemet är uppbyggt är det mer

eller mindre praktiskt möjligt att mäta på olika aggregationsnivåer. Mätning på enskilda slutanvändare ger goda kunskaper om det aktuella mätobjektet men ger sämre kunskap om elanvändningens variation i en hel lokal. I detta steg rekommenderas därför att fokusera på en hög aggregationsnivå med mätning på hela lokaler, eller summan av större delar.

Även för värme och kyla finns problemet med avvägningen mellan antalet mätpunkter och möjligheten att få information om enskilda slutanvändare. Temperaturer och flöden i värme- och kylsystem är numer ofta möjligt att logga via driftövervakningssystem. Beroende på systemets uppbyggnad är det mer eller mindre svårt att göra en rättvis fördelning per lokal eller byggnad. På byggnadsnivå är det ofta relativt lätt att finna uppgifter på värme- och/eller kylbehov. För enskilda lokaler kan det vara svårt utan kunskap om flöden i olika delar av systemet.

### *Steg 3*

I steg 3 analyseras resultatet från steg 1 och 2. Genom att visualisera resultaten på olika sätt kan analysen underlättas. *Varaktighetsdiagrammet*<sup>1</sup> för en byggnads energianvändning (såväl värme som el) visar på fördelningen mellan bas- och topplast. Beroende på varaktighetsdiagrammets utseende kan slutsatser dras om energianvändningens karaktäristik och möjlighet till effektivisering. *Energisignaturen* är energianvändningen under till exempel en vecka i relation till temperaturen utomhus. Genom att följa upp hur utseendet varierar och om någon mätpunkt faller utanför vad som kan förväntas finns möjligheten att hitta effektiviseringspotentialer. Även *variationer* i energianvändning i kronologisk ordning kan ge information om energianvändningens karaktär, till exempel energianvändningen i relation till graden av verksamhet

Ett viktigt verktyg i analysen av mätta data är olika *nyckeltal* som möjliggör jämförelser med andra objekt, vilka kan visa på potentialer för energieffektivisering.

I detta steg genomförs med fördel en så kallad *nattvandring* då byggnaden besöks på natten för att finna processer som är på även fast de inte används. Under nattvandringen noteras vilken utrustning som används och antal personer som befinner sig i samtliga utrymmen. Resultatet av nattvandringen ställs i relation till lagrade mätvärden och uppgifter från tidigare steg.

### *Steg 4*

I steg 4 sammanställs de möjliga effektiviseringsåtgärder som framkommit utifrån analysen i steg 3. Ett första urval görs tillsammans med driftpersonal och eventuellt mer detaljerade mätningar genomförs för att ge bättre underlag. I vissa fall kan analysen kompletteras med energisimuleringar för att studera effekten av olika åtgärder innan de genomförs.

### *Steg 5*

I det sista steget presenteras resultatet av energikartläggningen samt de förslagna åtgärderna. Tillsammans med driftpersonal prioriteras vilka åtgärder som bör genomföras för att effektivisera energianvändningen i lokalerna. Prestationsmått som beskriver olika delar av energianvändningen tas fram för att möjliggöra jämförelser med andra objekt.

---

<sup>1</sup> Ett diagram där effektbehoven är placerade i storleksordning, ej i kronologisk ordning.

## 4.2 Åtgärdsmodell

Det finns naturligtvis en uppsjö av möjliga energieffektiviserande åtgärder att genomföra. Utifrån vad som har diskuterats inom referensgruppen och vad som har gjorts vid sjukhus tidigare (inte minst lasarettet i Falun) så har en prioriteringslista för ett antal åtgärder tagits fram, vilken redovisas i tabellen nedan. I tabellen rankas investeringskostnad respektive energibesparingspotential som ingen, låg, medel eller hög. En mer ingående beskrivning av en del generella åtgärder diskuteras i kapitel 4.2.1.

Till varje energieffektiviserande åtgärder bör kostnadsanalys genomföras. De finns olika ekonomiska modeller för bedömning av kostnadseffektiva energiåtgärder. Life cycle cost (LCC) metoden eller ”livslängdskostnad” är att rekommendera då modellen uppskattar en energiåtgärds kostnad under investeringens hela livslängd. Dessutom kan en produkts miljöeffekter över dess livstid inkluderas.

Åtgärd	Konsekvens för inomhusklimat	Investeringskostnad	Besparingspotential	Kommentar
Utbilda driftpersonalen	Ingen till stor förbättring	Medel	Medel	Kunnig personal kan medverka till betydande energibesparingar
Värmeväxling på ventilationen	Ingen	Hög	Hög	Besparing framförallt på värme. Om roterande VVX används finns det risk att föroreningar i frånluften kontaminerar tilluften.
Eleffektiv fläkt	Ingen	Hög	Hög	
Styr och reglersystem	Ökade reglermöjligheter möjliggör förbättring av inomhusklimatet	Medel	Hög	Åtgärden är nödvändig för vissa ytterligare åtgärder
Behovsstyrd ventilation	Allt för låga tilluftsflöden riskerar att försämra inomhusklimatet	Ingenting - Medel	Hög elbesparing, medelbesparing på värme	Tidsstyrning T ex sänkning av flöde nattetid eller vid låga utetemperaturer
Förkorta uppvärmningssäsongen genom ändring av styrkurvan till radiatorsystem	Minskar risk för övertemperatur	Låg	Medel	Genomförs endast vid övertemperaturer
Drifanpassa belysning	Minskar risk för övervärmning	Låg	Medel el,	under vintern ersätts el av värme
Solavskärmning, film	Minskar risk för övervärmning dock minskar dagsljusinsläppet betydligt	Låg	Låg, enbart kyla	
Solavskärmning, markis	Minskar risk för övervärmning dock minskar dagsljusinsläppet	Hög	Låg, enbart kyla	
Balansera ventilationssystemet	Minskar risk för drag	Låg	Låg – Medel	Minskar infiltration
Varierad börtemperatur sommar/vinter	Marginell	Låg (ingen)	Låg, lite lägre kylbehov sommartid	T ex 22 på vintern och 23-24 på sommaren. Under förutsättning att detta går att styra via reglersystem
Termostatventiler	Ökad hänsyn till interna laster minskar risk för övertemperaturer	Medel-hög	Medel	
Byte till energieffektiva armaturer	Minskar risk för övervärmning	Hög	Medel el.	
Eleffektiva pumpar	Ingen	Hög	Medel	
Anpassa ventilationsflöden lokalt efter verksamhet	Förbättrar inomhusklimatet	Låg	Negativ - låg	Kan innebära att flödena måste ökas i vissa lokaler.
Isolera kanaler	Bättre styrning av temperaturer	Låg	Ingen – låg	Lättare att styra luftens temperatur ut i rummet
Lågtemperatursystem	Trögare system kan leda till sämre inomhusklimat under vissa förhållanden	Hög	Medel	Minskar värmebehovet
Byte av tillförselsystem	Ingen	Hög	Medel-hög	
Tilläggsisolera	Marginellt positivt	Hög	Hög (värme)	
Byte av fönster	Minskar risk för drag, kallstrålning	Hög	Medel	
Lokal komfortkyla	Förbättrar inomhusklimatet lokalt	Låg - Medel	Negativ – låg	Kan innebära att centralt kylbehov minskar

**Figur 4-3. Möjliga åtgärder vid sjukhus med bedömning av investering, energibesparingspotential och konsekvenser för inomhusklimatet.**

### 4.2.1 Generella åtgärder

Det finns ett antal generella åtgärder som är möjliga att genomföra för att effektivisera energianvändningen och förbättra inomhusklimatet. Nedan diskuteras de vanligaste varav många har genomförts på ett eller annat sätt vid sjukhusfastigheter.

#### 4.2.1.1 Utbildning av driftpersonal

Personal som har goda kunskaper i systemens uppbyggnad har goda förutsättningar att bidra genom sitt kunnande till energieffektivisering. Genom att ha insyn i hur olika system påverkar varandra och hur dessa går att styra, samt en allmän kunskap om inomhusklimat och energieffektivisering så kan energianvändningen minska genom att personalen agerar på ett sätt som bidrar till effektivare energianvändning. Goda kunskaper kring systemen bidrar till att förslag på åtgärder för att ytterligare effektivisera drift och skötsel kan komma från driftpersonalen själv.

#### 4.2.1.2 Ventilation

Ventilationen har till uppgift att tillföra frisk luft till byggnaden och transportera bort föroreningar. Samtidigt transporteras uppvärmd luft bort från byggnaden och ersätts med ouppvärmad. För att minska värmeförlusterna på grund av ventilationen kan till och frånluften *värmväxlas* med varandra. Eftersom, införandet av värmväxling leder till ökad elanvändning till fläktel på grund av ökat tryckfall i systemet. Dagens ventilationssystem i vårdbyggnader bygger oftast på att luftflödet är konstant och oberoende av belastning. Genom *tidsstyrning* av fläkten så att ventilationsflödet minskas, till exempel nattetid, minskar värmeförlusterna samt behovet av fläktel. För att på bästa sätt utnyttja en minskning av flödet bör fläkten vara frekvensstyrd, vilket möjliggör styrning av fläktens varvtal, så kallad VAV-styrning (Variable Air Volume). I ett VAV-system anpassas fläktens varvtal till behovet vilket förutom energieffektivisering ger goda förutsättningar till att upprätthålla bra luftkvalitet.

#### 4.2.1.3 Värmesystem

Energianvändningen i värmesystemet består dels av el till pumpar, dels av värmebehovet för att tillgodose en viss inomhustemperatur. För att minska elanvändningen bör *el-effektiva pumpar* användas. Värmebehovet kan minskas genom injustering av värmesystemet och att införa så kallade *lågtemperatursystem* där en lägre framledningstemperatur används samtidigt som skillnaden mellan fram- och returtemperatur hålls liten. Systemet kräver stor värmeöverförande yta. Ett exempel är golvvärme där hela golvytan används för att överföra värme till rummet. Injustering av värmesystemet är normalt en kostnadseffektiv åtgärd som resulterar i värmebesparing.

#### 4.2.1.4 Termostatventiler

Installation av termostatventiler eller byte till nya kan bidra till en ytterligare sänkning av energianvändning för uppvärmning samt förbättra den termiska komforten. Installation av reglerande princip är dock inte att rekommendera i stora byggnader eftersom de reglerande termostatventilerna är känslig för vädring vilket i ogynnsamma fall kan leda till ökad energianvändning. Istället bör termostatventiler med maxbegränsande princip användas vilket innebär att framledningstemperaturen styr primärt mot rumstemperaturen men om temperaturen stiger över ett inställt värde, på grund av till exempel interna laster och solinstrålning, så stryps flödet via termostatventilen successivt för att vid ett inställt maxvärde upphöra helt. Reglerprincipen är relativt okänslig för vädring, ger bättre termiskt klimat samt en besparing på uppvärmningsbehovet jämfört med ett framkopplat system utan



termostatventiler. Likt ett rent framkopplat system krävs en väl inställd framledningstemperaturkurva.

#### 4.2.1.5 Styr-reglersystem

Styr- och reglersystemen är viktiga för att utnyttja installationstekniska system på ett effektivt sätt. Reglersystemen kan användas för att utnyttja värmelagringsförmågan i byggnaden och därigenom styra effekten i värmesystemet och därmed minska behovet av installerad effekt. De absoluta värdena på variablerna i systemet måste hela tiden omvärderas och trimmas för att effekten av åtgärden ska bibehållas.

#### 4.2.1.6 Konstruktion

Att genomföra energieffektiviseringsåtgärder på konstruktionen är ofta kostsamt. Det enklaste sättet är att installera en tilläggsruta på fönstren. Denna åtgärd minskar dragkänslan vid fönstren samtidigt som den minskar transmissionsförlusterna. Större åtgärder, som byte av ytskikt eller fönster, är ekonomiskt försvarbart endast då renoveringsbehov ändå föreligger.

#### 4.2.1.7 Tillförselsystem

Tillförsel av värme och kyla kan ske på olika sätt, med egna pannor, kylaggregat eller via fjärrvärmesystem från värmeverk eller kraftvärmeverk. Många sjukhus har ersatt äldre oljepannor med anslutning till fjärrvärme (STEM, 2008).

En effektivisering i ett system kan innebära större resursanvändning i ett annat. Ett sätt att fånga detta är att beräkna hur mycket primär energi som går åt till en viss verksamhet. På detta sätt så ingår även omvandling och distribution av energibäraren i kalkylen. Primärenergi diskuteras vidare i kapitel 4.3.2.3 samt Appendix 3.

Ett alternativ till primärenergi som även det beskriver resursanvändningen för ett system som dessutom beskriver klimatpåverkan från energianvändningen är att beräkna koldioxidutsläppen kopplat till energianvändningen utifrån det energisystem som lokalen befinner sig i. Beräkningen av koldioxidutsläppen har stora likheter med beräkningen av primärenergianvändningen. Även detta beräknas i Appendix 3.

#### 4.2.1.8 Interna effekter

En stor del av elbehovet vid sjukhus är relaterat till belysning. Belysningen kan effektiviseras genom att gamla armaturer ersätt av nya energieffektiva eller genom att någon form av styrning används för att minska utnyttjandetiden.

## 4.3 Prestandamått

För att styra och optimera driften av en byggnad fordras mål, kunskap, observerbarhet och styrbarhet. Index, eller prestandamått, beskriver hur pass effektiv och optimal driften av en byggnad är. Dessa index är viktiga vid jämförelser mellan byggnader och kan ligga till grund för kravspecificering och målvisioner då man driver projekt. För att ett index ska vara användbart och meningsfullt krävs att det är observerbart och styrbart (påverkningsbart).

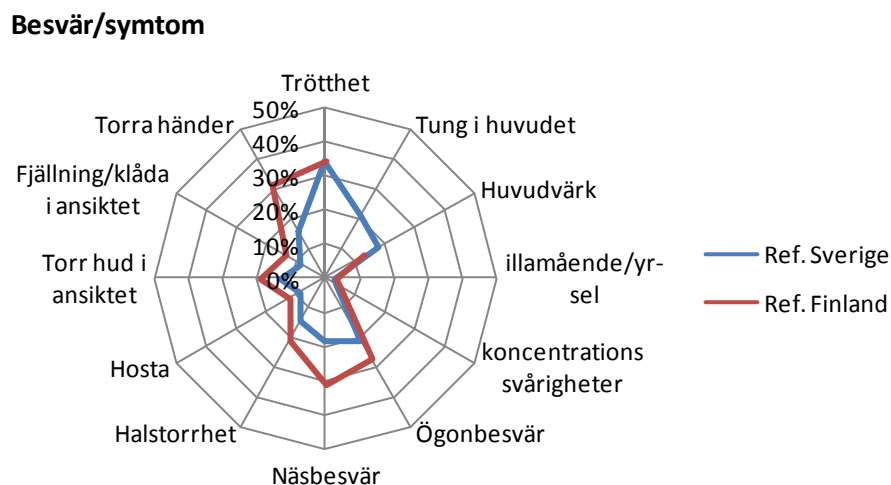
Prestandamått som samtidigt beskriver energimässig prestanda eller inomhusklimatets kvalitéer i en byggnad är svåra att ställa upp, framförallt för sjukhus som innehåller en så pass varierad verksamhet. Inom ramen för detta projekt har det förts diskussioner inom forskargruppen och referensgruppen angående hur prestandamått som beskriver energi-, miljö- och inomhusklimatparametrar skulle kunna utformas. Vi kommer här att diskutera fördelar och nackdelar med ett antal mått som har diskuterats.

#### 4.3.1 Prestandamått för inneklimat

Fysikaliska storheter är givetvis till viss del lämpliga prestandamått på inomhusklimatet. Som tidigare diskuterats är initialt framförallt temperatur och koldioxidhalten lämpliga fysikaliska prestandamått. Medelvärden på temperatur och koldioxidhalten bör helst kompletteras med mått på hur ofta temperaturen respektive koldioxidhalten är oacceptabelt hög under en mätsekvens.  $T_{24}$  respektive  $T_{25}$  är ett mått på hur ofta, uttryckt i procent, som lufttemperaturen överstiger 24°C respektive i 25°C byggnaden, vilket är ett mått på hur väl installationerna är anpassade till verksamhetens omfattning.  $T_{24}$  är lämpligt att använda för mätningar genomförda under vinterhalvåret, då lufttemperaturen bör hållas under 24°C, medan  $T_{25}$  kan användas för mätningar genomförda under sommaren.  $CO_2-800$  beskriver hur ofta uttryckt i procent som koldioxidhalten överstiger 800 ppm, vilket blir ett kompletterande mått på ventilationseffektiviteten, eller ventilationen i relation till antalet personer i lokalen.

##### 4.3.1.1 Subjektiva mått

Resultat från enkätundersökning presenteras lämpligen i grafisk form eller tabellform där såväl frekvens av besvärande faktorer som symptom redovisas och jämförelse görs med andra material. Jämförelsedata från studier med MM-enkäter i sjukhus finns för 4 st. sjukhusavdelningar i Mellansverige insamlade mellan 1998 och 2000 (Andersson et al. 2008). samt en mycket omfattande studie från tio sjukhus i Finland (Hellgren and Reijula 2006). Figur 4-4 visar exempel på hur jämförelsedata kan presenteras. Figuren visar andel individer (i procent) med ofta förekommande symptom. På liknade sätt bör frekvens av besvärande faktorer redovisas.



Figur 4-4. Jämförelsedata angående andel individer (i procent) med ofta förekommande symptom.

### Symtomindex

Symtomindex (*SI*) är ett sammanvägt mått på frekvensen av rapporterade besvär. Indexet baseras på de 12 symtomen som ingår i MM-enkäten. Byggnad med *SI* värde  $\leq 0.35$  kan betraktas som "sund" byggnad.

$$SI = \sqrt{\sum_i^{12} x_i^2} \quad x_i = \text{procent besvårade av symtom } i \quad \text{ekv. 4-1}$$

Utifrån jämförelsedata från figur 4-2 erhålls referensvärde 0.59 för de fyra svenska sjukhusavdelningarna ( $SI_{sve} = 0.59$ ).

### Arbetsmiljöindex

Arbetsmiljöindex, *AMI*, är ett sammanvägt mått på frekvensen av rapporterade ofta besvärande miljöfaktorer. *AMI* baseras på de 12 miljöfaktorerna som ingår i MM-enkäten.

Jämförelsevärden från de två studierna ovan:

$$AMI_{sve} = 0.80$$

$$AMI_{fin} = 0.89$$

### Diskomfortdiagram

Patienters respektive personals upplevelse av luftkvalitet, temperatur och luftfuktighet presenteras i form ett diskomfortdiagram, se figur 4-5. Diagrammet baseras på enkla upplevelseenkäter som kan besvaras både av personal och patienter. Upplevelsen definieras genom en sjugradig enkätskala enligt nedan:

#### ***Luftfuktighet***

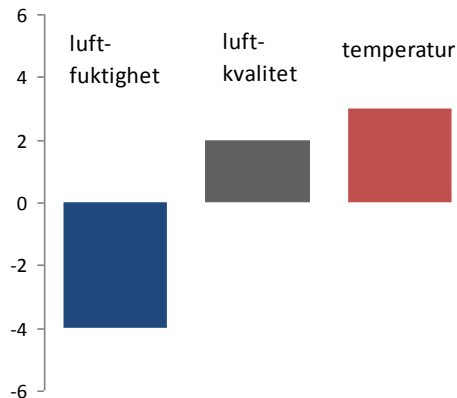
Mycket låg	Låg	Något låg	Lagom	Något hög	Hög	Mycket hög
-6	-4	-2	0	+2	+4	+6

#### ***Luftkvalitet***

Mycket dålig	Dålig	Ganska dålig	Acceptabel	Ganska bra	Bra	Mycket bra
6	5	4	3	2	1	0

#### ***Temperatur***

Mycket kallt	Kallt	Något kallt	Lagom	Något varmt	Varmt	Mycket varmt
-6	-4	-2	0	+2	+4	+6



Figur 4-5. Exempel på diskomfortdiagram vilket visar på problem med höga temperaturer samt ”torr luft”.

### 4.3.2 Prestandamått för energianvändning

#### 4.3.2.1 Total energianvändning, kWh

Detta mått är i sig inte så värdefullt eftersom det inte är möjligt att använda i jämförelser mellan olika objekt om de inte är identiska. För jämförelser över tid med det egna objektet är det dock intressant. Genom att föra statistik över energianvändning per vecka eller över åren kan man använda den totala energianvändningen som indikator på resultatet av eventuella åtgärder. Det är relativt lätt att ta fram siffror på den totala energianvändningen.

#### 4.3.2.2 Total användning av el, värme och bränslen, kWh

På samma sätt som den totala energianvändningen är det relativt lätt att ta fram uppgifter om total energianvändning fördelat på energibärare. Även dessa mått säger inte så mycket vid jämförelser med andra objekt men möjliggör jämförelser med det egna objektet över tid.

#### 4.3.2.3 Primärenergi, kWh

Ett alternativt sätt är att beräkna den primära energin, vilket tar hänsyn till omvandlingsförluster vid förädling, omvandling och distribution av energi till den slutliga användaren. På detta sätt blir olika energibärare möjliga att jämföra med varandra. Den uppmätta användningen av energi multipliceras med primärenergifaktorer som beräknats för olika bränslen och system. Osäkerheten ligger i beräkningen av primärenergifaktorerna eftersom olika energimixer, distributionssystem, omvandlingssystem etc. har olika effektivitet (Persson et al. 2005). Exempel på primärenergifaktorer återfinns i Appendix 3.

#### 4.3.2.4 Utsläpp av koldioxid, CO<sub>2</sub>-utsläpp

Liksom primärenergi så beräknas koldioxidutsläppen som uppkommer från en verksamhet utifrån det energisystem som verksamheten befinner sig i. Genom att beskriva koldioxidutsläppen från en viss verksamhet syns klimatpåverkan direkt. Precis som för beräkningen av primärenergi finns det osäkerheter i hur koldioxidutsläppen ska beräknas för olika system. Se även Appendix 3 för exempel på beräkning av koldioxidutsläpp från en vårdlokal.

#### 4.3.2.5 Fördelning per kvadratmeter, kWh/m<sup>2</sup>

Detta mått möjliggör jämförelser mellan olika objekt oberoende av arean och är relativt enkelt att beräkna. Måttet är dock trubbigt när det används för att jämföra olika verksamheter som

bedrivs på olika sätt och kräver olika stora ytor. Måttet har även nackdelen att det premierar stora lokaler; verksamheter som använder ytor effektivt får ett högre kWh/m<sup>2</sup> än verksamheter som har stora tomma ytor. Även detta mått kan och bör redovisas fördelat på el, värme och eventuella bränslen.

#### 4.3.2.6 *Fördelning per bädd, kWh/bädd*

En fördelning av energianvändningen per antal bäddar återspeglar energianvändningen i relation till mängden verksamhet i lokalerna. Måttet är endast användbart på hög aggregationsnivå, till exempel för ett helt sjukhus eller för lokaler som innehåller vårdavdelningar. Till skillnad mot fördelning per kvadratmeter så premieras lokaleffektiv verksamhet.

#### 4.3.2.7 *Fördelning på lokaltyper och verksamhetsomfattning*

Vårdlokaler karaktäriseras av stora skillnader i verksamhet och därmed även stora skillnader i energibehov för olika typer av lokaltyper. En uppdelning mellan olika lokaltyper är därför lämplig för att få mer rättvisa jämförelser. Fem huvudtyper av verksamheter finns inom vårdsektorn: vårdavdelning, mottagning, operation, röntgen och administrativa lokaler. En annan uppdelning är mellan dygnsdrift eller dagdrift, det vill säga om det finns verksamhet dygnet runt eller inte i lokalen.

#### 4.3.2.8 *Fördelning per årsanställd eller patient*

Antal anställda på en avdelning kan även det användas som ett mått på mängden verksamhet i lokalerna. Vissa verksamheter kan dock kräva större mängder personal än andra vilket ger missvisande resultat.

Används antal patienter som fördelningsnyckel går det i vissa fall att få uppgifter om variation av antalet patienter i tiden, vilket kan jämföras med variationer i energibehovet. Även här krävs att olika typer av verksamheter redovisas separat för att möjliggöra jämförelser.

#### 4.3.2.9 *Fördelning per DRG-poäng*

Ett alternativ till att fördela per patient är att använda så kallade DRG-poäng. DRG står för DiagnosRelaterade Grupper och är en metod som grupperar vårdkontakter efter medicinska kriterier och resursåtgång. Det finns idag knappt 1000 DRG som beskriver hur resurskrävande olika diagnoser är (SKL, 2005). Ju mer vård som krävs desto högre poäng. En nackdel med metoden, ur ett energiperspektiv, är att den är knuten till vårdenheter som kan vara utspridda i flera olika byggnader, till och med på olika orter. Möjligheten att mäta energibehovet som relaterar till den aktuella vårdenheten blir därmed mycket kostsam.

#### 4.3.2.10 *Baslast mot topp effekt*

En byggnad använder energi även när graden av verksamhet är låg, till exempel under natten. Denna del av energianvändningen kallas baslast eller tomgångsförluster och kan till exempel vara fläktarbete men även belysning som inte är avstängd. Det kan finnas effektiviseringspotential i att undersöka vilka processer som bidrar till baslasten. Andelen baslast i relation till topplasten, som beskriver det maximala effektuttaget, ger en uppfattning om hur verksamheten bedrivs. Ett bra sätt att visualisera detta är i ett så kallat varaktighetsdiagram.

#### 4.3.2.11 *Specifika processer (Installerad belysning/m<sup>2</sup>, ventilationsel/m<sup>2</sup>, SFP)*

För att kunna utreda möjligheten till energieffektivisering kan det vara intressant att även jämföra specifika processer. Till dessa hör ventilation och belysning som de viktigaste inom vårdlokaler. Ett vanligt mått för belysning är installerad belysning per kvadratmeter, vilket

inte visar på hur mycket belysning som faktiskt används men ger en indikation på hur mycket som skulle kunna användas (och i många fall även gör det).

El-effektiviteten hos fläktarna kan jämföras genom att studera SFP-talet (Specific Fan Power), vilket är den sammanlagda effekten för till och frånluftsfläkt dividerat med det största av de två flödena (enhet:  $\text{kW}/\text{m}^3, \text{s}^{-1}$ ). Även fläktel per kvadratmeter kan användas som prestationsmått. I en del fall kan det senare vara enklare att beräkna.

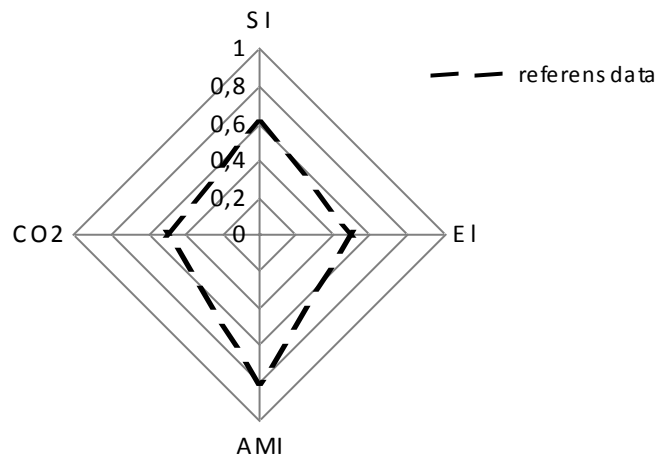
#### 4.4 Energi- och klimatprestanda

För att möjliggöra jämförelser mellan olika objekt och samma objekt efter att en åtgärd har genomförts är det viktigt att det finns kvalitetsparametrar som beskriver objektet. De absoluta värdena på kvalitetsparametrarna kan även användas vid diagnos av en byggnad eller en avdelning för att avgöra om det är viktigt att genomföra åtgärder för att förbättra inomhusklimatet eller effektivisera energianvändningen. Att fånga både energi- och inomhusklimatrelaterade faktorer i ett enda index ter sig svårt utan att påverka viktningen mellan olika ingående parametrar och därmed påverka vilka åtgärder som bör genomföras. För att skapa en helhetsbild av energisituationen och inomhusklimatet vid en byggnad eller avdelning bör flera parametrar visualiseras och ställas mot varandra. Diagrammet ska uppfylla följande kriterier:

- Visa på möjligheter att effektivisera energianvändningen
- Synliggöra energianvändningen
- Visa på eventuella problem med inomhusklimatet
- Vara enkelt att ta fram uppgifter till

Ett så kallat spindeldiagram har tagits fram med de fyra parametrarna specifika koldioxidutsläpp ( $\text{CO}_2/\text{m}^2$ ), specifik elanvändning ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ), symtomindex (*SI*) och arbetsmiljöindex (*AMI*). Valet att fördela energiparametrarna per kvadratmeter möjliggör jämförelser mellan olika objekt. Koldioxidutsläpp visar på en koppling till omgivande energisystem och ger en relation till miljöpåverkan. *SI* och *AMI* är index som är relaterade till personalens symptom och uppfattning om inneklimatet. Patienternas uppfattning ingår därmed inte i beskrivningen. Patienterna är en grupp som endast vistas under kortare perioder på avdelningen samtidigt som de är en inhomogen grupp vars sammansättning förändras i större utsträckning än för personalen mellan tidpunkterna för enkäterna. *SI* och *AMI* är procentuella värden från 0 och uppåt. Koldioxidutsläppen och el normeras mot nationellt medel så att referensvärdet motsvarar 0,5.

Diagrammet möjliggör en snabb överblick över byggnaden eller avdelningen. Alla fyra parametrar kan användas för att relatera olika objekt till varandra. Nedan visas ett exempel på hur ett diagram kan se ut med medelvärden för svenska sjukhus som referens. En vidare diskussion kring hur diagrammet ska tydliggöras återfinns i kapitel 6.3.



**Figur 4-6. Exempel på graf för kombinerad energi- och klimatprestanda.**





## 5 Objektbeskrivning

För att kunna ta fram en metodik för strukturerad energieffektivisering som var anpassad till vårdlokaler behövdes ett objekt där olika möjliga metoder kunde testas. Efter diskussioner inom projektgruppen föll valet på två ortopediska vårdavdelningar (avdelning 17 & 18) belägna i ena halvan av hus 11 vid Falu lasarett, se Appendix 4. Byggnaden ägs av Landstingsfastigheter i Dalarna, drift och underhåll sköts av Fastighetsteknik. Avdelningarna ligger på fjärde våningen i byggnaden som har fem våningar (den översta innehåller endast ventilationsaggregat). I detta avsnitt beskrivs dels verksamheten på avdelningen, dels byggnadens konstruktion och installationstekniska system samt även arbetet med energieffektivisering som bedrivs inom Landstinget Dalarna.

### 5.1 Verksamhetsbeskrivning

Vid avdelning 17 och 18 finns totalt 52 bäddar (28 på avd 18 och 24 på avd 17). På avdelning 18 ligger patienter som är intagna på planerad verksamhet, medan patienter på avdelning 17 söker för mer akuta besvär. Antalet personal varierar över dygnet med flest (32 stycken) mellan 13 och 16. På förmiddagen och sena eftermiddagen finns ca 20 personal totalt på avdelningarna och nattetid (21-07) arbetar fem stycken.

### 5.2 Konstruktion och installationstekniska system

Avdelning 17 och 18 ligger i den nordvästra delen av hus 11 eller Södra vårdblocket. Den totala bruksarean (BRA) av hela avdelningen är 1370 m<sup>2</sup> och volymen 3320 m<sup>3</sup>. Hela Falu lasarett har en bruksarea (BRA) motsvarande 164 070 m<sup>2</sup>, och hus 11 har en bruksarea på 33000 m<sup>2</sup>. Avdelning 17 & 18 motsvarar därmed ca 0,84 % av hela sjukhusets yta och 4 % av hela hus 11. Hus 11 uppfördes 1971 och har ett ytskikt bestående av tegel och ytbeklädnad av plåt. Fönstren är treglas. Tabell 5-1 innehåller en sammanställning av U-värden och specifik transmission. Innerväggarna har antagits vara av gips med mellanliggande isolering.

Tabell 5-1. Konstruktion

Konstruktion	Längd (m)	Höjd (m)	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Yttervägg	140	3,7	518	1,0
Fönster		1,7	112	2,2 inkl. karm
Yttertak				0,7

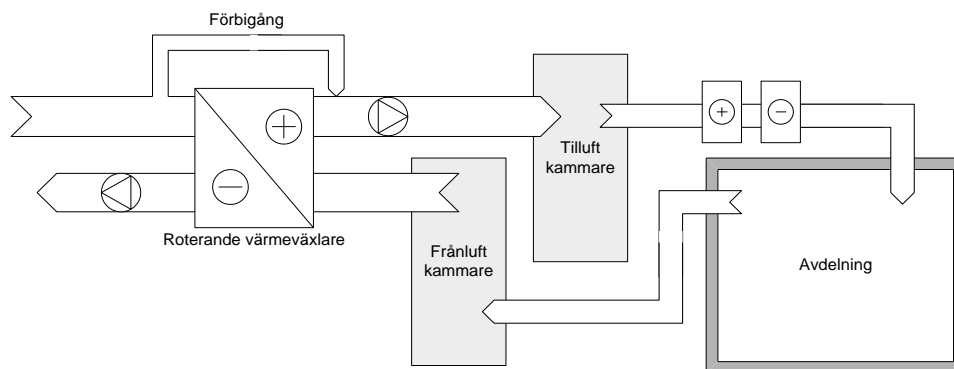
#### 5.2.1 Värme och ventilation

Värme tillförs lokalerna genom radiatorer och uppvärmd tilluft. En stor del av året räcker det med den uppvärmda tilluften för att hålla en acceptabel inomhustemperatur.

Framledningstemperaturen till radiatorerna styrs i princip linjärt mot utomhustemperaturen upp till en utomhustemperatur av 16°C.

Ventilationsaggregatet tillgodoser ventilationsluft till avdelningen via en tilluftskammare från vilken flödet till våningsplanet spjällregleras för att nå önskat flöde eller tryck. Flödet till avdelningen är 10312 m<sup>3</sup>/h och frånluftsflödet 12870 m<sup>3</sup>/h vid normalflöde. Fläktarna är frekvensstyrda mot trycket i tilluftskammaren. Den högsta temperaturen som efterfrågas från något av de sex våningsplanet levereras av ventilationsaggregatet. Luften kyls eller värms

därefter till önskad temperatur i respektive efterbehandling som sitter efter ventilationsaggregatet. Figur 5-1 visar en principskiss över ventilationssystemet. Tilluftens temperatur till avdelning 17/18 varierar mellan 17 och 19°C, börvärdet är 22°C och jämförs med uppmätt temperatur i frånluften.



**Figur 5-1. Principskiss över ventilationssystemet till respektive avdelning/våningsplan. Efter tilluftskammaren har varje våningsplan en efterbehandling med värme och kyla.**

Regleringen av ventilationsflödet till våning 3 beror av utomhustemperaturen, med sänkta flöden vid mycket låga eller mycket höga utomhustemperaturer. Dessutom regleras flödet ner till hälften mellan 18 och 06.

### 5.2.2 Elsystem – viktig kraft/vanlig kraft

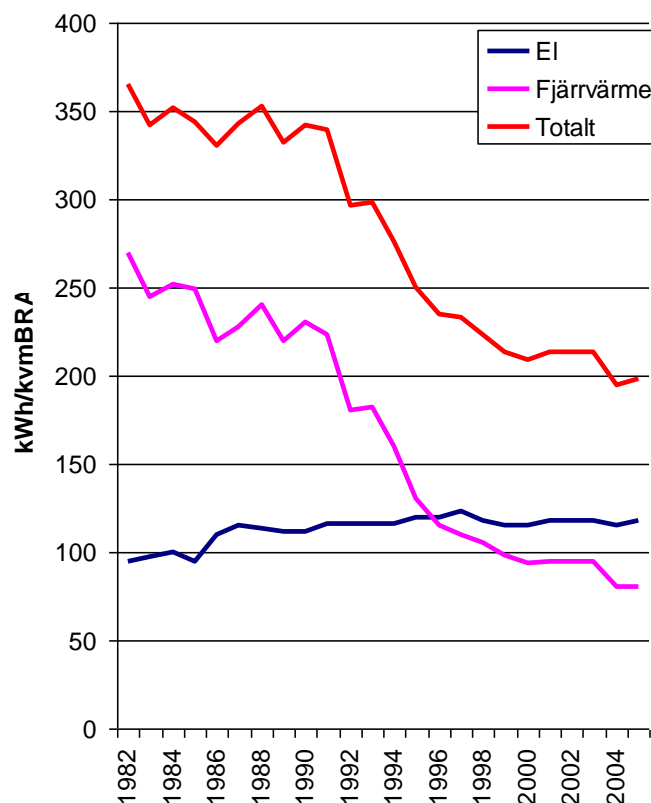
Elsystemet vid avdelningen är uppdelat i två system, ett för viktig kraft och ett för vanlig kraft. Det förra är anslutet till ett antal dieselmotorer som startar i händelse av elavbrott från yttre nät. Vad som är anslutet till respektive nät är inte möjligt att avgöra men generellt sätt så är datorer, medicinsk utrustning och en del belysning ansluten till viktig kraft.

### 5.2.3 Tillförselsystem

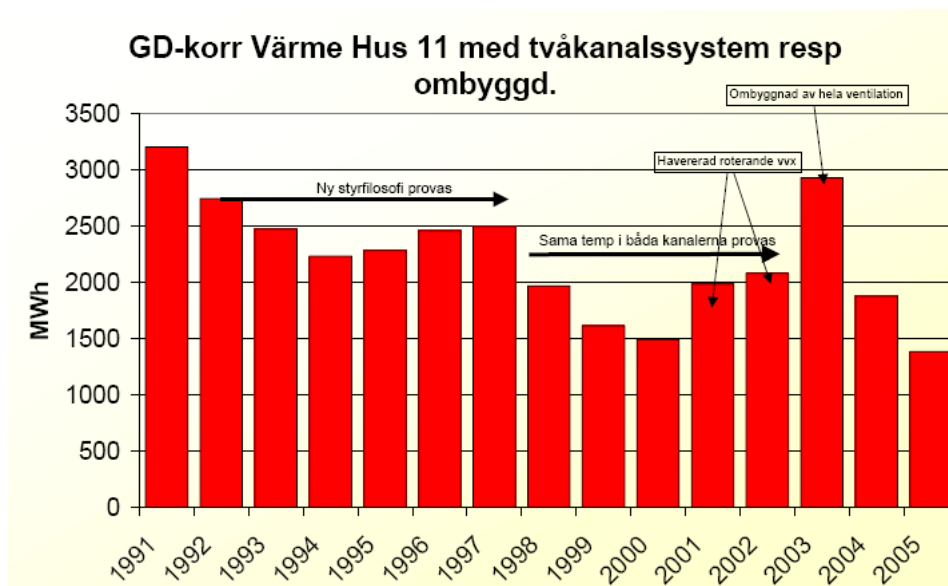
Falu lasarett använder i huvudsak fjärrvärme för uppvärmningsändamål. Kyla produceras i ett kylsystem som samtidigt levererar värme. Hela kylsystemet har ett COP-värde runt 3 på årsbasis. Fjärrvärmens i Falun produceras i huvudsak i ett fliseldat kraftvärmeverk.

## 5.3 Systematiskt energiarbete vid Falu lasarett, Landstinget Dalarna

Energianvändningen vid Falu lasarett har minskat stadigt sedan 1970-talet, se figur 5-2 och 5-3, då ett strukturerat sätt att arbeta med energifrågorna infördes i kölvattnet av oljekrisen och de efterföljande kraven på energieffektivisering (Landstinget Dalarna, 2006). Bland de första åtgärderna var att minska oljeberoendet. Under 90-talet fokuserades arbetet på hushållning och effektivisering. Genom införande av värmeåtervinning på ventilation, driftoptimering samt intrimning av befintlig utrustning har värmebehovet minskat med 70 % sedan slutet av 70-talet. Under samma period har elbehovet legat konstant trots ökad apparättäthet och ökad datoranvändning. För hus 11 har värmebehovet mer än halverats mellan åren 1991 – 2005, se figur 5-3



Figur 5-2. Energiutveckling vid Falulasarett mellan 1982 och 2005



Figur 5-3. Utveckling värmebehov för hus 11 vid Falulasarett mellan 1991 och 2005.

Metoden som Landstinget Dalarna arbetar efter när det gäller energieffektivisering består av de fyra stegen: Planera, Genomför, Kontrollera och Agera i en cyklisk rörelse där ständig förbättring står i fokus. Arbetet börjar med att ta fram statistik, jämföra med andra objekt och bedöma potentialen.

Agera	Uppmärksamma	ta fram energistatistik jämför bedöm potentialen
Planera	Sätt konkreta mål	övergripande mål mål för varje objekt
Genomför	Sälj in, motivera, engagera Trimma, åtgärda	utbilda driftpersonal avsätt tid, samverka lägg fast driftstrategi dokumentera åtgärder
Kontrollera	Följ upp, mäta	samla in och bearbeta energistatistik varje månad gemensamma avstämningar med driftpersonal och förvaltning
Agera	Utvärdera, analysera Rapportera Uppmärksamma	kontinuerlig rapportering årlig rapport till ledningen m fl årligt seminarium

Driftstrategin som används inom ramen för det systematiska energiarbetet beskrivs i följande åtta punkter (Landstinget Dalarna, 2006):

1. Process genomförs för ständig förbättring (se ovan)
  - Sätta mål
  - Planera för genomförande
  - Motivera/utbilda/engagera driftpersonal
  - Trimma/åtgärda
  - Följ upp/mät resultat och funktion
  - Analysera/ utvärdera, jämföra
  - Rapportera, belöna
2. Max 21°C i lokalerna.
3. Ventilationsaggregatens drifttider ska trimmas mot hyresgästernas verksamhetstider. Behovsbaserad ventilation.
4. Ventilationsaggregatens värmeåtervinning ska trimmas.
5. Reglercentralernas temperaturkurva sänks och optimeras. Reglering ska ske via shuntgrupp och ej via termostatventiler i rummen.
6. Mäta och följa upp.
7. Justera och trimma.
8. Energideklarera varje byggnad. Anslå dokumentation.

## 6 Resultat

I detta kapitel beskrivs resultatet av kartläggningen av inomhusklimatet respektive energianvändningen. Det första steget i kartläggningsmodellen för energianvändningen, beskrivning av systemet, redovisades redan i kapitel 5. Alla delmoment i kartläggningsmodellen och åtgärdsmodellen redovisas inte utan fokus ligger på att redovisa resultat utifrån användandet av metoderna.

### 6.1 Kartläggning av inomhusklimat

Vid besök av lokalerna framkom tydligt genom diskussion med personalen och enklare tekniska momentana mätningar att lufttemperaturen var för hög i framförallt de centrala delarna av byggnadsplanet. Kontroll av driftsdata och aggregatskötsel gav information om mycket bra fungerande ventilationssystem med anpassade ventilationsflöden och tidsscheman.

#### 6.1.1 Enkätundersökningar

Under mars månad 2006 genomfördes en enkätundersökning av inomhusklimatet vid hus 11 av Gävledala Företagshälsa. Enkäten bygger på MM 040 NA från YMK Örebro (Örebromodellen) vilket är en standardiserad enkät i Sverige. Samtliga frågor från MM 040 NA fanns med i enkäten.

Totalt svarade 654 st. personer (personal) på enkäten, varav 94 st. verksamma på plan 3. Plan 3 består av ortopedkliniken avd (17 och 18) samt medicinkliniken. Andelen personer som deltog från medicinkliniken var mycket liten jämfört med personer från ortopedkliniken. Resultatet för plan 3 anses därför som synonymt med avd 17 & 18. Tabell 6-1 visar frekvensen svar ”Ja, ofta (varje vecka)” på frågorna om arbetsmiljöfaktorer.

**Tabell 6-1. Process missnöjda med olika arbetsmiljöfaktorer för hela hus 11 samt endast plan 3.**

	<b>Hus 11</b>	<b>plan 3</b>	<b>ref. Sverige</b>	<b>ref. Finland</b>
Drag	20%	18%	13%	27%
För hög temp	30%	19%	8%	22%
För låg temp	19%	20%	24%	13%
Instängd luft	39%	28%	29%	40%
Torr luft	61%	50%	53%	46%

Tabell 6-1 indikerar att hus 11 är en problembyggnad. Ortopedkliniken har något bättre resultat än hela byggnaden. På ortopedkliniken är ca 20 % ofta missnöjda med för hög temperatur, för låg temperatur samt drag inomhus. Något fler anser att luften ofta känns instängd. Torr luft är den faktor som personalen är mest missnöjda med. Varannan person har varje vecka besvär med torr luft. Dessa värden är hyggligt likvärdigt med referensdata från sjukvårdsinrättningar med misstänkta problem i Sverige och Finland. Hus 11 inkl plan 3 har dock signifikant mer klagomål på för hög temperatur jämfört med referensdata från Sverige. Nedan följer några representativa kommentarer från personalen på avd 17 och 18:

”Torr luft, dragit fönster”

”Ofta varmt, dragigt om man öppnar fönster”

”Kallt och dragit på morgnarna”

”Sommar är värmen oacceptabel”

”sämre luft på avd.18 än avd.17”

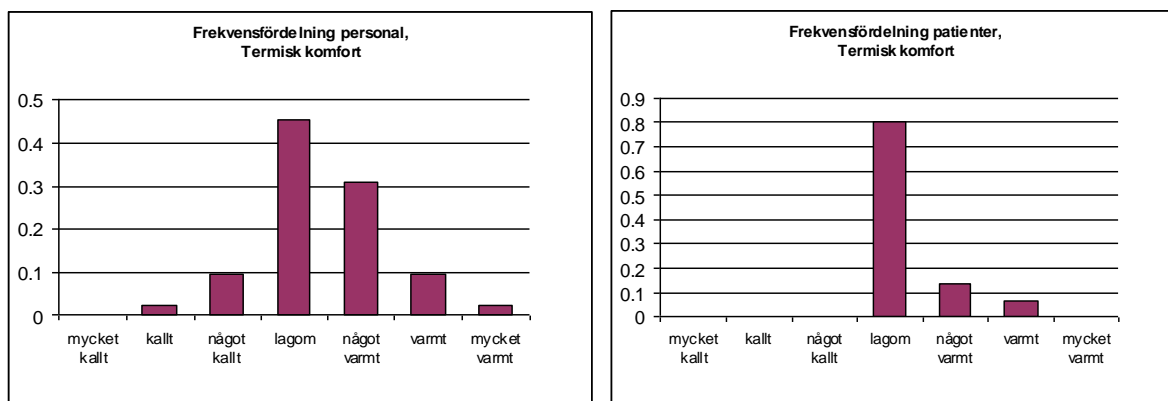
Nedan visas resultatet av de extra enkätundersökningarna där personalen samt patienter besvarade hur det momentant uppfattade inneklimatet för ett vinterfall samt senare ett sommarfall.

**Tabell 6-2. Summering av extra enkätundersökning för personal och patienter.**

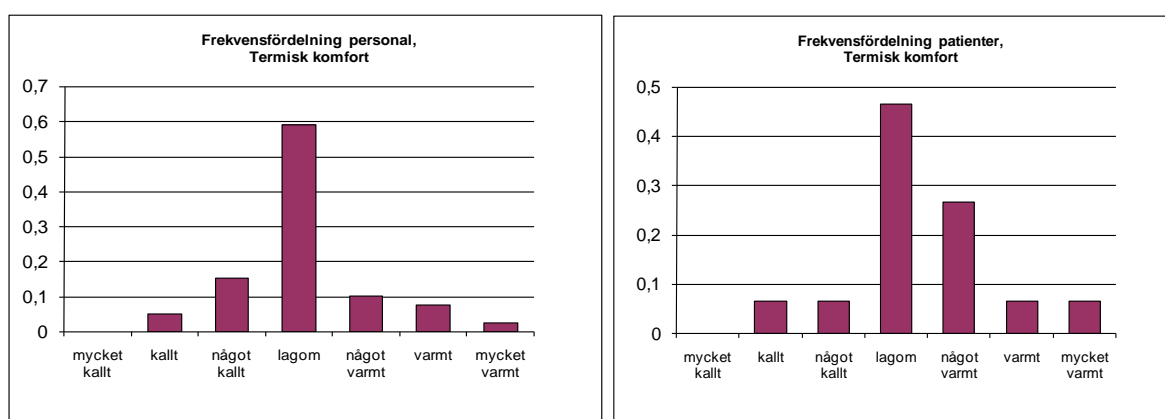
	jan. 2007		sept. 2007	
	Pers.	Pat.	Pers.	Pat.
Aktivitetsnivå (met):	1.8	1.0	1.9	1.0
Klädsel (clo):	0.61	0.61	0.61	0.64
Lufttemperatur (enkätsvar):	0.86	0.54	0.16	0.8
Luftfuktighet (enkätsvar):	-3.10	-1.34	-0.88	-1.2
Luftkvalitet (enkätsvar):	3.50	1.27	3.1	1.73
Medeltemperatur:	23.5 °C	22.6 °C	23.4 °C	23.7 °C
Relativ fuktighet:	17 %	18 %	45 %	45 %

Enkätundersökningen för vinterfallet genomfördes under vecka 2 och vecka 3 2007 medan för sommarfallet under vecka 36. I vinterenkätundersökningen deltog totalt 25 st. från personalen (varav bara en på avdelning 17) samt 20 patienter samtliga på avd. 18. Personalen fick fylla i enkäten två gånger, en på förmiddagen och en på eftermiddagen. I snitt var medeltemperaturen under enkättillfällena 23.5 °C för personalen och 22.6 °C för patienterna. Både personal och patienter tyckte att temperaturen var något för varm, se figur 6-1 (värde 0 är lagom, positivt värde för varmt, negativt värde för kallt). Luftfuktigheten uppfattas som låg, vilket den också var (strax under 20 %). Lyftkvaliteten tyckte personalen var knappt acceptabel medan patienterna tyckte att den var bra. Enkätundersökningen visar på tendens att personalen uppfattar temperaturen som högre på eftermiddagen, vilket också överensstämmer med mätningar (ca 0.4 °C högre temperatur på eftermiddagen).

Pga. att verksamheten på avdelning 17 och 18 mer eller mindre upphörde under juli och delar av juni och augusti genomfördes sommarenkätundersökningen under första veckan i september. I enkäten deltog totalt 39 st. från personalen (jämt fördelade på avdelning 17 och 18) samt 20 patienter samtliga på avd. 18. I snitt var medeltemperaturen under enkättillfällena 23.4 °C för personalen och 23.7 °C för patienterna. Både personal och patienter tyckte att temperaturen var något för varm, se figur 6-2. Dock tyckte personalen att lufttemperaturen var mer behaglig än vintertillfället trots likvärdig lufttemperatur. Till skillnad från personalen uppfattade patienterna lufttemperaturen och luftkvaliteten sämre än under vintertillfället. Orsaken tycks vara den varmare lufttemperaturen. Luftfuktigheten uppfattades som betydligt mer behaglig under sommartillfället både av personalen och patienterna.



**Figur 6-1 Svarefrekvensfördelningen för personal resp. patienter angående termisk komfort för intertillfället.**



**Figur 6-2 Svarfrekvensfördelningen för personal resp. patienter angående termisk komfort för sommartillfället.**

## 6.1.2 Mätningar och numeriska beräkning

### 6.1.2.1 Termiska klimatet

Mätningar av temperatur och relativ fuktighet genomfördes med TinyTag logger på olika platser på avdelning 18 och 17 under sommar och höst 2006 samt vinter och vår 2007.

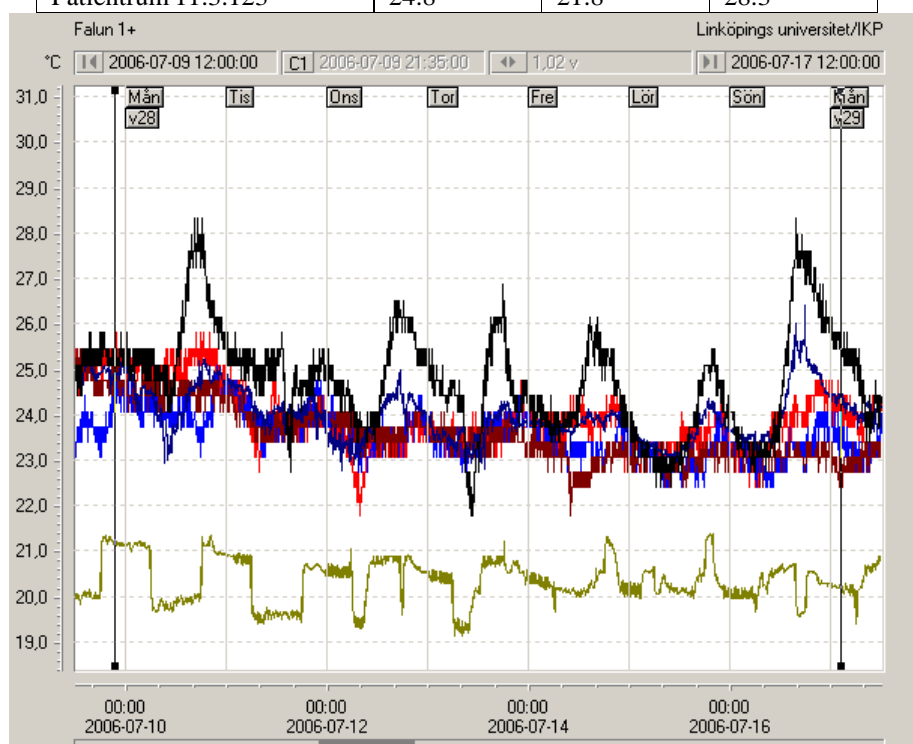
Eftersom enkätundersökningen genomförd av Gävledala Företagshälsa visade på frekvent klagomål på drag i närhet av fönster genomfördes lufthastighetsmätningar i närheten av fönster. Mätningarna visade på hastigheter över 0.25 m/s i vistelsezonen i närheten av fönstrena vid korridorerna i båda avdelning 17 och 18. Vid övriga fönster var lufthastigheten under 0.15 m/s.

#### Sommar 2006

Mätningarna genomfördes mellan vecka 25 och vecka 34. Allmänt visar temperaturmätningarna på att lufttemperaturen inomhus är generellt hög, framförallt vid 18. Patientrum 11.3.123 som ligger på avd. 18 har mycket hög temperatur dagtid under hela sommaren. Det högsta värdet är 30°C i mitten av vecka 27. Medeltemperaturen i det rummet under hela perioden är 24.7 °C. Figur 6-3 visar lufttemperatur för olika position på plan 3

under vecka 28. De bör påpekas att verksamheten under sommaren var betydligt lägre än övrig tid på året.

Benämning	Medel temperatur	Min temperatur	Max temperatur
Patientrum 11.3.156	24.0	21.8	25.8
Receptionen	23.6	22.4	25.1
Avd.17, tilluft vid nordöstra sidan	20.3	19.1	21.4
Korridor avd. 17	23.6	21.8	25.4
Korridor avd. 18	24.0	22.7	26.4
Patientrum 11.3.123	24.8	21.8	28.3



Figur 6-3. Temperaturmätning för vecka 28.

Temperaturen i tilluften varierar mellan två nivåer. En hög temperatur som återfinns nattetid mellan 18.00 och 06.00 samt en lägre nivå, cirka 1-2 °C övrig tid.

Medelvärdet på relativa fuktigheten låg kring 40 – 45 % under hela sommaren både på avd 17 och 18.

### Höst 2006

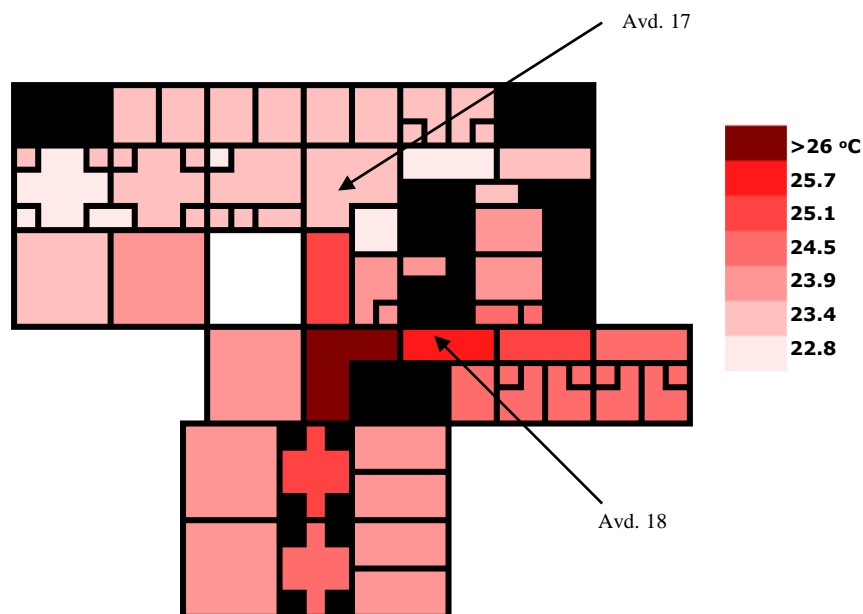
Loggning genomfördes mellan 23 september och 6 november. Mätningarna visar att temperaturen i korridoren på avd 18 fortfarande är varmare än korridoren på avd 17. Medeltemperaturen för patientrum 11.3.123 är nu lägre än temperaturen i korridoren, se tabell 6-3. Medelvärdet på relativa fuktigheten låg kring 40 under hösten både på avd 17 och 18.



**Tabell 6-3. Medeltemperatur under hösten.**

Korridor 17	22.5 °C
Korridor 18	23.0 °C
Patientrum 123	21.9 °C

En momentan lufttemperaturmätning genomfördes den 15 september. Mätningar utfördes runt kl. 15:00. Utomtemperaturen var 17.5 °C och det var halvklart väder. Figur 6-4 visar temperaturfördelning på avd 17 och 18. Patientrummen på avd 18 var upp emot 1 grad varmare än patientrummen på avd 17. Den högsta temperaturen uppträder centralt i byggnaden i korridoren på avd 18. Temperaturen var där strax över 26 °C.

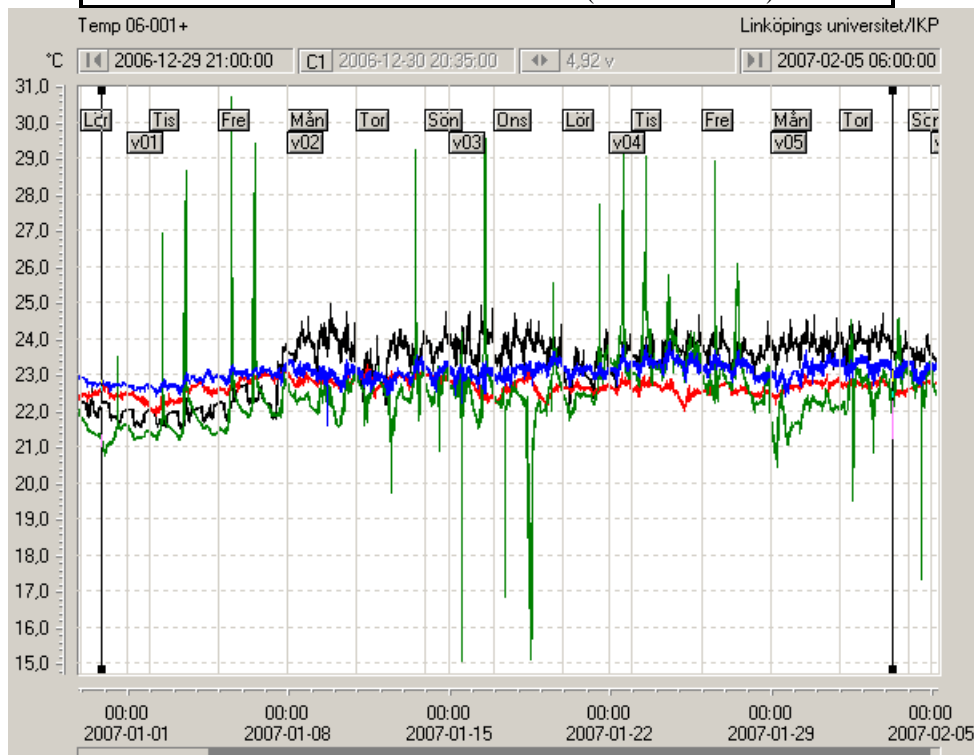


**Figur 6-4. Temperaturfördelning på avdelning 17 och 18 den 11 september 2006 runt kl. 15:00. Utomhustemperaturen var 17.5 °C och vädret var halvklart.**

#### Vinter 2007

Mätningar av temperatur genomfördes på fyra platser på avdelning 17 och 18 under hela januari månad 2007, se figur 6-5. Medeltemperaturerna redovisas i tabell 6-4. Medeltemperaturerna är mer eller mindre identiska med medeltemperaturen på hösten 2006. Det är dock kraftig variation på temperaturen i patientrum 11.3.123. Höga temperaturer har mätts upp strax efter lunch med ofta en liten topp vid 13 och en större vid 14 men ibland enbart en topp vid 13. Orsaken till detta är okänd. De låga temperaturerna som ibland uppstår beror troligen på vädring.

Färg i diagram	Plats
Svart	Receptionen
Röd	Utanför rum 11.3.183 (korridor avd. 17)
Grön	Patientrum 11.3.123
Blå	Utanför rum 11.3.170 (korridor avd. 18)



Figur 6-5. Samtliga temperaturer under hela mätperioden. Temperaturen under vecka 1 har ett annorlunda utseende jämfört med resten av mätperioden.

Tabell 6-4. Medeltemperatur under januari 2007.

Reception	23.3 °C
Korridor 17	22.7 °C
Patientrum 11.3.123	22.4 °C
Korridor 18	23.1 °C

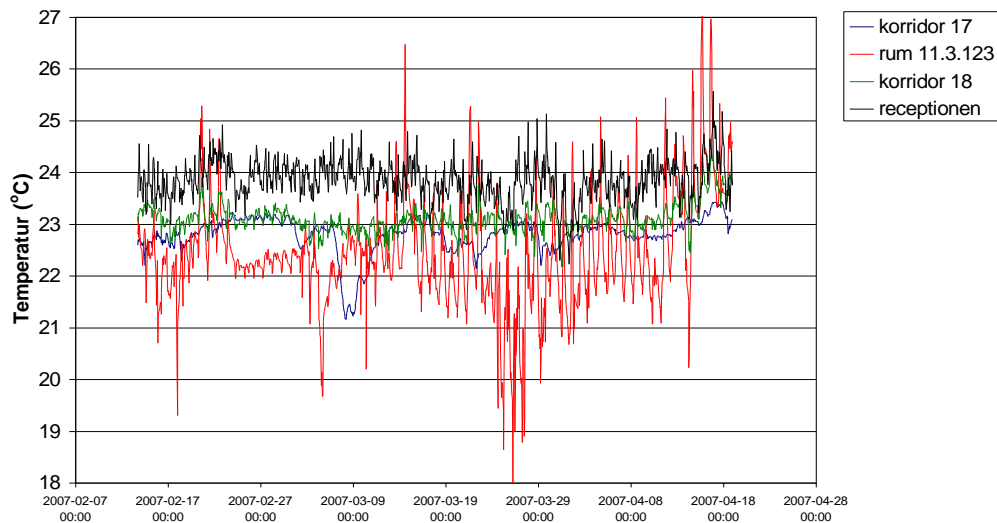
### Vår 2007

Mätningar av temperatur genomfördes på fyra platser på avdelning 17 och 18 mellan 13 februari och 18 april, se figur 6-6. Medeltemperaturerna redovisas i tabell 6-5.

Medeltemperaturerna är mer eller mindre identiska med medeltemperaturen på hösten 2006 och vintern 2007.

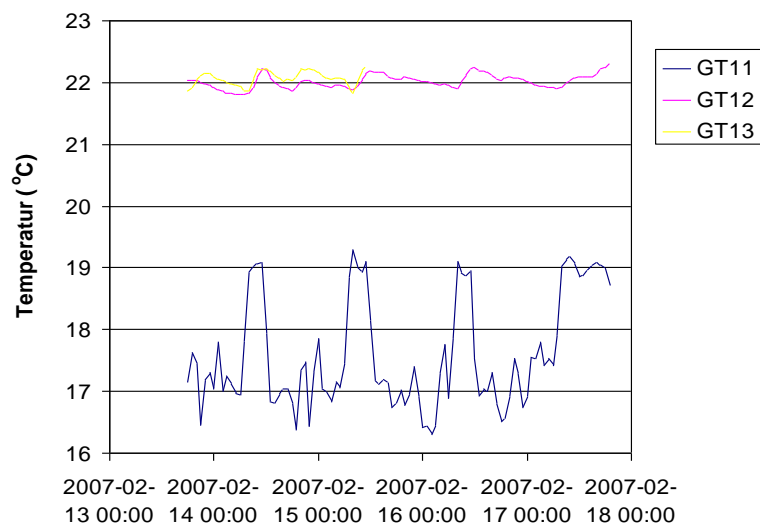
Tabell 6-5. Medeltemperatur under våren 2007.

Reception	23.8 °C
Korridor 17	22.8 °C
Patientrum 11.3.123	22.4 °C
Korridor 18	23.1 °C



**Figur 6-6. Samtliga temperaturer under hela mätperioden.**

Under våren loggades även tilluftstemperatur (GT11) och frånluftstemperatur (GT12 och GT13) för aggregat LA11 som försörjer avd 17 och 18, se figur 6-7. Av figuren framgår tydligt att tilluftstemperaturen regleras efter frånluftstemperatur (börvärde 22 °C). Tilluftstemperaturen på luften till rummen ligger ca 2 °C högre än GT11. GT12 och GT13 ligger mycket nära 22 °C under hela perioden fast temperaturen i lokalerna oftast är högre än 22 °C.

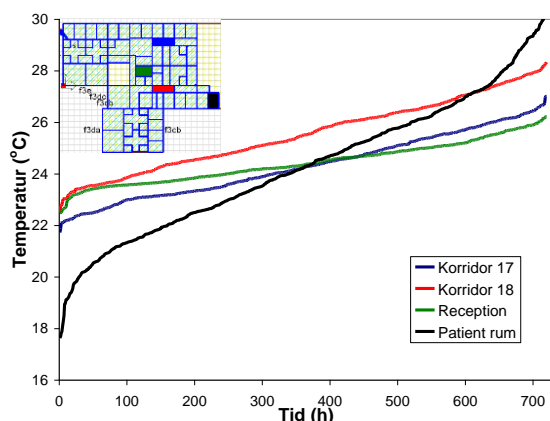


**Figur 6-7. Visar tilluftstemperatur (GT11) och frånluftstemperatur (GT12, GT13) för aggregat LA11.**

### Termiskt klimat vid full verksamhet under sommaren

Figur 6-8 visar varaktighetsdiagram över simulerade lufttemperaturen vid fyra olika positioner för en normal julimånad i Falun. Dessa simuleringsvärden gäller vid full verksamhet, stängda fönster och ingen solavskärmning. I likhet med mätningar för sommaren 2006 framgår att lufttemperaturen i patientrummet blir oacceptabelt hög under en normal julimånad. Även i korridor 18 blir lufttemperaturen mycket hög under stora delar av

tidsperioden. Korridor 17 och receptionen står emot yttre termiska klimatet bättre och håller acceptabla lufttemperaturer under stor del av tidsperioden.



Figur 6-8. Lufttemperaturen presenterat i varaktighetsdiagram vid fyra olika positioner

### 6.1.2.2 Luftkvalitet

#### Luftomsättning

Luftflödena till samtliga rum i avdelning 17 och 18 (exklusive rum 11.3.232, 11-3.233, 11.3.175A, 11.3.175C) har kartlaggs med hjälp av OVK dokumentation samt egna kontrollmätningar. Totalt uppmätt flöde mekaniskt tilluftsflöde uppgår till 9722 m<sup>3</sup>/h medan mekaniska frånluftsflödet uppgår till 11774 m<sup>3</sup>/h. Total luftomsättning ligger inom normalt värde för sjukhus. Ventilationssystemet skapar ett relativt hög undertryck i byggnaden på avd 17 och 18. Detta resultera i en luftomsättning på 3.23 oms/h (vid maximalt luftflöde) varav 2.69 oms/h är mekanisk och 0.54 oms/h är infiltration genom ytterväggar eller från andra delar av byggnaden (t.ex. hisshallen). Dock har efter att kartläggningen genomfördes en korrigering av flödesskillnden gjorts på plan 3 genom att öka tilluftsflödet vid hisshallen.

#### Koldioxidhalt

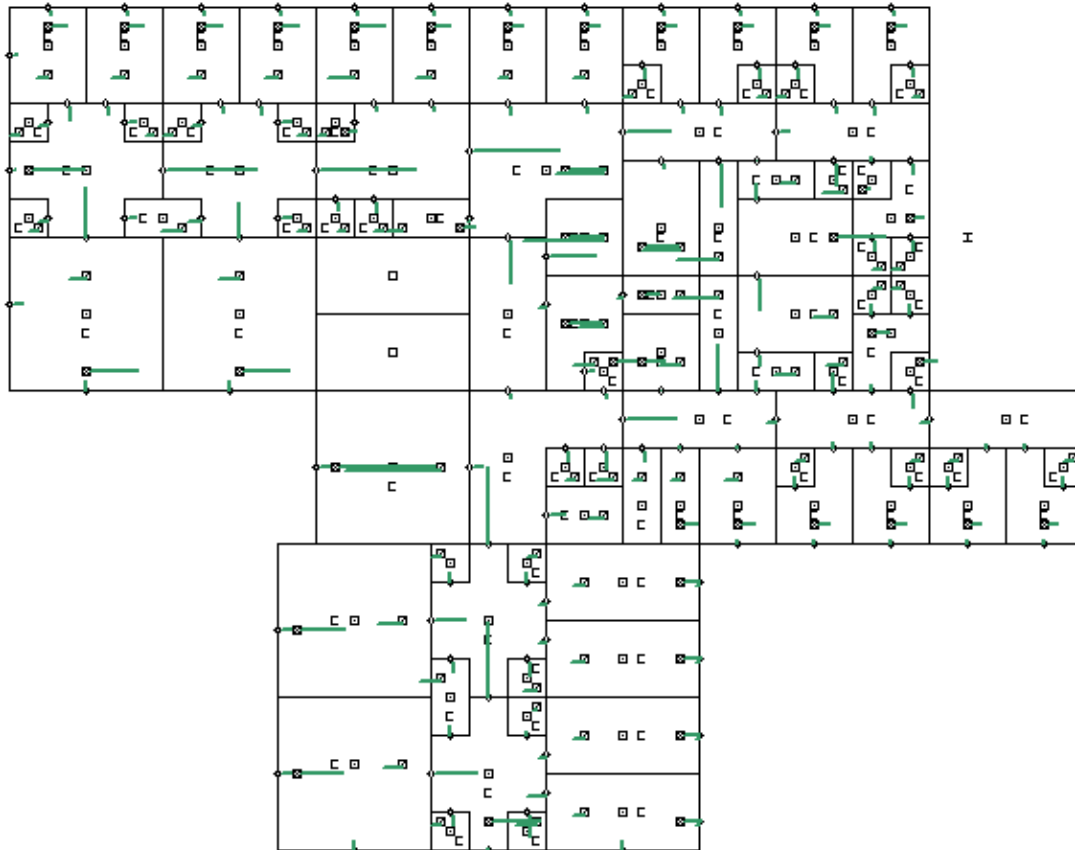
Under januari månad genomfördes även mätning av koldioxidhalten på olika positioner på avd. 17 och 18. Mätningarna utfördes under ett antal dagar kring kl.15:00. Tabell 6-6 visar resultaten från den mätningen.

Tabell 6-6. CO<sub>2</sub> – halter under januari

Korridor 18	650 ppm
Korridor 18 (nära reception)	640 ppm
Korridor 17 (nära reception)	540 ppm
Reception	560 ppm
Patientrum 11.3.123	570 ppm
Patientrum 11.3.156	700 ppm
Dagrum 11.3.162	560 ppm

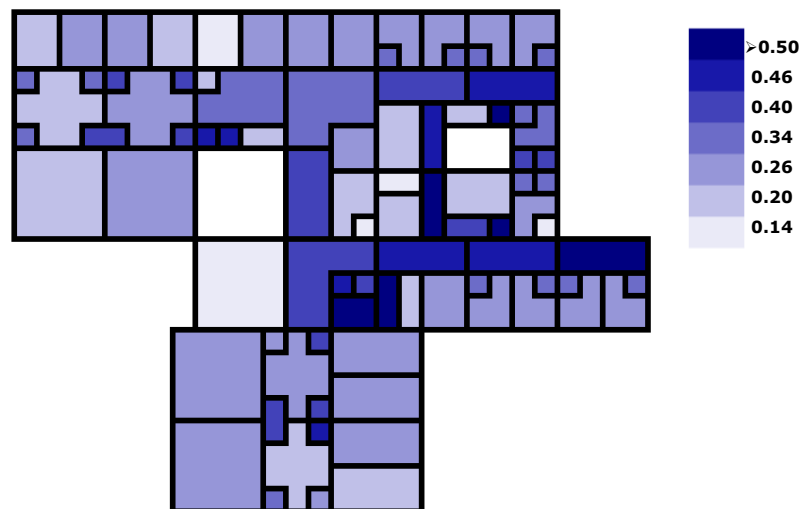
#### Luftströmmar och lokal medelålder

Genom programmet Contam har beräkningar av luftströmmar mellan olika zoner beräknats utifrån uppmätta till- och frånluftsflöden i lokalerna, se figur 6-9. Beräkningarna är giltiga för ett isotermiskt förhållande, dvs. samma temperatur i hela byggnaden. De grön strecken symboliserar luftflöden, ju längre desto högre flöde.



**Figur 6-9. Luftströmmar i och mellan olika zoner. Beräkningarna är förutsatt att temperaturen är konstant (isotermiskt förhållande).**

Utifrån luftströmmarna i bygnadsplanet kan luftens lokala medelålder beräknas, se figur 6-10. Lokal medelålder är ett mått på hur länge luften har uppehållit sig i byggnaden ifrån det att den kom in i den samma. Ju lägre värde desto bättre, dvs. mindre kontaminerad luft. Genom att studera luftens lokala medelålder kan man få en uppfattning ifall visat delar av byggnaden har bristfälligt med ”färsk” uteluft.

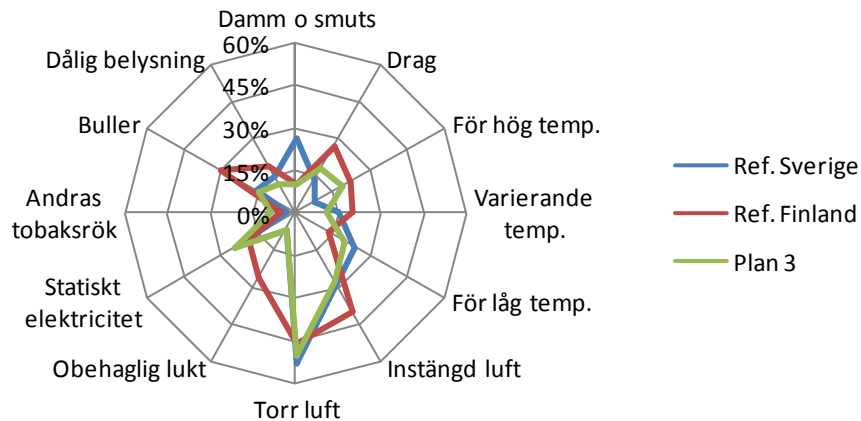


**Figur 6-10. Luftens lokala medelålder i timmar för isotermiskt förhållande.**

### 6.1.3 Analys och prestandamått

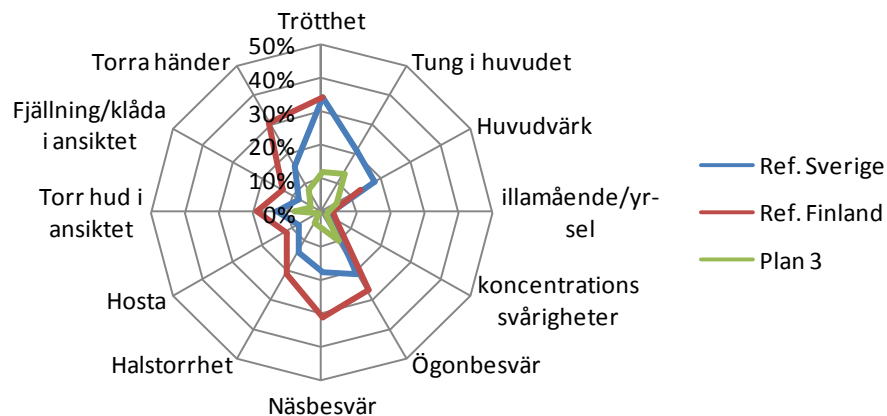
Enligt enkätundersökningen (företagshälsan) är personalen på ortopedkliniken ganska missnöjda med arbetsmiljön, se figur 6-11. Detta missnöje ligger dock i linje med andra referenssjukhus (med misstänkt inneklimatproblem) i Sverige och Finland, förutom att andel som tycker det är för hög temperatur är signifikant högre för än referenssjukhus i Sverige. Detta indikerar på att hus 11 är en problembyggnad, dock visar enkätundersökningen att andelen besvär/symtom är mycket låg jämfört med referensdata, se figur 6-12.

#### Miljöfaktorer



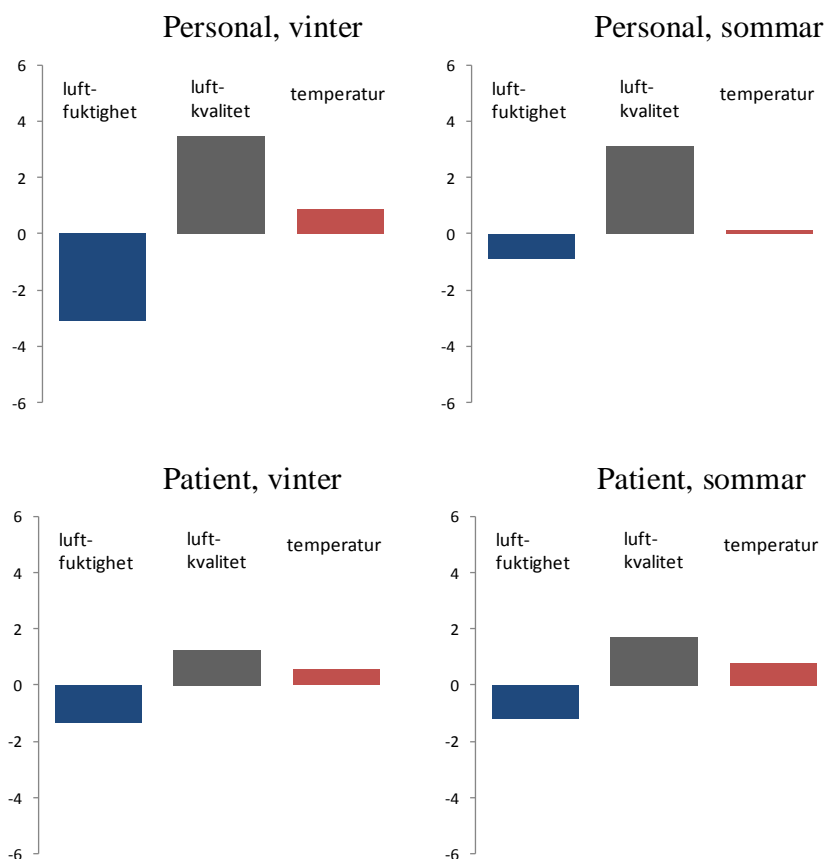
Figur 6-11. Andel individer (uttryckt i procent) som rapporterat ofta besvärande miljöfaktorer. Jämförelse mot referensdata från Sverige och Finland.

#### Besvär/symtom



Figur 6-12. Andel individer (uttryckt i procent) med ofta förekommande besvärande. Jämförelse mot referensdata från Sverige och Finland.

Utifrån resultatet från enkätundersökningen är *AMI* 0.79 och *SI* 0.25 för avd 17 och 18, vilket är lägre än jämförelsedata. Framförallt *SI* är betydligt lägre och tyder på att plan 3 kan betraktas som en ”sund byggnad” trots högt *AMI*. Personalen tycks vara ofta besvärande av diverse miljöfaktorer men dessa miljöfaktorer tycks inte påverka personalens negativt i form av ofta förekommande symtom. Det kan tänkas att andelen allergiker och personer med astmaproblem är mycket låg bland personalen.



**Figur 6-13. Diskomfortdiagram för personal samt patienter, vinterfall (jan.) och sommarfall (sept.).**

Extra enkäterna under vinter respektive sommar visar på att klimatet uppfattas som tämligen acceptabel av personalen, förutom att luften känns torr vilket är naturligt på vintern, se figur 6-13. Dessa extra enkäter visar att temperaturen kan sänkas någon grad på vintern, framförallt i korridorer och receptionen. Patienterna var mycket nöjda med klimatet under vintern. Dock bör åtgärder göras för att förhindra höga lufttemperaturer i patientrummen på sommaren. Enkätundersökning genomförd under juli månad istället för september bör ha resulterat i betydligt mer missnöje hos både patienter och personal. Patienter och personal tycks föredra ungefär samma lufttemperatur trots de två brukarnas skillnader i aktivitet. Förklaring kan vara att patienterna har möjlighet att enkelt anpassa sin klädsel i förhållande till det termiska klimatet.

Torr luft anses ge upphov till symptom såsom trötthet, ögonirritation och torr hud vilket också syns i enkätundersökningen utförd av företagshälsan. Det är vanligt med klagomål på ”torr luft” inomhus under vinterhalvåret i Sverige. Framförallt i lokaler med hög luftomsättning, till exempel sjukhusmiljöer, blir relativa luftfuktigheten ofta lägre än 20 %. Detta pga. den kalla utomhusluften med liten absolut vatteninnehåll uppvärms till innetemperaturer på ca 20 – 25 °C samt att fuktproduktionen inomhus är relativt låg.

**Allmän regel:** Miljöer som är väl ventilerade och dessutom har hög rumstemperatur löper stor risk för höga besvärfrekvenser av ”torr luft”.

Upplevelsen av torr luft hänger snarare samman med lufttemperaturen, luftens innehåll av föroreningar, samt ventilationsmängd än luftens fukttinnehåll. Både för hög eller för låg ventilationsmängd kan leda till problem med torr luft.

Temperaturmätningarna visar på höga temperaturer framförallt under sommaren. Temperaturen är då ca 1 grad varmare på avd 18 än 17. De högsta temperaturerna uppträder givetvis i rum direkt utsatta för solstrålning samt i korridoren på avd 18 nära receptionen. Under sommaren översteg lufttemperaturen 25 °C i patientrum 11.3.123 mer än 40 % av mätperioden, se tabell 6-7. Simuleringen för en normal julimånad ger en liknade bild. Simuleringen visar att värmegenereringen från solinstrålning, personlast och belysning är likvärdig. Därför är solinstrålning i kombination höga internlast (personer och belysning) och ventilationsprincipen orsaken till de höga temperaturerna inomhus. Tilluften under sommaren varierar mellan 19 och 21 grader Celsius vilket kan beaktas som ganska högt. Enligt givare GT11 som visar tillufttemperaturen ska den variera mellan 17 °C och 19 °C vilket tyder på att tilluften värms upp ca 2 °C innan den kommer in i lokalerna.

Under senhöst, vinter och tidig vår ligger temperaturen ganska stabilt runt ca 23 °C. En temperatursänkning på ca 1°C är att rekommendera framförallt i de centrala delarna. Vintertid finns även problem med drag framförallt vid fönster på morgonen. Dragproblem vid fönster uppstår troligen pga. att ventilationssystemet skapar ett relativt hög undertryck i byggnaden samt att all ventilationsluft i korridorerna i avd 17 och 18 tillförs vid fönstrena i ena änden i var och en av de två korridorerna. Relativa fuktigheten ligger mycket lågt under vintern men är ofrånkomlig utan luftbefuktning. Den låga luftfuktigheten verkar dock ej ge kraftigt upphov till besvär för personalen enligt enkätundersökning.

**Tabell 6-7. T<sub>24</sub> för vintermätning resp. T<sub>25</sub> för sommarmätning.**

	Vinter T <sub>24</sub>	Sommar T <sub>25</sub>
Patientrum	4.3 %	40.3 %
Korridor 18	0.0 %	15.6 %
Korridor 17	0.0 %	9.0 %
Reception	13 %	11.8 %

Missnöjet med arbetsmiljön hos brukarna kan relateras till de uppmätta höga värdena på lufttemperaturen under framförallt sommaren, samt uppmätta låga värden på relativ fuktighet och höga lufthastigheter kring fönster under vintern.

De tekniska mätningar och beräkningar visar inga tecken på att luftkvalitet är bristfällig. Luftomsättningen i det undersökta området är 3.23 oms/h och CO<sub>2</sub>-halterna ligger på låga värden. Luftflödesberäkningar visar att luft tillförs mest vid yttre fältet av området medan stora delar av frånluften sitter vid de centrala delarna av området. Detta resulterar i att luft transporteras från patientrummen ut i korridorerna och sedan mot de centrala delarna innan den tas ut. Därför blir luftens lokala medelålder högre i korridorerna än i patientrummen. Dock ligger alla värden på luftens lokala medelålder lågt.

Från flödesberäkningarna och mätningarna framgår att även luft tillför central i korridoren på avd 17. Detta är troligen orsaken till att även vintertid lufttemperaturen där är något lägre än på avd 18.



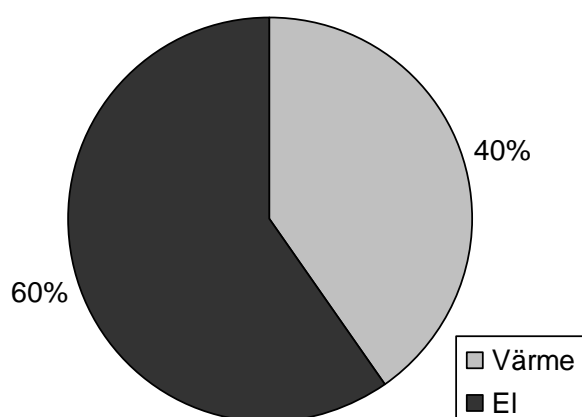
## 6.2 Energikartläggning

Energikartläggningen började med en fördelning mellan el och värme på sjukhusnivå för att brytas ner på hus 11 och på avdelning 17 och 18. Tyvärr visade det sig svårt att mäta elen till enbart hus 11 (för stort antal mätpunkter) och värmeanvändningen vid enbart avdelning 17 och 18. Värmeanvändningen vid avdelningarna har därför simulerats.

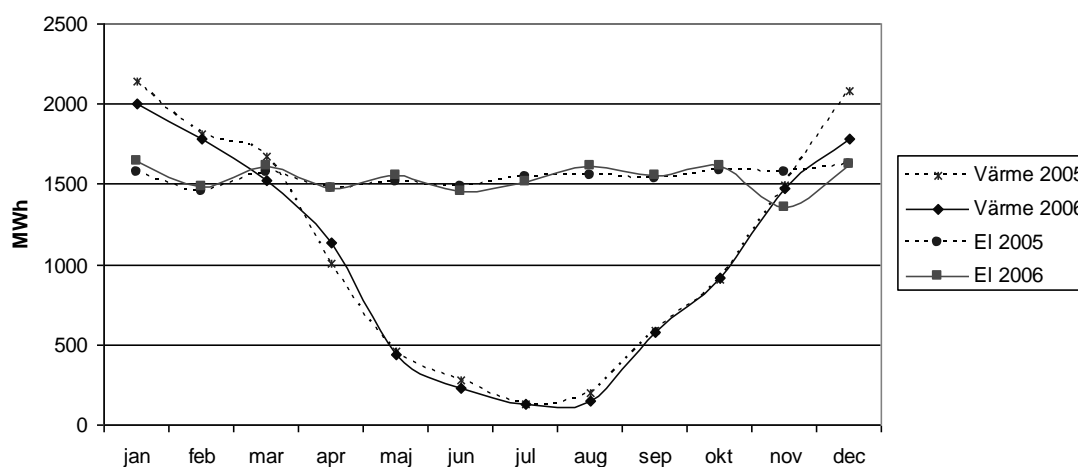
### 6.2.1 El och värmeanvändning Falu lasarett

Fördelningen mellan el och värmeanvändningen på Falulasarett redovisas i figur 6-14. I absoluta tal användes i medeltal under 2005 och 2006 18400 MWh el och 12400 MWh värme (fjärrvärme). Utöver detta återvinns ca 4250 MWh värme från kylsystemet. Kylbehov vid sjukhuset är ca 3800 MWh/år, vilket produceras via kylmaskiner. I figur 6-15 redovisas fördelningen över året för köpt energi till Falu lasarett. Värmeanvändningen är graddagskorrigerad. Som synes så är elanvändningen oberoende av årstiderna, vilket visar på att el framförallt inte används för uppvärmningsändamål. Den värmepump som finns producerar kyla och samtidigt värme året runt. Fördelningen mellan värme och el är karaktäristiskt för sjukhus som har värmeåtervinning i ventilationssystemen.

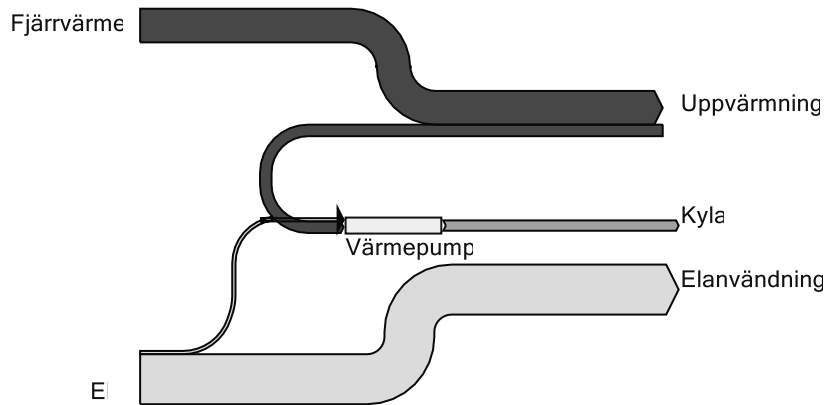
Figur 6-16 visar på storleken av olika energiflöden. Ca 25 % av värmebehovet kommer från värmepumparna som även levererar kyla.



Figur 6-14. Fördelning mellan el och värmeförsörjning till Falu lasarett.

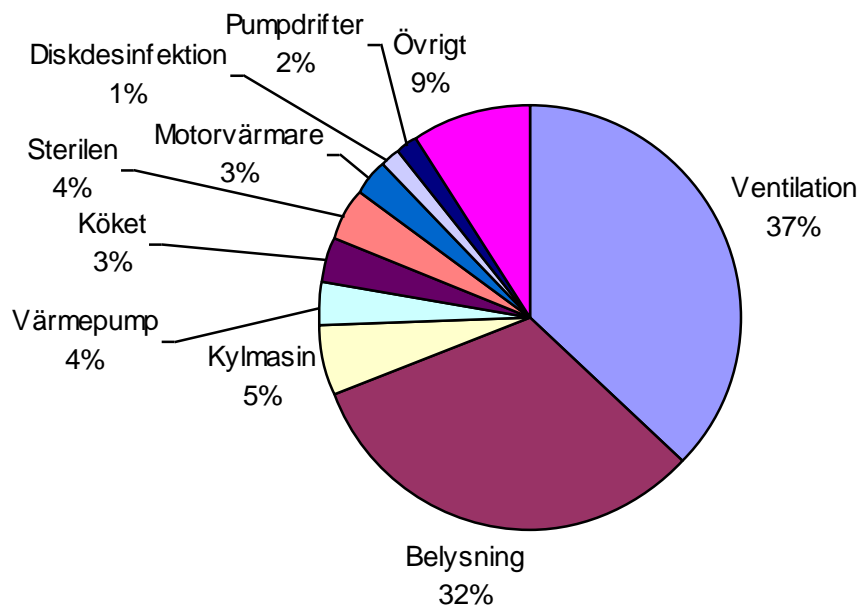


Figur 6-15. Värme och elanvändning under 2005 och 2006 vid Falu lasarett.

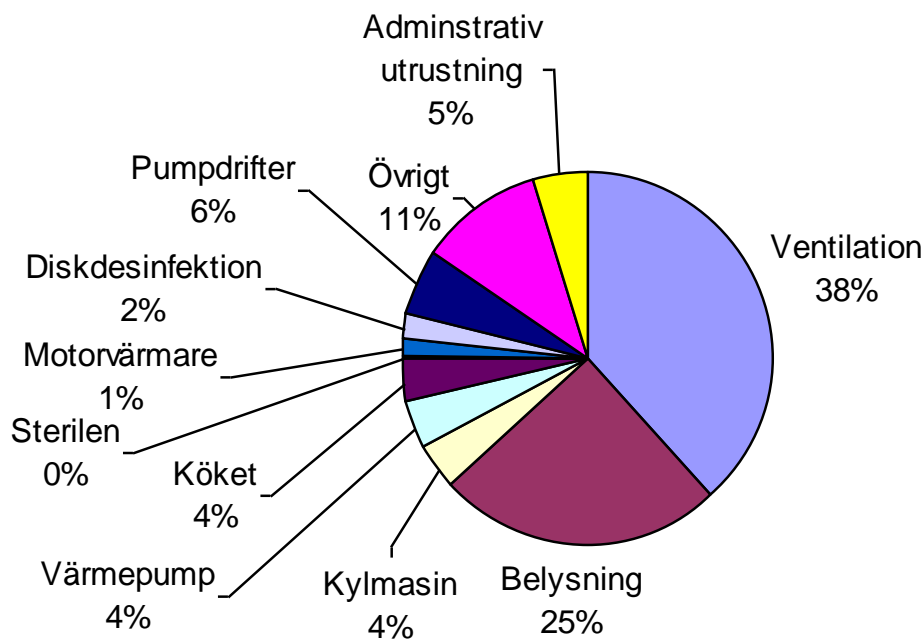


**Figur 6-16. Beskrivning av energiflöden vid Falu lasarett. El används för drift av värmepump som levererar kyla och värme till lasarettet.**

1997 genomfördes en kartläggning av elanvändningen vid hela Falu lasarett, vilket redovisas i figuren nedan. Ventilation och belysning är de två största användningsområdena. Sedan studien genomfördes har framförallt antalet datorer ökat vid sjukhuset. I den andra figuren nedan visas fördelningen för elanvändningen enligt Energimyndighetens statistik från 2007. Den största skillnaden återfinns på belysningssidan som står för en mindre andel av den totala energianvändningen i den senare statistiken samt att administrativ utrustning har tillkommit.

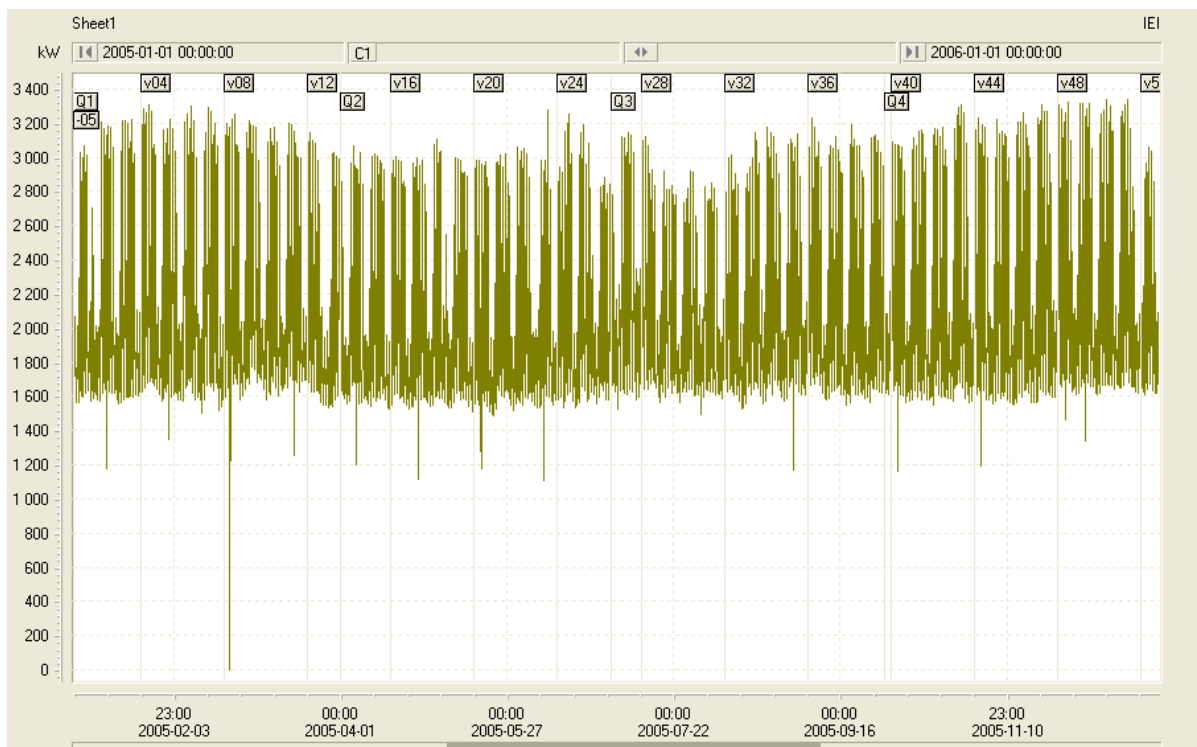


**Figur 6-17. Elanvändning vid Falu lasarett 1997**



**Figur 6-18. Elanvändning vid sjukhus och stora läkarmottagningar enligt Energimyndighetens statistik (STEM, 2008).**

Elanvändningen har ett karakteristiskt utseende som visas i figuren nedan. En baslast på ca 1600 kW ses tydligt. Topparna visar på ett tydligt mönster med störst effektbehov under veckodagarna. Något lägre behov under sommaren vilket beror på mindre verksamhet mellan vecka 28 och 32. Värderna från 2004 och 2006 har likartat utseende.



**Figur 6-19. Eltillförsel till Falu lasarett under 2005 (data från Falu kraftnät).**

### **6.2.2 Värmebehov hus 11**

Värmebehovet har hämtats från driftövervakningssystemet och uppgick under 2006 till 1231 MWh (graddagsjusterat). Värmebehovet i hus 11 motsvarar därmed 10 % av hela sjukhusets värmebehov. Den totala arean av hus 11 är 33000 m<sup>2</sup>, vilket motsvarar 20 % av hela sjukhusets area.

### **6.2.3 Elanvändning på avdelning 17 och 18**

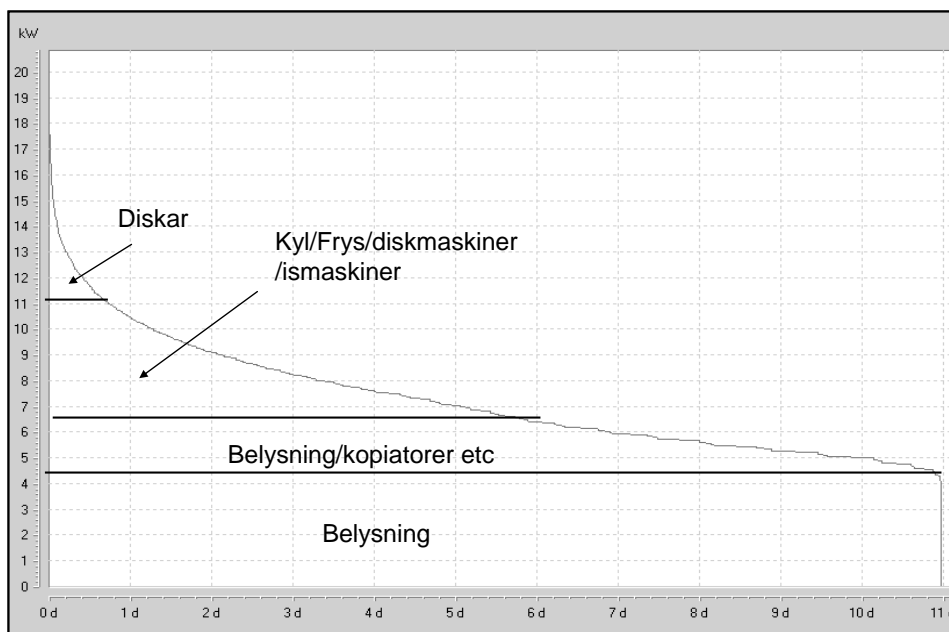
Elbehovet till avdelning 17 och 18 varierar enligt samma mönster som för hela sjukhuset med ett liknande mönster under veckodagarna, en något lägre nivå dagtid under helger, samt en lägre nivå under natten. Mätningarna som genomfördes under hösten med tvåminutersintervall visade på spikar motsvarande 7 kW. Dessa hänfördes till diskmaskiner. För att ytterligare undersöka hur dessa påverkade den totala elanvändningen konfirmerades detta genom mätningar med 30 sekunders intervall under våren 2007. Resultatet av dessa mätningar pekade i samma riktning.

#### **6.2.3.1 Nattvandring**

Nattvandringen genomfördes natten mellan den 5e och 6e januari 2007. Huvudsyftet var att studera vad energianvändningen bestod i under natten. Samtliga noteringar finns sammanställda i Appendix. Sammanfattningsvis kan vi konstatera att ett antal armaturer var påslagna i rum där det inte förekom någon verksamhet när vi var där. Framförallt gällde detta diskutrymmen där den installerade effekten är mycket hög. Detta motsvarar ungefär 3,4 kW installerad effekt och ett motsvarande energibehov på 30 MWh om de alltid står på. Övrig aktivitet var lugn då de flesta patienter sov och därmed inte använde TV, hade sänglampor tända etc. Vid senare besök har de slutna rum där belysningen var tänd nattetid undersökts och befunnits tända även dagtid.

#### **6.2.3.2 Fördelning av el på processer, avdelning 17 & 18**

Utifrån utseendet på varaktighetsdiagrammet och noteringar kring användning av utrustning under besök på avdelningen har fördelning av vanlig och viktig kraft skett på olika processer. Varaktighetsdiagrammet nedan visar på hur fördelningen har gått till. Baslasten består framförallt i belysning. Ovanför det finns en del där effekten varierar med tiden, vilket kan hänföras till belysning och administrativ utrustning som kopiatorer, printrar etc. Kyl och frys som är termostatstyrda återfinns i nästa del av diagrammet. Högst upp ligger processer med höga effekttoppar, vilka hänförs till diskarna som har en effekttopp på 7 kW.



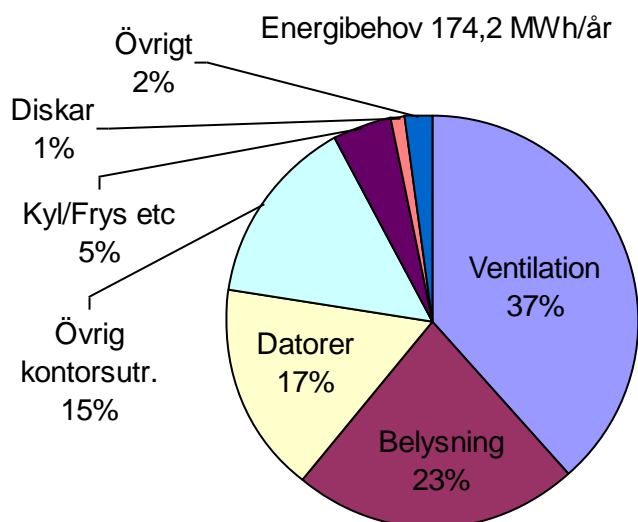
Figur 6-20. Varaktighetsdiagram för vanlig kraft vid avd. 17/18.

Utifrån varaktighetsdiagrammens utseende och noteringar vid nattvandringen så fördelas elanvändningen mellan olika processer på följande sätt på årsbasis. Den totala siffran 114,2 MWh/år motsvarar endast 0,62 % av sjukhusets hela elanvändning. Utöver detta tillkommer elanvändning i ventilation som kan hänföras till avdelningen.

Tabell 6-8. Elanvändning i utrustning och belysning

Parameter	Energibehov [MWh/år]	Specifik energianvändning [kWh/m <sup>2</sup> ]
Belysning	53	38,7
Datorer	26	19,0
Övrig kontorsutr.	23	16,8
Kyl/Frys etc.	7,5	5,5
Diskar	1,7	1,2
Övrigt	3	2,2
<b>Totalt</b>	<b>114,2</b>	<b>83,4</b>

Summeras hela kartläggningen av elanvändningen blir resultatet sådant som redovisas i diagrammet nedan. Belysning och ventilation diskuteras mer ingående i följande avsnitt.



**Figur 6-21. Fördelning av elanvändningen vid avd 17 & 18**

Jämförelse med statistik redovisad i Energimyndighetens rapport är inte rättvisande eftersom Energimyndigheten redovisar på byggnadsnivå och inte på avdelningsnivå. I deras studie står ventilationsel för ca 38 % av energibehovet, belysning för 25 %, PC etc. för ca 4 %, kök och pentry för 1,6 % och diskar för knappt 1 % (se Figur 6-18). Mängden kontorsutrustning skiljer sig därmed gentemot urvalet i Energimyndighetens studie.

#### 6.2.3.3 Belysning

Belysningens energianvändning uppskattas till 38,7 kWh/m<sup>2</sup> och år, vilket kan jämföras med medelvärdet för svenska sjukhus som är 23,5 kWh/m<sup>2</sup> och år (STEM, 2008). På avdelningarna används ungefär 630 lysrör av olika effekter. Den totala installerade effekten är 18,2 kW. Många av dessa lampor är tända dygnet runt, vilket visade sig under nattvandringen och via elmätningarna som visar på en baslast relaterad till belysning. Ett antal armaturer är så kallade lågeffektarmaturer men ett inte negligerbart antal är 36 Watt eller mer. De armaturer som är tända längst är i regel också sådana med högst effekt. Tabell 2 nedan sammanfattar fördelningen av belysningen.

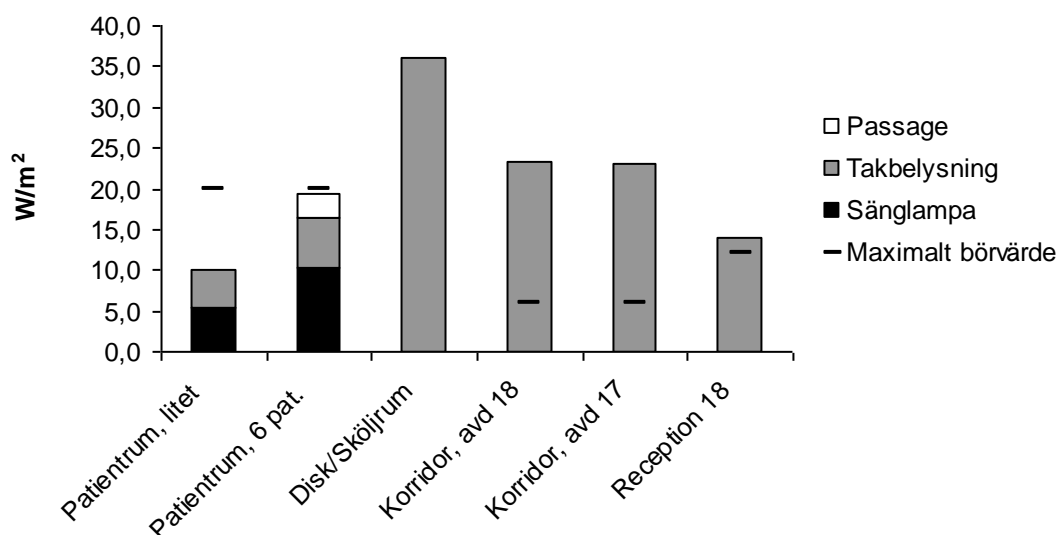
**Tabell 6-9. Sammanställning belysning avd. 17/18**

Rumtyp	Beskrivning av belysning	Kommentar
Personalutrymmen (reception)	Generellt sett moderna armaturer (28 W/lysrör). På avd. 17 kraftigare men färre armaturer (58 W, färre antal lysrör)	Lätta att sätta på och av och anpassa belysningen i utrymmet
Patientrum	Varje bädd har 2x40 W installerad effekt i sänglampan. Takbelysning i patientrum 4x18 W. I stora patientrum finns 4x4x18 W. Liten sänglampan (glödlampa) vid varje säng	Sänglampan kontrolleras via brytare vid ingång (ej från sängen). Även dagrummet har takbelysning 6x4x18 W. Belysningen i patientrum används relativt sparsamt.
Korridorer	Belysning utmed samtliga korridorer	Korridorsbelysningen är i

	36 W per lysrör. Totalt 40 st.	princip alltid tänd.
Verksamhetsrum, förråd, sköljrum etc.	Dessa rum har gamla armaturer med höga effekter. Sköljrum 24x36 W. Totalt fyra sköljrum.	Belysningen i verksamhetsrum verkar vara tänd dygnet runt även när de inte används.

Den specifika installerade belysningseffekten per rumskategori fördelar sig enligt diagrammet nedan. Totalt installerad belysningseffekt är 15 W/m<sup>2</sup>. Medelvärdet för sjukhus i Sverige ligger på 8,6 W/m<sup>2</sup> (STEM, 2008). Den nationella statistiken gör skillnad på patientbundna och personalbundna lokaler där den installerade effekten är 9,0 respektive 10,9 W/m<sup>2</sup> (STEM, 2008). Figur 6-22 visar den installerade effekten i ett antal rum vid avdelning 17 & 18. Framförallt är det i disk och sköljrummen som den specifika installerade belysningseffekten är hög. Det är också i dessa rum som belysningen befanns vara påslagen en stor del av dygnet.

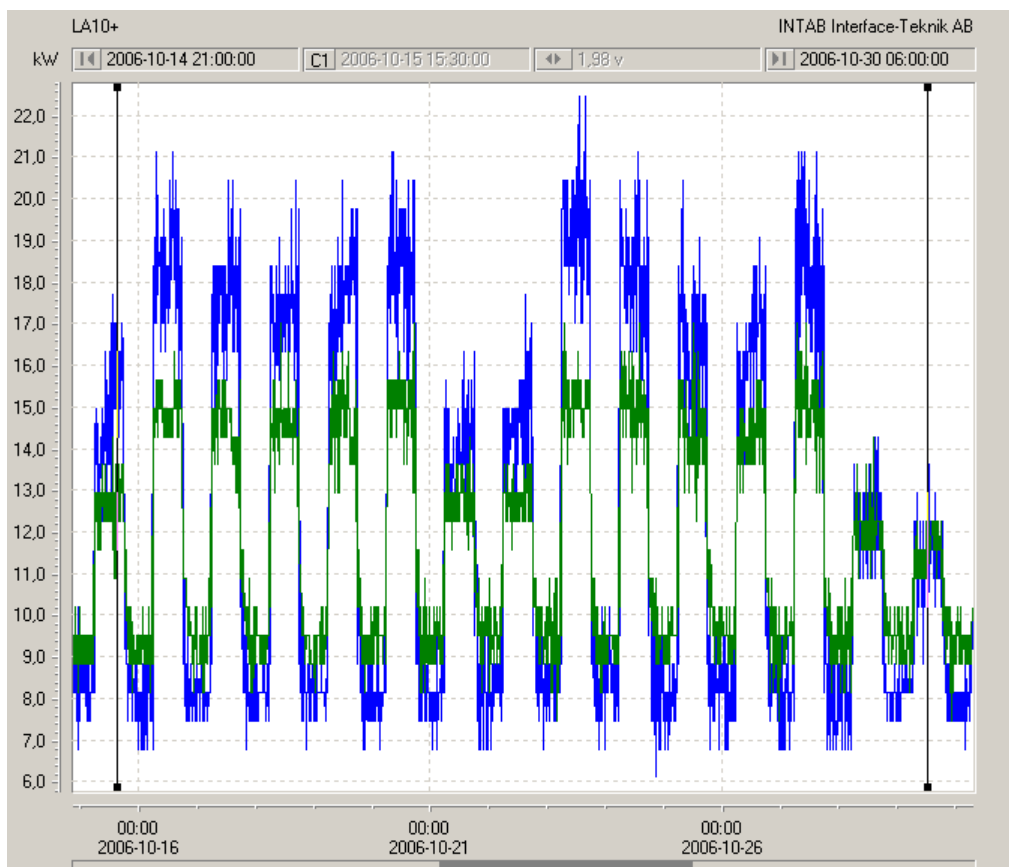
I Figur 6-22 visas även maximalt börvärde utifrån tidigare studier (Carlsson, 1992; Carmonius & Pålsson, 1999). I patientrum finns det exempel på projekt med installerade effekter mellan 5 och 12 W/m<sup>2</sup> med gott resultat, 20 W/m<sup>2</sup> ska därför ses som ett maximalt börvärde. I korridorerna finns möjlighet att minska den installerade belysningen genom byte av armaturer. Det är också i dessa utrymmen som belysningen har längst brinntid.



Figur 6-22. Installerad belysning i olika typer av rum vid avdelning 17 & 18.

#### 6.2.3.4 Ventilationssystemet

Nedan redovisas mätning av fläktarnas elanvändning. Det finns två tilluftsfläktar och två frånluftsfläktar i LA10 som tillgodoser den nordvästra delen av hus 11.



Figur 6-23. Effektbehov i fläktar. Blå frånluftsfläkt och grön tilluftsfläkt.

Det totala elenergibehovet i LA10 och LA30 motsvarar enligt mätningarna<sup>2</sup>, 860 MWh/år, vilket motsvarar 4,7 % av hela sjukhusets elanvändning. Temperaturhöjningen från fläktarna motsvarar ungefär 0,5°C beräknat utifrån en mekanisk verkningsgrad på 84,7%, nominellt luftflöde och total tryckökning.

Om endast LA10 antas försörja avdelning 17 och 18 med ventilationsluft kan elanvändningen för ventilation till avdelningarna beräknas. Tilluften till avdelning 17 & 18 står för ca 13 % av totala tilluftsflödet, respektive 16 % av totala frånluften, levererat av LA10. Den årliga energianvändningen för LA10 som kan allokeras på avdelning 17 & 18 blir därmed ca 60 MWh eller 43,8 kWh/m<sup>2</sup>, vilket kan jämföras med det nationella medelvärdet för sjukhus på 33,2 kWh/m<sup>2</sup> (STEM, 2008).

Effektbehovet för fläktarna vid maximalt flöde är 70 kW (Tilluftsfläktarna: 29,6 kW och frånluftsfläktarna: 36,8 kW), Maximala tilluftsflödet är 21,985 m<sup>3</sup>/s och maximala frånluftsflödet är 22,778 m<sup>3</sup>/s. SFP-talet beräknas då till 2,92 kW/m<sup>3</sup>,s<sup>-1</sup>. Vid halva flödet (frånluftsfläktarna 16,6 kW och tilluftsfläktarna: 19,4 kW) blir SFP-talet 3,16 kW/m<sup>3</sup>,s<sup>-1</sup>. De genomsnittliga SFP-talen som återfinns i Energimyndighetens energistatistik gällande sjukhus är 2,4 kW/m<sup>3</sup>,s<sup>-1</sup> (STEM, 2008).

#### 6.2.3.5 Hissar och tryckluft

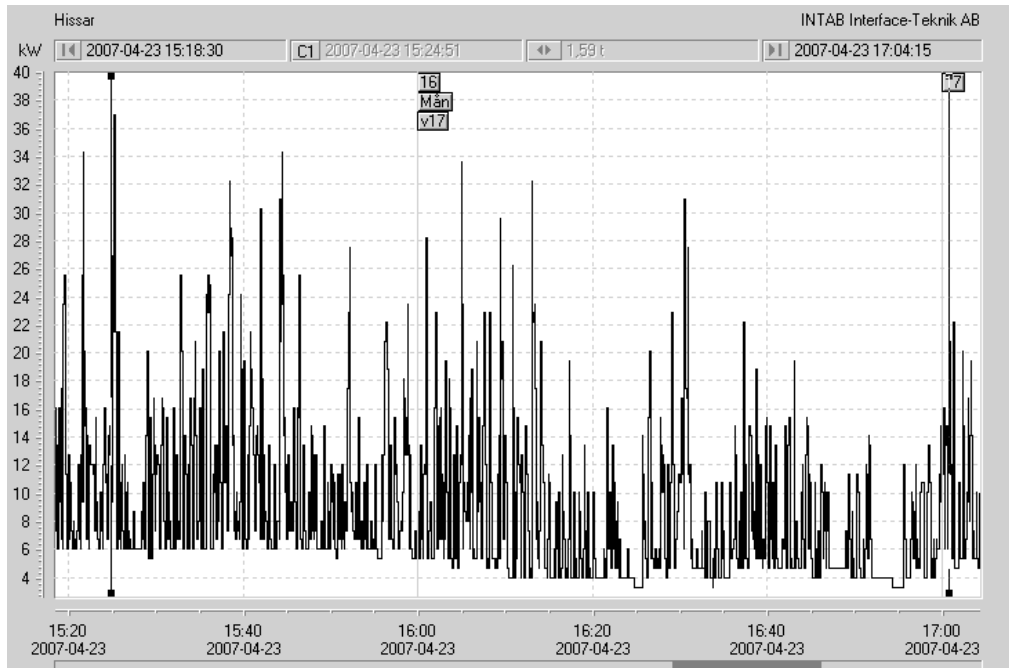
Huvudsyftet med studien har varit att studera avdelning 17 & 18. Därmed har inte någon fördelning av elanvändningen skett på fastighets- eller lasarettsnivå. Dock har mätningar av

<sup>2</sup> Med grundantagandet att mätningarna är representativa för hela året samt att LA10 och LA30 arbetar ungefär likadant



elanvändningen skett på hissarna i hus 11 och tryckluftssystemet för hela lasarettet för att kvantifiera storleken på energi och effektbehoven.

I Hus 11 finns sex stycken hissar centralt placerade i huset. Totalt på lasarettet så finns 52 hissar av varierande storlek. Mätningen utfördes med en samplingsfrekvens på 5 sekunder under en måndag mellan 08:00 och 19:00. En baslast på 6 kW har uppmätts, denna minskar runt 16:00 då den sjunker till 4 kW (Figur 6-24).



Figur 6-24. Effekter i hissar hus 11. Klockan 16.00 så minskar baslasten från 6 till 4 kW.

Mätningen genomfördes endast under en dag men under antagandet att den höga nivån är representativ för arbetsdagar 7-16 och den låga nivån övrig tid så uppskattas elanvändningen i hissarna till 37 MWh (0,2 % av totala elanvändningen vid sjukhuset).

Tryckluften mättes till att motsvara 1,2 % av hela sjukhusets elanvändning. Baslasten står för en betydande del av behovet och det finns möjlighet att minska elbehovet genom att minska tomgångsförlusterna i systemet, vilka motsvarar ca 160 MWh (beräknas utifrån det faktum att baslasten motsvarar 18,4 kW och antas vara konstant under året)<sup>3</sup>.

#### 6.2.4 Simulerade värden för tillförd värme och kyla

Det har inte varit möjligt att mäta tillförseln av värme och kyla till avdelning 17 & 18. Därför har en simuleringsmodell av objektet byggts upp i byggnadssimuleringsprogrammet ESP-r (se Appendix 2). Utifrån denna modell har värmeanvändningen och kylanvändningen som kan härröras till avdelning 17 & 18 beräknats till 164 MWh värme (normalårskorrigerat) respektive 20 MWh kyla. Jämfört med värmeanvändningen i hela hus 11 så motsvarar detta ca 13 %. Eftersom avdelningarna ligger på plan fyra med enbart ventilationslokaler ovanför sig, som endast delvis täcker taket så är våningen i ett utsatt läge och använder därmed mer värmeenergi relativt huset i övrigt.

<sup>3</sup> För vidare diskussion kring tryckluftssystemet hänvisas till rapporten ”Energianalys av avd 17/18 Falu Lasarett”.

### 6.2.5 Analys och prestandamått för energi

Utifrån mätningarna som presenterats ovan kan slutsatserna dras att det är ventilation och belysning som står för det största användande av energi vid avdelning 17 & 18. Energieffektivisering av dessa två processer bör prioriteras. Den installerade belysningseffekten vid avdelningen är i en del fall mycket stor och bör kunna reduceras. I nästa läge bör administrativ utrustning gås igenom.

Tabellen nedan sammanfattar nyckeltal som beskriver energianvändningen vid avdelning 17 & 18, hus 11, Falu lasarett samt uppgifter för Sveriges sjukhus från Energimyndighetens rapport. Elanvändningen per kvadratmeter är högre vid avdelning 17 & 18 än vid Lasarettet i övrigt samt jämfört med medelvärdet för svenska sjukhus. Skillnaden mot Falu lasarett beror till stor del på att värdet för Falu lasarett fördelas på stora ytor med låg verksamhetsgrad (till exempel kulvertar, entréer etc.). Den simulerade värmeanvändningen ligger högre för avdelning 17 & 18 än sjukhuset och hus 11. Detta kan förklaras med avdelningarnas utsatta läge i byggnaden. Den låga specifika värmeanvändningen för hus 11 förklaras med stora ytor som inte värms i så stor utsträckning (knappt hälften av byggnaden ligger under jord).

Kylbehovet leder till ett elbehov i värmepumparna, men omvandlas också till värmeproduktion i dito utrustning. Med ett årligt COP på 3 så kan elbehovet till följd av kylanvändningen vid avdelning 17 & 18 beräknas till 6,7 MWh.

För att få en uppfattning om hur mycket primär energi som används vid avdelning 17 och 18 måste el, värme och kylbehovet multipliceras med primärenergifaktorer. På detta sätt inbegrips även det omgivande energisystemet i beskrivningen av energianvändningen vid avdelningen. Värmepumpen står för 25 % av värmeförseln internt på sjukhuset. Utifrån formel som beskrivs i Appendix 3-Primärenergifaktorer, så beräknas primärenergianvändningen för avdelning 17 & 18 till 494 MWh eller 360 kWh/m<sup>2</sup>. Den högre primärenergianvändningen vid avdelning 17 & 18 jämfört med Falu lasarett i sin helhet förklaras med en högre elanvändning vid avdelningen.

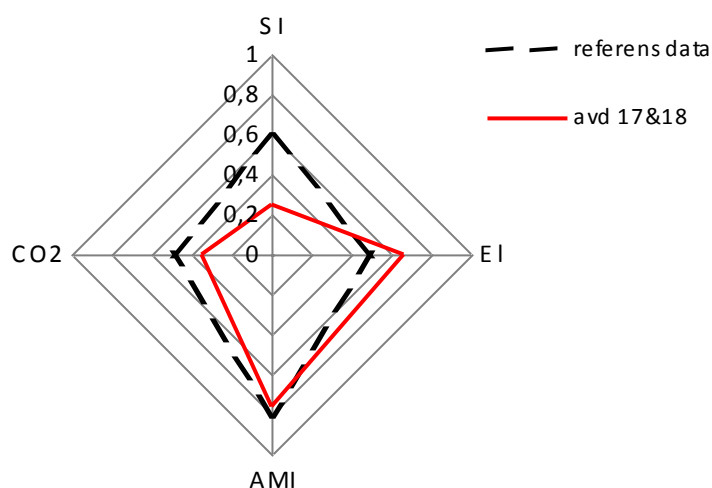
**Tabell 6-10. I tabellen nedan ges exempel på nyckeltal för energianvändningen utifrån kartläggningen. Kursiverade värden är simulerade.**

Parameter	Avd 17 & 18	Hus 11	Falu lasarett	Sverige medel sjukhus (STEM, 2008)
Antal kvadratmeter, m <sup>2</sup>	1370	33000	167000	-
Antal bäddar, st	52	?	?	-
MWh <sub>el</sub> totalt/år	174,2	-	18400	-
kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> , år	127,2	-	110	96
kWh <sub>el</sub> /bädd, år	3350	-	-	-
MWh <sub>värme</sub> totalt/år	164	1231	12400	-
kWh <sub>värme</sub> /m <sup>2</sup> , år	120	37,3	74,3	126
kWh <sub>värme</sub> /bädd, år	2885	-	-	-
MWh <sub>kyla</sub> /år	20	-	3800	-

kWh <sub>kyla</sub> /m <sup>2</sup> ,år	14,6	-	22,7	-
MWh <sub>fläkt</sub> totalt/år	60	860	-	-
kWh <sub>fläkt</sub> /m <sup>2</sup> , år	43,8	26,1	-	33,2
kWh <sub>fläkt</sub> /bädd, år	1154	-	-	-
kWh <sub>belysning</sub> /m <sup>2</sup> , år	38,7	-	-	23,5
kWh <sub>belysning</sub> /bädd, år	1020	-	-	-
kW <sub>Installerad belysning</sub> /m <sup>2</sup>	15	-	-	8,6
Primär energi kWh/m <sup>2</sup>	360	-	288	349
CO <sub>2</sub> kg/m <sup>2</sup>	14,8	-	11,4	20,9

### 6.3 Gemensam energi- och inneklimatprestanda

Figur 6-25 visar på en gemensam beskrivning av energi- och inneklimatprestanda för avdelningen relativt nationellt medel. Grafen för avdelning 17 & 18 ligger innanför referensvärdet för samtliga parametrar utom elanvändningen. Avdelningen använder mer el än jämförbara nationella medelvärden men ändå mindre primär energi och med lägre koldioxidutsläpp än referensen, vilket förklaras med att fjärrvärmesystemet i Falun till största delen är baserat på fliseldad kraftvärme. Värme ger därmed lägre koldioxidutsläpp för Falun än det nationella snittet där svensk fjärrvärmemix har använts. *SI* och *AMI* har diskuterats tidigare i kapitel 6.1.3. En kortfattad förklaring till grafen är att personalen, trots besvär av miljöfaktorer i samma utsträckning som referensen, inte verkar bli påverkade negativt, vilket tyder på låg andel allergiker och att personalen trivs med sitt arbete.



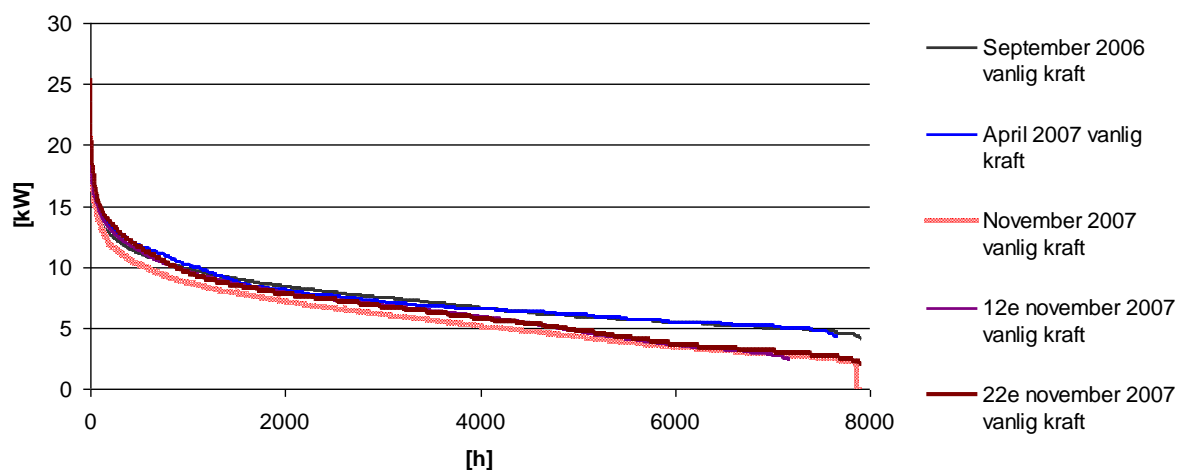
Figur 6-25. Energi och klimatprestanda, spindeldiagram för jämförelse av olika objekt vid sjukhus.

## 6.4 Åtgärdsförslag

Ett antal åtgärder diskuterades under projektets gång, endast ett fåtal hann genomföras och uppföljning har inte varit möjlig i flertalet fall. Presentationen nedan gäller genomförda åtgärder (effekt av belysningsåtgärder och balanserad ventilation) och föreslagna åtgärder där effekterna simulerats eller visats på andra sätt.

### 6.4.1 Effekt av belysningsåtgärder

Under energikartläggningen hittades rum med hög installerad belysnings effekt och med långa drifttider. Framförallt gällde detta diskrummen där armaturen är integrerad med frånluftsdonet, vilket gör det kostsamt och svårt att byta hela armaturen till mer energieffektiva. Eftersom rummet är ett sådant att personal ofta går in och ut under korta stunder lämpar sig rummet för närvarosensorer. Genom att minska drifttiden på installerad belysning kan elanvändningen minska och risken för övertemperaturer minskar också. Närvarosensorer installerades i samtliga diskrum på avdelning 17 och 18 under november 2007. Tre mätningar gjordes under november för att se om installationen gav något resultat, mätningen gjordes under flera veckor för att minska risken för tillfälliga förändringar i elanvändningen eftersom det inte är möjligt att mäta enbart elbehovet för belysning. I figuren nedan redovisas mätningar för vanlig kraft för hela avdelningen under november 2006, april 2006 samt november 2007.



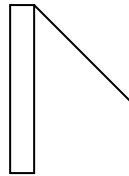
Figur 6-26. Uppmätta effekter före och efter införandet av närvarosensorer.

I figuren ovan syns tydligt att baslasten har sjunkit efter att åtgärden infördes. Skillnaden i baslast är 2 kW, vilket motsvarar 17,5 MWh på årsbasis. Det betyder att åtgärden minskar avdelningarnas elanvändning med 10 % (0,1 % av hela sjukhusets elbehov). Investeringen för åtgärden motsvarar 1500 för material inklusive installation för varje rum. Totalt genomfördes åtgärden i sex rum, vilket ger en återbetalningstid på knappt ett år.

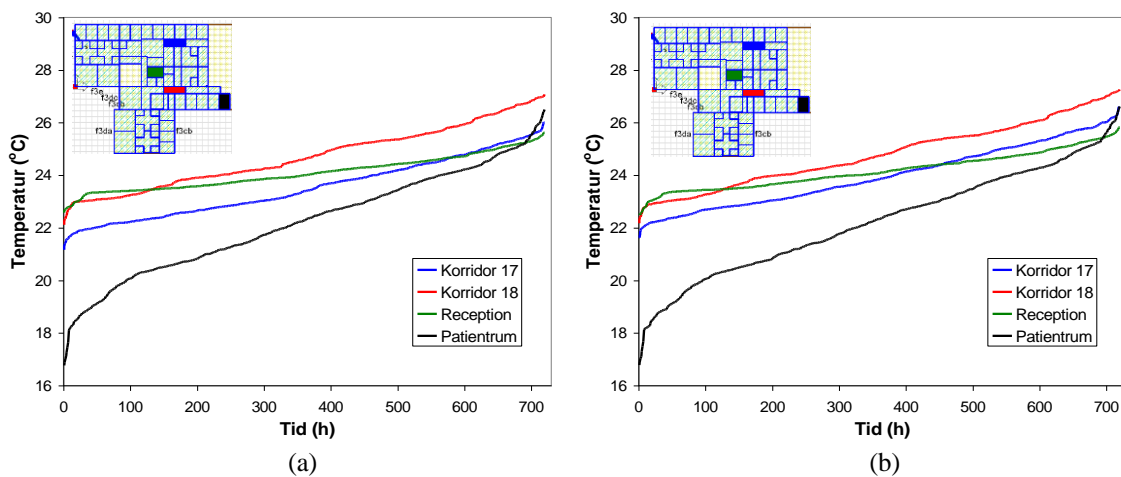
Simuleringsresultat visar att installation av närvarobelysning i diskar och förråd samt byte av äldre armatur (installerad effekt reducerandes med 25 % i alla rum förutom receptionen och rum med närvarobelysning) minskar förbrukningen av belysningsel med ca 43 % per år, vilket motsvarar nästan 23 MWh per år. Temperaturen i framförallt korridorerna sjunker med ca 0.8 grader på dagarna under sommaren. Temperaturen i patientrummen påverkas mycket lite eftersom solinstrålning är det dominerande värmetillskottet under sommaren.

### 6.4.2 Solavskärmning

Genom installation av markiser minskar solinstrålningen betydligt vilket leder till bättre termiskt klimat sommartid och kan även resultera i lägre användning av el för kyla. Markis som döljer 50 % av fönsterhöjden valdes för att ej reducera dagsljusinsläpp och utsikt för mycket, se figur 6-27.



Figur 6-27. Typ av markis som används i studien.



Figur 6-28. Lufttemperaturen vid fyra positioner när solavskärmning med markiser är installerande. a) markiser till samtliga fönster, b) markiser ej på NÖ fasaden.

Simuleringsresultaten visar på över 2 °C lägre medellufttemperatur i patientrummet än grundfallet. Lufttemperaturer över 25 °C ( $T_{25}$ ) har minskat drastiskt ner till 6.7 % av tiden. Med markiser installerade vid varje fönster sänks även medellufttemperaturen i korridorerna med ca 0.8 °C, se tabell nedan. Solinstrålning (värmestrålning) minskar med ca 70 % med markiser installerade på samtliga fönster motsvarande ca 4200 kWh för normal juli månad. El till kylning av tilluften minskar marginellt vid installation av markiser eftersom frånluftstemperaturen fortfarande är hög (ofta över börvärdet på frånluften).

Ett billigare alternativ till markiser är solfilm som appliceras på befintliga fönster. Solfilm finns i väldigt många olika varianter, allt från helt kolsvart till i princip genomskinligt. Det finns film som tar bort enda upp till 80% av instrålad värme genom fönster från solen. Solskyddsfilm på fönster gör så att 98% av solens farliga strålningar (som UV-strålning) försvinner därav fördröjs blekning av inredning och möblemang. Nackdelen är att värmeinstrålningen även dämpas under uppvärmningssäsongen då den är önskvärd.

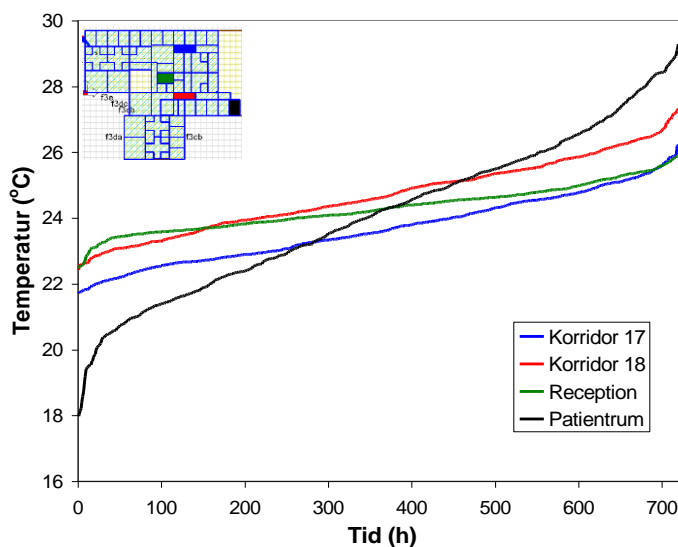
**Tabell 6-11. Luftmedeltemperatur och T<sub>25</sub>.**

	Grundfall		Markiser		Markiser ej NÖ fasad	
	Medeltemperatur	T <sub>25</sub>	Medeltemperatur	T <sub>25</sub>	Medeltemperatur	T <sub>25</sub>
Patientrum	24.3 °C	40.7 %	22.2 °C	6.7 %	22.2 °C	7.9 %
Korridor 18	25.5 °C	61.0 %	24.7 °C	43.6 %	24.8 °C	45.6 %
Korridor 17	24.3 °C	32.7 %	23.5 °C	12.8 %	24.0 °C	24.7 %
Reception	24.4 °C	24.9 %	24.1 °C	10.0 %	24.2 °C	13.8 %

### 6.4.3 Omfördela tilluft

Genom att omfördela ventilationsluften i korridorerna på avd 17 och 18 kan ett behagligare termiskt klimat skapas. Figuren nedan visar lufttemperaturerna när tilluften har fördelats jämt längs korridorerna. Omfördelningen ger stor effekt centralt i korridor 18 där medel-lufttemperaturen sjunker med nästan 1 °C på grund av den ökade kyleffekten från ventilationsluften. Även tydlig effekt erhålls i korridor 17, dock ej lika markant eftersom tilluften från början är mer fördelad i korridor 17 än korridor 18. Trots den sänkta lufttemperaturen räcker åtgärden ej till för att enskilt skapa en behaglig termisk miljö på avd. 17 och 18. Lufttemperaturen är fortfarande oacceptabelt frekvent över 25 °C, se tabell 6-12.

En omfördelning av detta slag ger möjlighet att ytterligare sänka lufttemperaturen centralt i byggnaden genom att under vissa kritiska perioder öka luftflödet.



**Figur 6-29. Lufttemperaturen vid fyra positioner efter omfördelning av ventilationsluften.**

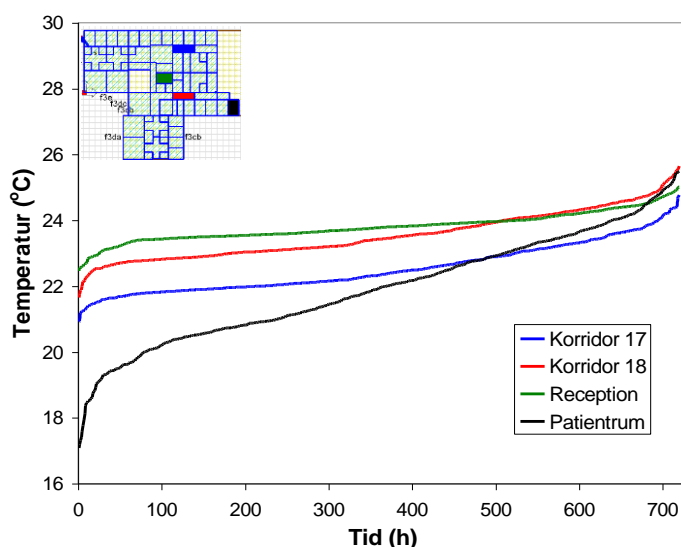
**Tabell 6-12. Luftmedeltemperatur och T<sub>25</sub>.**

	Normal fall		omfördelning	
	Medeltemperatur	T <sub>25</sub>	Medeltemperatur	T <sub>25</sub>
Patientrum	24.3 °C	40.7 %	24.1 °C	37.9 %
Korridor 18	25.5 °C	61.0 %	24.6 °C	41.8 %
Korridor 17	24.3 °C	32.7 %	23.7 °C	12.5 %
Reception	24.4 °C	24.9 %	24.3 °C	16.2 %

#### 6.4.4 Kombination av belysning, markiser och omfördelning

Genom att kombinera belysningsåtgärder, installation av markiser och omfördelning av ventilationsluften kan termiska klimatet i hela ortopediska kliniken bibehållas inom acceptabla gränser utan extra nyttjande av komfortkyla, se figur 6-30 och tabell 6-13.

Lufttemperaturen i lokalerna sänks med ca 2 °C förutom i receptionen där temperaturen sänks med ca 0.5°C. Denna sänkning av lufttemperaturen i receptionen är tillräcklig för att hålla det termiska klimatet inom acceptabla gränser eftersom  $T_{25}$  är 0.1 % vilket innebär att temperaturen är förhållandevis stabil. Exemplet illustrerar att det termiska klimatet kan åtgärdas samtidigt som energianvändning sänks genom relativt låga investeringskostnader (ifall solfilm används som solavskärmning).



Figur 6-30. Lufttemperaturen efter belysningsåtgärder, installation av markiser och omfördelning av ventilationsluften.

Tabell 6-13. Luftmedeltemperatur och  $T_{25}$ .

	Normal fall		Bel., markis, omförd.	
	Medeltemperatur	$T_{25}$	Medeltemperatur	$T_{25}$
Patientrum	24.3 °C	40.7 %	21.9 °C	2.2 %
Korridor 18	25.5 °C	61.0 %	23.5 °C	3.1 %
Korridor 17	24.3 °C	32.7 %	22.5 °C	0.0 %
Reception	24.4 °C	24.9 %	23.8 °C	0.1 %

#### 6.4.5 Årstidsberoende börvärde frånluft

Normalt kan en något högre lufttemperatur accepteras under sommaren. Genom att införa årstidsberoende börvärde på frånluften kan därför energi till kyla minska. Ifall börvärdet ökas till 24 grader sänks kylbehovet under juli månad med knappt 3 % jämfört med grundfallet. Vid ovanstående åtgärd kan det termiska klimatet försämrans något eftersom eftersträvad frånlufttemperatur är 24°C vilket kan tänkas leda till mycket högre temperaturer i rummen. Lufttemperaturen är dock marginellt högre i byggnaden.

Om börvärdesändring görs för fallet enligt ovan (kap 6.4.4) med markiser, belysningsåtgärder samt omfördelning av tilluften sänks kylbehovet under en normal juli månad med ca 20 %.

Temperaturen ökar något, men ligger fortfarande på acceptabla nivåer förutom i receptionen där den är på gränsen till för hög, se tabell 6-14.

**Tabell 6-14. Luftmedeltemperatur och T<sub>25</sub>.**

	Bel., markis, omförd.		Bel., markis, omförd.+ börvärdesändring	
	Medel- temperatur	T <sub>25</sub>	Medel- temperatur	T <sub>25</sub>
Patientrum	21.9 °C	2.2 %	22.4 °C	3.3 %
Korridor 18	23.5 °C	3.1 %	24.2 °C	7.5 %
Korridor 17	22.5 °C	0.0 %	23.1 °C	0.0 %
Reception	23.8 °C	0.1 %	24.5 °C	9.1 %

#### 6.4.6 Sänkt inomhustemperatur vår, vinter höst

Genom att under uppvärmningssäsongen sänka temperaturen 1 grad i rum med radiator (rum utmed fasaderna) sänks uppvärmningsbehovet (transmission + ventilation) med ca 7 % på ett år. Simuleringsresultatet är baserat på att termostatregering är att tillgå så att exakt 1 grad skiljer mellan simuleringsfallen. Inomhusklimatkonsekvenserna är positiva eftersom lufttemperaturen generellt är lite för hög på framförallt avd 18 även under vintern.

#### 6.4.7 Tilläggsisolering och byte fönster

Tilläggsisolering och byte av fönster är två mycket kostsamma åtgärder som dock kan ge betydande energivinster. Två simuleringar genomfördes, en med tilläggsisolering med ca 150 mm till nytt U-värde 0.20 W/m<sup>2</sup>K samt en med byte av fönster till fönster med U-värde 1.0 W/m<sup>2</sup>K. Värmesystemet modellerades med en fast temperatur i rum med radiatorer om 22°C, för att undvika osäkerheter i resultatet orsakade av att styrkurvan inte injusterades efter åtgärden. Tabellen nedan visar den procentuella minskningen av energibehovet efter åtgärderna.

**Tabell 6-15. Resultat efter tilläggsisolering samt byte av fönster.**

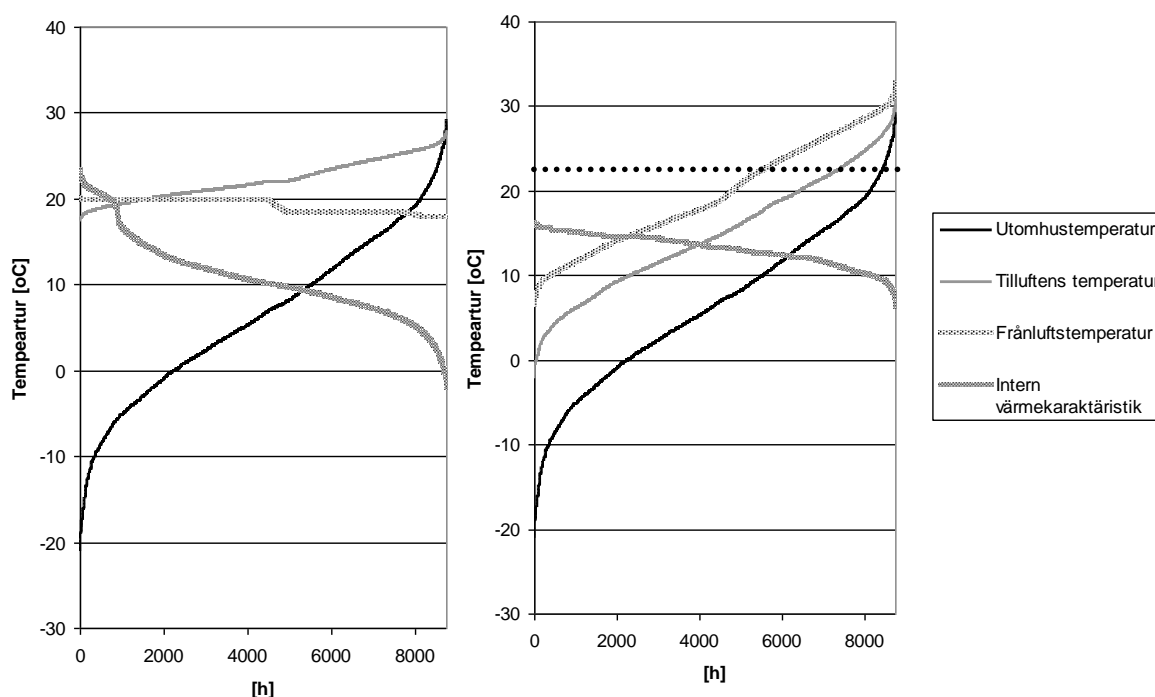
	Förändrat energibehov efter tilläggsisolering [%]	Förändrat energibehov efter fönsterbyte [%]
Värmebehov	-12 %	-6 %
Kylbehov	~ 0 %	~ 0 %

#### 6.4.8 Balanstemperatur

Genom att simulera avdelningen utan att tillföra värme via radiatorsystemet har en balanstemperatur beräknats. Tilluftens temperatur har fått variera mellan 18 och 20°C. Resultatet redovisas i grafen nedan där balanstemperaturen beräknas till 9,2°C. Denna temperatur gäller för hela avdelningen, vilket innebär att eftersom de interna effekterna är störst i de inre delarna av byggnaden kan det komma att bli kallt i de yttre delarna om temperaturen sänks. I det nuvarande systemet används radiatorerna till utomhustemperaturer på 16°C. Denna temperatur bör kunna gå att sänka till 10°C, vilket minskar risken för övertemperaturer vid vår och höst samt minskar energibehovet i värmesystemet ytterligare. Det minskar dessutom risken för att ventilationssystemet kyler samtidigt som radiatorsystemet



värmer. Om endast värmeväxling sker och ingen uppvärmning via ventilation antas höjs balanstemperaturen till 12,3°C (se högra grafen i figuren nedan).



**Figur 6-31. Frekvensdiagram för utomhustemperaturen, till- och frånluftstemperaturen, samt den interna värmegenereringen för simuleringsmodellen över avdelning 17 & 18. Grafen till vänster visar karaktärstiken när tilluften antas vara tempererad men radiatorsystemet är avstängt. Knycken vid 20°C beror på att ventilationen kylv ner avdelningen sommartid. Grafen till höger visar karaktärstiken när ingen uppvärmning antas ske vare sig via radiatorer eller via ventilation, endast värmeväxling av ventilationsluft.**

Vid jämförelse mellan två simuleringar där radiatorkretsen används vid utomhustemperaturer upp till 16 grader respektive till 10 grader fås resultat enligt tabell 6-16. Antalet timmar som temperaturen överstiger 24 grader sjunker från 41 % till 26 % i patientrum 1. I receptionen är resultatet inte lika tydligt men där är inte påverkan av inställningen på radiatorsystemet lika kraftig eftersom det inte finns någon radiator i denna del av byggnaden. Det totala värmebehovet minskar med 10 % samtidigt som värmebehovet i ventilationssystemet ökar med 20 %. Åtgärden överför därmed värmebehov från radiatorsystemet till ventilationssystemet, vilket möjliggör bättre utnyttjande av värmeväxlarna.

**Tabell 6-16. Resultat av simulering med olika inställning på värmesystemet.**

Zon i modellen	Procentuellt antal timmar med temperatur över 24 grader [%]		Medelvärde [°C]	
	Värme upp till utetemperaturer = 16°C	Värme upp till utetemperaturer = 10°C	Värme upp till utetemperaturer = 16°C	Värme upp till utetemperaturer = 10°C
Korridor17	31	25	23,3	22,9
Korridor18	43	36	23,9	23,5

Reception	58	53	24,3	24,2
Ruml	42	26	23,3	21,8

### 6.4.9 Styrstrategier

Som beskrivits ovan (Kapitel 5.2.1) så används värmeväxlarna maximalt och levererar en så hög lufttemperatur som möjligt som efterfrågas på respektive våningsplan. På övriga våningsplan där lägre temperaturer efterfrågas kyls värmeöverskottet bort. På detta sätt värmer och kyler systemet ibland samtidigt, dock är värmen återvunnen från värmeväxlarna. Ett möjligt scenario är att det våningsplan med lägst flöde efterfrågar högst temperatur, vilket innebär att de våningsplan med högst flöde måste kyla bort en stor andel värme. För att undersöka hur detta skulle kunna göras annorlunda byggdes en enkel modell upp i Excel med ett antal scenarios. Modellen representerar tre våningsplan med olika börvärden, varierad temperatur från värmeväxlaren och olika flöden till respektive våningsplan i de olika scenarierna. I verkligheten varierar börvärdet men eftersom värmeväxlaren levererar högsta möjliga temperatur som efterfrågas så blir modellen representativ. Tabellen nedan sammanfattar resultaten. Scenario 9 är ett fiktivt fall som aldrig uppkommer då börvärdena aldrig är konstanta och flödena aldrig lika. I scenario 11, 12 och 13 används det viktade medelvärdet av börvärdena till våningsplanen.

Tabell 6-17. Resultat av olika scenarios för styrstrategier.

No.	Börvärden	Temp från vvx	Flöden	Värme [MWh]	Kyla [MWh]	El till kyla
1	17, 18, 19	19	lika delat alla våningsplan	40	160	70
2	17, 18, 19	17	”-	95	111	48
3	17, 18, 20	20	”-	65	203	88
4	17, 18, 20	17	”-	142	103	45
5	17, 18, 19	19	40 – 40 – 20 %	32	192	83
6	17, 18, 19	17	40 – 40 – 20 %	77	126	55
7	17, 18, 19	19	30 – 30 – 40 %	44	155	67
8	17, 18, 19	17	30 – 30 – 40 %	106	105	45
9	18, 18, 18	18	lika delat alla våningsplan	30	97	42
10	17, 18, 19	19/17	”-	40	167	73
11	17, 18, 19	18	”-	61,3	127	55
12	17, 18, 19	Viktat	40-40-20 %	51,1	141	61
13	17, 18, 19	viktat	20-40-40 %	66,2	112	49

För att minimera för godtyckligt antal flöden kan optimal energi beräknas genom att välja  $T_{VVX}$  på ett sätt så att summan

$$\min \sum_{i=1}^n q_i |t_i - T_{VVX}|$$

minimeras.  $q_i$  är flödet till respektive våningsplan,  $t_i$  är börvärdet på temperaturen till våningsplan  $i$ , och  $T_{VVX}$  är temperaturen från värmeväxlaren.

Det totala energibehovet av värme och kyla blir lägst om viktade medelvärdet används. Beroende på om lågt kylbehov eller lågt värmebehov prioriteras kan börvärdet förskjutas. Detta gäller även då mängden primärenergi ska minskas beroende på hur kyla produceras.

## 7 Diskussion

Systemanalys ger en helhetssyn på sjukhusets energisystem som kan leda till lägre kostnader, minskad miljöpåverkan och effektivare energiutnyttjande. Resultaten kan utnyttjas som underlag för strategiska energitekniska beslut inom landstinget. Modellbeskrivningar och beräkningsresultat torde i viss utsträckning vara tillämpbara för andra sjukhus och övriga lokaler. Metodiken kan ge underlag för energideklarationer per fastighet likaväl som en komfortdeklaration av lokaler. I de tillämpningsfall som används ger resultatet konkreta möjligheter till minskningar av den relativa energianvändningen med bibehållen eller bättre inomhusmiljö samt minskad yttre miljöpåverkan. Enkäter och intervjuer med brukarna ger underlag för att värdera om förändringar i inomhusmiljön uppfattas som negativa eller positiva med avseende på komfort och hur arbetsuppgifterna kan utföras. Acceptans för olika tekniska lösningar för förbättringar av inomhusmiljön, med mer eller mindre automatiserade system, kan undersökas för sig och vägas mot förbättringar i miljö och komfort.

I projektet har en ortopedisk vårdavdelning vid ett sjukhus valts som testobjekt. Vid andra avdelningar med patienter med andra sjukdomar kan intresset hos patienterna att ha ett bra inomhusklimat vara underordnat viljan att bli frisk, vilket naturligtvis påverkar utfallet av en enkät kring upplevelsen av inomhusklimatet. För personalen är dock frågan om inomhusklimatet alltid relevant för att uppnå en god arbetsmiljö. Genom att ta fram data för olika typer av objekt (exempelvis vårdcentraler, mottagningar och vårdavdelningar med dag respektive dygnet runt-drift ) blir det möjligt att jämföra likvärdiga objekt med varandra.

Projektet har genomförts i en form av iterativ process där ett brett angreppssätt antogs från början med generella mätningar och frågeställningar inom referensgruppen. Genom att studera resultat av mätningar och enkäter, diskuterat dessa inom referensgruppen och gått vidare med ytterliggare mätningar, diskussioner etc. har ett antal viktiga parametrar som har stor inverkan på energianvändningen och upplevelsen av inomhusklimatet plockats fram.

En svårighet i projektet har varit att finna en lämplig aggregationsnivå. För inomhusklimatet kan en lämplig uppdelning vara mellan patientbundna respektive personalbundna lokaler. En uppdelning i energianvändning på samma nivå är i princip omöjlig då det har varit praktiskt omöjligt att mäta variationer i energianvändningen i enskilda rum, eller i grupper av rum. Den lägsta aggregationsnivån har varit avdelningsnivå. Motsvarande problem har även uppkommit i andra änden då elanvändningen till hela byggnaden ej var möjlig att mäta enskilt och därmed ej är möjlig att jämföra med upplevelsen av inomhusklimatet i hela byggnaden. Ett mått på upplevelsen av inomhusklimatet för en hel byggnad blir dock väldigt vagt och minskar användbarheten av metoden.

Arbetsinsatsen för att ta fram prestationsmått i det dagliga arbetet blir mycket lägre än i detta projekt om det är möjligt att logga parametrarna via befintliga styr- och övervakningssystem. Driftspersonal har dessutom goda kunskaper om systemens uppbyggnad och har lättare att finna underlag till olika prestationsmått, vilket minskar arbetsinsatsen betydligt. Det gäller dock att fundera över vilka prestationsmått som är de viktiga. Det finns en påtaglig risk att enkelheten i att ta fram mätdata från övervakningssystemen resulterar i att tiden för analys minskar. Vi har valt ut ett fåtal parametrar som lämpar sig som signaler för att markera att något inte är som det borde. Skillnader mellan olika objekt bör därefter följas upp med ytterliggare mätningar och analyser.

Urvalet av prestandamått till den gemensamma presentationen av energi- och inneklimatkaraktäristik har skett med kriterierna att det ska vara enkelt att ta fram och vara möjliga att jämföra mellan olika objekt. Som beskrivits i rapporten finns ett antal fördelningsnycklar som är möjliga att använda, där alla har för- och nackdelar.

Våra förslag på åtgärder som presenteras i rapporten grundar sig på diskussioner inom projektgruppen. Det finns naturligtvis fler åtgärder som är möjliga att genomföra vid vårdinrättningar för att minska energianvändningen och (i vissa fall eller) förbättra inomhusklimatet. Till exempel skulle en möjlighet vara att integrera solvärme i värmesystemet och därmed minska behovet av värme till tappvarmvatten sommartid. Sjukhus, som är byggda för att fungera under decennier, bör byggas mycket energieffektiva redan från början eller uppgraderas vid renovering.

## 7.1 Avd 17 & 18 vid Falu lasarett

Genom att använda den förslagna kartläggnings- och åtgärdsmodellen på avdelning 17 & 18, Falu lasarett, har ett antal prestanda mått för avdelningarna tagits fram som beskriver deras inomhusklimat- och energimässiga prestanda. Avdelningen har en högre energianvändning än sjukhuset i stort, vilket förklaras med att avdelningen har ett utsatt läge i byggnaden och lokalerna är relativt personintensiv. Anmärkningsbart, gällande inneklimatprestanda, är att *SI* är mycket lågt jämfört med referensdata trots att *AMI* ligger i linje med referensdata, dvs. personalen har relativt få besvär/symtom trots klagomål på besvärande miljöfaktorer. "Torr luft" är den miljöfaktor som det är mest klagomål på, både bland personalen och patienter. Lufttemperaturen på avdelningarna är generellt något för hög även på vintern, vilket troligen är en huvudorsak till att framförallt personalen är missnöjda med luftkvalitén.

En svårighet i projektet har varit att analysera mätdata från avdelning 17 & 18, eftersom det förekom varierande aktivitet på avdelningarna samt att driftförhållanden i vissa fall förändrades under mätperioden. Dessutom var att verksamhet låg till mycket låg under sommarmånaderna, framförallt på avdelning 18. I simuleringsmodellerna som har används i detta projekt har ett antal antaganden gällande randvillkoren fått göras för att möjliggöra beräkningarna. Bl.a. har förenklingar och antaganden gjorts angående brukarbeteende, fördelning av interna laster, väggkonstruktioner, tillufttemperatur och otätheter i fasaden. Dock visar validering gentemot mätdata att förenklingarna och antagandena är godtagbara.

Besparingspotentialer ur ett energiperspektiv ligger främst på belysningsidan där 17,5 MWh har varit möjligt att spara inom ramen för projektet genom närvarostyrning. Solavskärmning och omfördelning av tilluft har positiv inverkan på inomhusklimatet samt gör det lättare att upprätthålla en jämnare lufttemperatur på båda avdelningarna. Ökad isolering och byte av fönster kan minska energibehovet för uppvärmning med 12 respektive 6 procent samt förbättra inomhusklimatet genom lägre transmissionsförluster och därmed jämnare temperatur i byggnadskroppen. Genom att sänka lufttemperaturen 1 grad Celsius under uppvärmningssäsongen minskar uppvärmningsbehovet med ca 7 % på ett år.

Ett alternativ till yttre solskydd, till exempel markis, skulle kunna vara solfilm vilket dock kan leda till att dagsljusinsläppet blir mycket reducerat och dessutom leda till lägre solinstrålning även under uppvärmningssäsongen, vilket ökar värmebehovet.

Genom att införa reglering av värmesystemet på varje våningsplan, med olika framledningskurvor utifrån våningsplanets verksamhet, blir det lättare att undvika samtidig värme och kylning samt anpassa inneklimatet efter behov på våningsplanet. Med termostatventiler blir det möjligt att göra en anpassning på rumsnivå. Termostatventiler innebär dock fler komponenter som kräver underhåll.

Utvärdering av hur genomförda åtgärder påverkar inomhusklimatet och upplevelsen hos personalen har inte varit möjligt att genomföra innan projektet avslutades utan det kommer att visa sig i de enkäter som genomförs under våren 2009.



## 8 Slutsats

Genom att studera inomhusklimat och energi tillsammans kan samtidiga förbättringar av energisystem och inomhusklimat uppnås. Ett systemanalytiskt angreppssätt används för att definiera vilka parametrar som påverkar energianvändningen samt inomhusklimatet vid objektet. Målet med systemanalysen är att finna vilka variabler som påverkar energianvändningen och inomhusklimatet i störst utsträckning och hur dessa är möjliga att påverka på ett sådant sätt att systemets resursanvändning blir så låg som möjligt. Den föreslagna metodiken innebär en samtidig kartläggning av energianvändning och inomhusklimatet i en fastighet, eller del av fastighet. Olika index, som beskriver energi respektive inomhusklimatprestanda, tas fram utifrån kartläggningarna för att möjliggöra jämförelser mellan olika objekt. En kombinerad bild av energi och inomhusklimat parametrar visar på hur avdelningen, eller fastigheten, ligger till i jämförelse med liknande objekt. Den gemensamma grafen innehåller de fyra parametrarna, *primärenergi per kvadratmeter*, *elanvändning per kvadratmeter* ett *symptomindex* samt *arbetsmiljöindex*. *Symptomindex* samt *arbetsmiljöindex* baseras endast på personalens upplevelser och symtom eftersom patienter i vissa fall kan vistas för kort tid i den undersökta byggnaden för att ge tillförlitligt resultat. Även på grund av patienters fysiska eller psykiska tillstånd kan enkäter vara olämpligt i vissa fall. Den gemensamma beskrivningen av energi- och inneklimateprestanda innebär en möjlighet till en relativt enkel beskrivning av avdelningens prestanda samt möjlighet till jämförelse med andra objekt.

Det sista steget i metodiken är en gemensam åtgärdsmodell som fokuserar på att spara energi som idag inte används effektivt, minska energianvändningen genom effektiviseringsåtgärder och utifrån inneklimateenkäter koppla brister i inomhusklimatet med energianvändningen och föreslå åtgärder för att förbättra båda parametrarna. Bland de åtgärder som har studerats i detta projekt vill vi särskilt lyfta fram följande som intressanta för vårdlokaler i allmänhet:

- Belysningsåtgärder
- Solavskärmning
- Omfördelning av tilluft samt
- Koppling mellan olika värmesystem (undvik samtidig värmning och kylning)

Belysningsåtgärder i detta sammanhang har varit att investera i rörelsedetektorer i rum där det är lätt att glömma att släcka och där den installerade effekten är hög. Solavskärmning minskar risken för övervärmning betydligt, vilket har varit ett problem på den undersökta avdelningen och ofta är ett problem i lokaler med hög intern värmeavgivning. Belysningsåtgärder och jämnare fördelning av tilluft i korridorer resulterar i bättre termisk komfort i de centrala delarna.

Det nuvarande systemet värmer och kyler samtidigt genom att radiatorsystemet används samtidigt som ventilationssystemet tillför kyld luft. Genom att koordinera olika system undviks detta med både förbättring av inomhusklimatet och energibesparing som följd.





## 9 Referenser

- Andersson K, Stridh G (1990) Byggnader med störningar i inomhusklimatet – en utredningsmodell. AMA-nytt Mark Hus 2/90.
- Andersson, K. (1997) Vad betyder upplevelsen ”torr luft”? Inomhusklimat Örebro –97, Örebro, Sverige.
- Andersson, K., Stridh, G., Fagerlund, I., Aslaksen, W. (2008) Manual Sjukvårdsinrättningar MM-enkäterna. Arbets- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro.
- Anthony, M. (2002) Indoor Climate of Multi-storey Hospital Buildings in Hot Humid Regions. Architecture, Energy & Environment 2002, HDM – Housing Development and Management, Lund University, Sweden
- Beggs, C. (2002) Energy: Management, Supply and Conservation. Butterwoth-Heinemann, Oxford. ISBN 0-7506-5096-6.
- Burge, S., Hedge, A., Wilson, S., Bass, JH., Robertson, A. (1987). Sick building syndrome: A study of 4373 office workers. Annuals of Occupational hygiene, vol 31, 493-504.
- Buskirk E. and Loomis J. (1977) Aspects of indoor environments: Tolerable vs. Comfortable thermal environments. Thermal Analysis – Human Comfort – Indoor Environments, 11 February 1977, U.S. Department of Commerce/National Bureau of Standards. Gaithersburg, Maryland, USA.
- Carlsson, L (1992) Belysning i vården – Slutrapport, NUTEK, Stockholm.
- Carmonius, O. & Pålsson, F (1999) Energieffektivisering av vårdbyggnader på Lunds Universitetssjukhus, Institutionen för Värme- och kraftteknik, LTH, Lund. ISSN 0282-1990.
- Cehlin, M. (2006). Visualization of Air Flow, Temperature and Concentration Indoors - Whole-field measuring methods and CFD. Doctoral thesis KTH, Stockholm, ISBN: 91-7178-342-3.
- Cehlin, M. and Moshfegh, B. (2002). Numerical and Experimental Investigation of Airflows and Temperature Patterns of a Low-Velocity Diffuser. Proceedings of 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, pp. 765-770.
- Cehlin, M., Moshfegh, B., Sandberg, M. (2002). Measurements of air temperatures close to a low-velocity diffuser in displacement ventilation using an infrared camera, Energy and buildings, vol 34(7), pp. 687-698.
- Cehlin, M., Moshfegh, B, Karlsson, F. and Larsson, U. (2008) Analysis on Thermal Comfort for a Hospital Building by Multi-zone Modeling – Summer Condition. World Renewable Energy Congress X and Exhibition, 19-25 July, Glasgow, Scotland.
- Cohen, R., Standeven, M., Bordass, B. and Leaman, A. (2001) Assessing building performance in use 1: the Probe process. Building Research and Information, Vol. 29, no. 2, pp 85-102.
- Dilani, A. (1998) Design och Omsorg i Sjukhusplaneringen. Doktorsavhandling, KTH, Institutionen för arkitektur och stadsplanering, Stockholm, Sverige.
- Ekberg, L. (1992) Luftkvalitet i moderna kontorsbyggnader. Document D16:1992. Avd. För installationsteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

- Ekbohm, J. (2007) User Perception of Climate in Hospital Wards – An Analysis of Thermal Climate and Air Humidity Demands. Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige, ISBN 978-91-7291-927-3.
- Estola, P. & Jonsson, M. (2001) Energianvändning och energieffektiviseringsåtgärder vid sjukhusen i Norrbottens län. Institutionen för Väg – och vattenbyggnad, Luleå tekniska universitet, Luleå. ISSN: 1404-5494.
- Falu Energi (2008), Per Andersson, telefonkontakt 2008-09-01
- Fanger P. O. (1977) Thermal comfort in indoor environments. Thermal Analysis – Human Comfort – Indoor Environments, 11 February 1977, U.S. Department of Commerce/National Bureau of Standards. Gaithersburg, Maryland, USA.
- Göthe, C.-J., Ancker, K., Bjurström, R., Holm, S., Langworth, S. (1987). Relative humidity, temperature and subjective perception of "dry air". Indoor Air 1987, Berlin, Germany.
- Hellgren UM, Reijula K. (2006) Indoor-air-related complaints and symptoms among hospital workers. Scand J Work Environ Health 2006; Suppl 2:47-49
- ISO 10551 (1995) Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. International Organization for Standardization (ISO).
- Jakélius, S. (1996) Learning from experiences with Energy Savings in Hospitals, CADDET Energy Efficiency Analysis Series No. 20, Nederländerna.
- Landstinget Dalarna (2006) Energiplan 2000, 1,5 %. Landstinget Dalarna, Landstingsfastigheter, Falun.
- Karlsson, F. (2006) Multi-dimensional approach used for energy and indoor climate evaluation applied to a low-energy building.
- Montz, W.E. (2003) Indoor air quality in hospitals. [www.stachybotrys.com/iaqhospitals.htm](http://www.stachybotrys.com/iaqhospitals.htm)
- Naturvårdsverket (2008) Thermal values and Emission factors, [http://www.naturvardsverket.se/upload/02\\_tillstandet\\_i\\_miljon/utslappsdata/vaxthusgaser/2007/appendix\\_18.pdf](http://www.naturvardsverket.se/upload/02_tillstandet_i_miljon/utslappsdata/vaxthusgaser/2007/appendix_18.pdf), access 2008-09-01.
- Norlén, U, Andersson, K. (1993) Bostadsbeståndets inneklimat, ELIB rapport nr 7, Forskningsrapport TN20, Statens institut för byggnadsforskning.
- Parsons, K.C. (2002). The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort. Energy and Buildings, 34(6):593-599.
- Persson, A., Rydstrand, C. Hedenskog, P. (2005) Allt eller inget – Systemgränser för byggnaders uppvärmning, ÅF-Energi & Miljö AB, Stockholm.
- Sandlund, M.-B. (1988) Termiskt inomhus klimat, Socialstyrelsen, Stockholm, Sverige.
- Santamouris, M., Descalaki, E., Balaras, C. Arfiriou, A. and Gaglia, A. (1994) Energy performance and energy conservation in health care buildings in Hellas. Energy Conservation and Management, vol. 35, no. 4, pp. 293-305.

- SKL (2005) Benchmarking inom sjukvård. Sveriges Kommuner och Landsting, Stockholm.
- SS 025268 (2000) Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen I byggnader – Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell.
- SS-EN 12464-1 (2003) Ljus och belysning – Belysning av arbetsplatsen, Del 1: Arbetsplatser inomhus.
- SS-EN 12665 (2002) Ljus och belysning – Grundläggande termer och kriterier vid specificering av belysningskrav.
- SS-EN ISO 7730 (2006) Ergonomi för den termiska miljön – Analytisk bestämning av termisk komfort med hjälp av indexen PMV och PPD samt kriterier för lokal termisk komfort.
- STEM (2008) Energianvändning i vårdlokaler - Förbättrad statistik för lokaler, STIL 2, ER 2008:09. Statens energimyndighet, Eskilstuna. ISSN 1403-1892.
- Sundell, J., Andersson, B., Andersson, K., Lindvall, T. (1993) Volatile organic compounds in ventilation air in buildings at different sampling points in the buildings and their relationship with the prevalence of occupant symptoms, *Indoor Air* 1993, vol 3, 82-93.
- Byggstandardiseringen (1982) Svensk standard i SBN 80. ISBN 91-7162-115-6
- VVS Tekniska Föreningen (2006) R1 Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav. ISBN 91-976277100.
- Wang, X. and Peterson, F. (1995) Att vistas I varm och fuktig miljö – Så upplever du värmen. *Energi & Miljö*, vol. 66, pp. 46-48.



## Appendix 1 - Effektivitetsbegrepp

*Ventilationseffektivitet*,  $\epsilon_{rc}$ , är ett mått på hur effektivt en förorening transporteras bort och definieras vid ett visst föroreningsutsläpp som kvoten mellan koncentrationen i frånluften och medelkoncentrationen i rummet, dvs.

$$\epsilon_{rc} = \frac{C_e}{C_m} 100\%$$

där  $C_e$  = jämviktskoncentrationen i frånluften ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

där  $C_m$  = medelkoncentrationen i rummet vid jämvikt ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Eftersom överskottsvärme kan betraktas som en förorening, är därför lämpligt att införa begreppet temperatureffektivitet. Genom att byta ut koncentrationen mot temperatur får man temperatureffektiviteten,  $\epsilon_{rt}$ .

$$\epsilon_{rt} = \frac{t_f - t_t}{t_m - t_t} 100\%$$

$t_f$  = frånluftens temperatur

$t_m$  = rummets medeltemperatur (vid jämvikt)

$t_t$  = tilluftens temperatur

*Luftutbyteseffektivitet*,  $\epsilon_{ra}$ , är som namnet antyder ett mått på hur effektivt luften i rummet förnyas. Kolvströmning ger den kortaste tänkbara luftutbytestiden för hela volymen, se figur 7-1. Luftutbyteseffektiviteten är 100 % vid ideal kolvströmning. Vid omblandande ventilation kan luftutbyteseffektivitet maximalt vara 50 %.

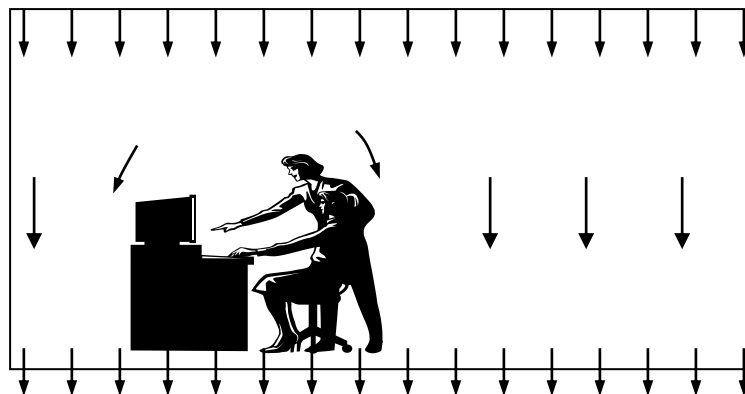
$$\epsilon_{ra} = \frac{\tau_n}{2 \cdot \tau_m} 100\%$$

$\tau_n = V/q$  = nominella tidskonstanten (s)

$V$  = rummet volym ( $\text{m}^3$ )

$q$  = renande utluftflöde ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\tau_m$  = luftens medelålder i rummet (s)



Figur 1. Kolvströmning i ett rum



## Appendix 2 - Simuleringsmodell

Två modeller av den studerade avdelningen har byggts upp i de två simuleringsprogrammen IDA ICE och ESP-r (Environmental System Performance, research edition). Den förra innehöll samtliga rum som separata zoner för beräkning av temperaturer i enskilda rum. Den andra modellen innehöll en förenklad beskrivning av geometrin där varje zon i modellen beskriver ett flertal rum. I detta kapitel beskrivs gemensam indata till modellerna. Se även Cehlin, et al. (2008) för ytterligare beskrivning av IDA ICE modellen.

### Klimat

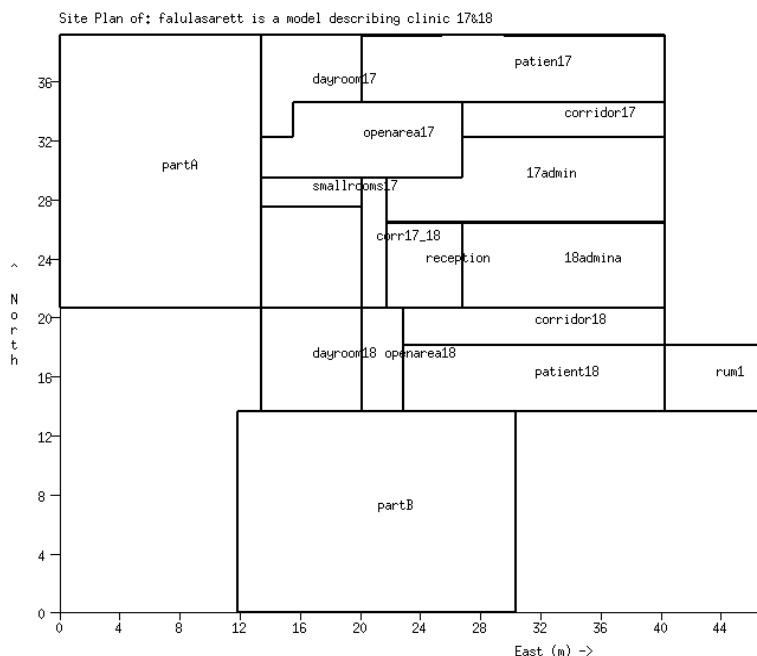
Klimatfiler med uppgifter om temperatur, direkt och diffus solinstrålning, lufthastighet, vindriktning och luftfuktighet levererade av SMHI gällande Falun användes i simuleringen. Data för 2006 användes för att möjliggöra validering av resultaten.

Modellens geografiska placering long: 60.37, lat: 15.37. Våningsplanet ligger 14,8 meter över markytan och byggnaden ligger i rak nordvästlig riktning.

### Geometri

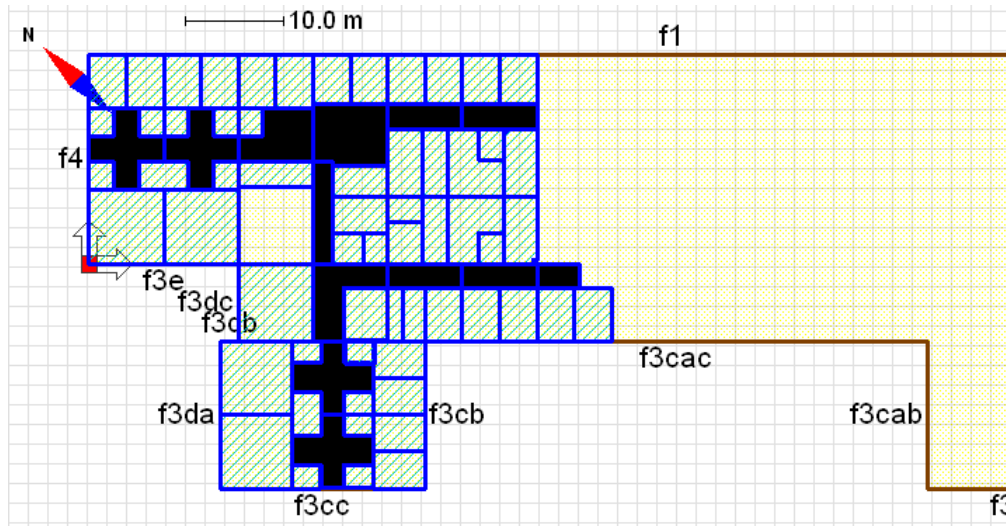
Takhöjd: 2.5 meter i korridorer och 2.9 meter i övriga rum.  
Fönster (b×h) 1×1.7, 0.75 meter ovan golv

I ESP-r modellen har ett antal rum slagits samman till en gemensam zon, vilket framgår av figurerna nedan. För att kompensera för massan i väggar har dessa modellerats som masselement.



Figur 1. Ritning som beskriver modellen i ESP-r.

I IDA ICE modellen har nästa all rum inkluderats, vilket framgår av figurerna nedan. Korridorerna (svartmarkerad) har delat in i delzoner för att kunna analysera eventuella temperaturvariationer. Modellen består totalt av 73 zoner. Modellen har validerats gentemot temperaturmätningar och CO<sub>2</sub>-halt mätningar (Cehlin et al., 2008), se Appendix 8. De simulerande värdena stämde bra överens med de experimentella värdena.



Figur 2. Ritning som beskriver modellen i IDA ICE.

Tabell 1: Egenskaper för konstruktionen i modellerna

Ytterväggar:	U-värde 1.0
Innervägg:	Gips med mellanliggande isolering
Golv:	I huvudsak betong med plastmatta
Tak, korridorer:	Innertak, luftspalt och betong
Tak, övriga rum	Betong med isolering, U-värde 0,7 för de delar som gränsar mot uteluften
Fönster	U-värde 2.2 inklusive karm

### Intern värmeavgivning

De interna effekterna (ej solinstrålning) består av

- belysning som finns utspridd över hela avdelningen
- datorer som framförallt återfinns i kontorsrytmen centralt i huskroppen
- diskmaskiner som finns i fyra sköljrum med intermitterande uppvärmning
- övrig kontorsutrustning, ex printer, kopianator etc.
- köksutrustning som diskmaskin, mikro etc.
- kylar och frysar

Belysningen står för den största delen enligt följande

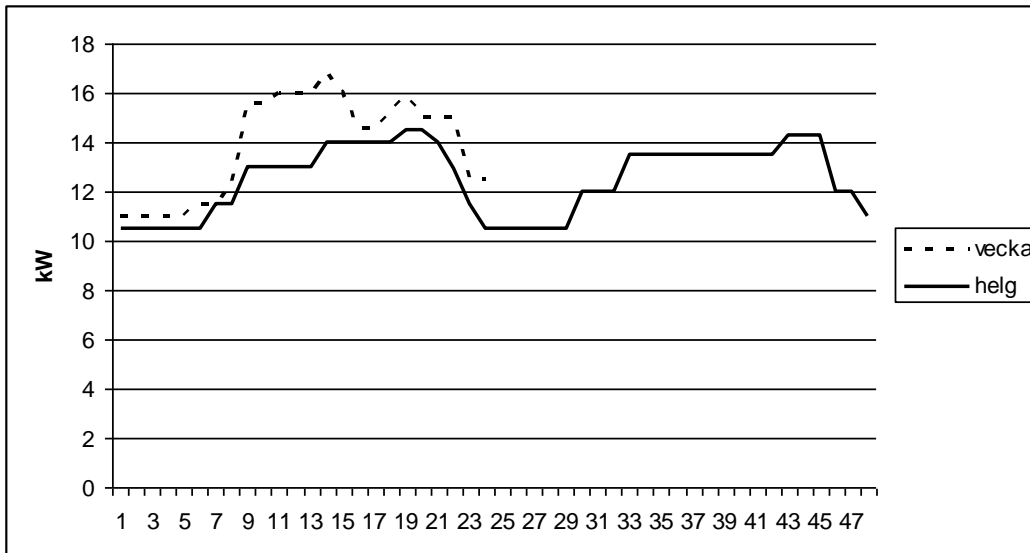


Tabell 2. Fördelning av belysning på avdelning 17 &amp; 18

Avdelning	Effekt [W]	Antal	Totaleffekt [W]	Kommentar
17	40	48	1920	LRS lysrör troligen i patientrum
17	36	4	144	Colorette och dagsljus
17	36	34	1224	korridor
17	26	26	676	korridor
17	58	6	348	övriga rum
17	36	41	1476	övriga rum
17	18	120	2160	övriga rum
17&18	14	2	28	korridor
17&18	28	29	812	övriga rum, T5
17&18	28	24	672	övriga rum Dagsljus 865, T5
17&18	3	20	60	nattlampor
18	40	46	1840	troligen patientrum
18	36	4	144	Colorette och dagsljus
18	13	8	104	korridor
18	36	40	1440	korridor
18	58	2	116	övriga rum
18	36	78	2808	övriga rum
18	18	117	2106	övriga rum
18	13	9	117	övriga rum
<i>Summa</i>	573	658	18195	

Enligt den nattvandring som genomfördes är i princip all belysning på även nattetid, inte bara i korridorer utan även i till exempel sköljrum etc.

Utifrån mätningar av elanvändningen togs en typisk veckodag, lördag respektive söndag fram, vilket visas i figuren nedan. Utifrån kunskaper om belysningens fördelning, verksamhet i olika rum samt nattvandringen fördelades energianvändningen på respektive zon i de båda modellerna.



Figur 3. Elanvändningen totalt i modellen veckodagar, lördagar och söndagar. (indata)

Interna effekter från personer fördelades efter kunskaper om antalet patienter under olika delar av året och personaltätheten under veckodagar och helger. De interna effekterna fördelades mellan olika zoner utifrån erfarenheter från besök på avdelningen.

### Värmesystem

Värmesystemet består av radiatorer till vilka framledningstemperaturen varierar i princip linjärt mot utomhustemperaturen. Då mätningen av tillförd effekt till avdelningen inte kunde genomföras med tillfredställande resultat så beräknades maximala effekter utifrån tillverkarens specifikationer. I IDA ICE modellen modellerades inte värmesystemet eftersom modellen endast användes till sommarfallet. Simuleringar med obegränsad effekt i radiatorsystemet och ett enkelt värmesystem som tillgodoser 22°C i zonen användes i ett antal fall för att minska inverkan av osäkerheter i värmesystemets styrning.

### Ventilationssystem

Till och frånluftslöden till respektive zon erhöles från injusteringsprotokoll över samtliga till- och frånluftsdonen. Det totala tilluftslödet är 2,5 m<sup>3</sup>/s och frånluftslödet 3,1 m<sup>3</sup>/s. Flödet halveras mellan 18 och 06. Möjlighet till infiltration har modellerats vid varje fönster (i ESP-r modellen även möjlighet att ta in luft från hisschoakt). Tilluftens temperatur kan variera mellan 18 och 20°C och regleras mot frånluftstemperaturen där börvärdet är 22°C.

I ESP-r modellen modellerades även värmeväxling och uppvärmning respektive kylning av tilluften. Värmeväxlaren modellerades med en temperaturverkningsgrad på 70%.

Tid	Totalt (m <sup>2</sup> )	Part A		Part B		patient 18		patient 17		dagrum 18		dagrum 17		korridor 17		korridor 18		öppen area 17		öppen area 18		adm 18		adm 17		reception		rum1				
		Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light			
0	11000	11000	4173	6827	200	438	400	800	350	720	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	573	224	0	0		
1	11000	11000	4173	6827	200	438	400	800	350	720	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	573	224	0	0		
2	11000	11000	4173	6827	200	438	400	800	350	720	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	573	224	0	0		
3	11000	11000	4173	6827	200	438	400	800	350	720	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	573	224	0	0		
4	11000	11000	4173	6827	200	438	400	800	350	720	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	573	224	0	0		
5	11500	11500	4173	7327	200	678	400	1020	350	40	720	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	573	224	0	0	
6	11500	11500	4173	7327	200	678	400	1020	350	40	720	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	573	224	0	0	
7	12300	12303	4920	7383	200	438	400	1020	350	80	1320	58	100	200	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	1500	1680	1000	1680	720	280	0	0
8	15560	15569	7510	8059	400	638	500	1020	800	100	200	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1500	1680	1000	1680	960	280	120	0	0		
9	14560	15369	7510	7859	400	638	500	1020	800	150	1320	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1500	1680	1000	1680	960	280	120	0	
10	16000	15999	8140	7859	500	638	500	1020	800	150	1320	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1750	1680	1280	1680	960	280	120	0	
11	16000	15999	8140	7859	500	638	500	1020	800	150	1320	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1750	1680	1280	1680	960	280	120	0	
12	16000	15909	8470	7439	200	438	400	800	650	150	1320	350	250	390	150	100	468	150	650	1170	676	0	117	2000	1680	1000	1680	720	280	120	0	
13	16800	16849	9410	7439	300	438	500	800	650	150	1320	350	250	390	150	100	468	150	650	1170	676	0	117	2000	1680	1500	1680	960	280	120	0	
14	16000	15979	8540	7439	300	438	500	800	650	150	1320	350	250	390	150	100	468	150	650	800	676	0	117	2000	1680	1000	1680	960	280	120	0	
15	14600	14569	7130	7439	300	438	500	800	650	150	1320	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	2000	1680	370	1680	960	280	120	0	
16	14600	14569	7130	7439	300	438	500	800	650	150	1320	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	2000	1680	370	1680	960	280	120	0	
17	15120	15361	7560	7801	200	800	400	800	650	150	1320	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	2000	1680	1000	1680	960	280	120	0	
18	15830	15926	8223	7703	400	800	600	800	650	150	1320	58	250	390	150	100	468	150	650	1170	676	0	117	1500	1680	1000	1680	573	224	120	0	
19	15000	15066	7323	7743	400	800	600	800	350	150	720	58	250	390	150	100	468	150	650	1170	676	0	117	1500	1680	1000	1680	573	224	120	40	
20	15000	15064	7023	8041	400	800	600	1020	800	150	1320	500	100	240	36	100	468	100	650	170	676	0	117	1500	1680	1000	1680	573	224	120	40	
21	15000	15064	7023	8041	400	800	600	1020	800	150	1320	500	100	240	36	100	468	100	650	170	676	0	117	1500	1680	1000	1680	573	224	120	40	
22	12500	12500	5633	6867	200	438	400	800	350	720	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	1500	1680	1230	1680	573	224	0	40		
23	12500	12500	5633	6867	200	438	400	800	350	720	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	1500	1680	1230	1680	573	224	0	40		
	332370	332595	154529	178066																												

Figur 4. Interna laster under veckodagar i ESP-r modellen. I IDA ICE modellen har effekterna fördelats i fler zoner.

Tid	Totalt(må)	Part A		Part B		patient 18		patient 17		dagrum 18		dagrum 17		konditor 17		korridor18		öppen area 17		öppen area 18		adm 18		adm 17		reception		rum1			
		Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light	Eq.	Light		
0	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
1	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
2	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
3	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
4	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
5	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
6	11500	11509	4680	6829	200	400	400	760	350	80	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	1250	1680	800	1680	600	224	0	0
7	13000	13011	5650	7361	200	400	500	760	350	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
8	13000	13011	5650	7361	200	400	500	760	350	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
9	13000	13011	5650	7361	200	400	500	760	350	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
10	13000	13011	5650	7361	200	400	500	760	350	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
11	13000	13011	5650	7361	200	400	500	760	350	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
12	13000	13011	5650	7361	200	400	500	760	350	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
13	14000	14011	6650	7361	200	400	600	760	350	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
14	14000	14091	6730	7361	500	400	600	760	350	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
15	14000	13951	6550	7401	500	400	600	760	500	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1400	1680	1200	1680	600	280	120	40
16	14000	13951	6550	7401	500	400	600	760	500	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1400	1680	1200	1680	600	280	120	40
17	14000	13951	6550	7401	500	400	600	760	500	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1400	1680	1200	1680	600	280	120	40
18	14500	14503	7200	7303	500	400	600	760	500	150	720	58	250	390	150	100	468	150	650	1170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	450	224	120	40
19	14500	14503	7200	7303	500	400	600	760	500	150	720	58	250	390	150	100	468	150	650	1170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	450	224	120	40
20	14000	13981	6350	7631	500	400	600	760	850	150	720	500	250	240	36	100	468	100	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	450	224	120	40
21	12900	12981	5600	7381	400	400	600	760	350	150	720	500	100	240	36	100	468	100	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	450	224	120	40
22	11500	11519	4730	6789	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	450	224	0	40	
23	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
1	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
2	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
3	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
4	10500	10499	3750	6749	200	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	900	1680	370	1680	450	224	0	0	
5	12000	11973	5030	6943	200	400	400	760	350	80	420	58	100	390	150	50	468	100	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	224	0	0
6	12000	11973	5030	6943	200	400	400	760	350	80	420	58	100	390	150	50	468	100	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	224	0	0
7	12000	11973	5030	6943	200	400	400	760	350	80	420	58	100	390	150	50	468	100	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	224	0	0
8	13500	13500	6060	7440	400	439	560	800	500	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
9	13500	13500	6060	7440	400	439	560	800	500	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
10	13500	13500	6060	7440	400	439	560	800	500	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
11	13500	13511	5950	7561	200	400	500	760	500	150	720	350	200	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
12	13500	13511	5950	7561	200	400	500	760	500	150	720	350	200	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	120	0
13	13500	13571	6210	7361	200	400	500	760	350	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	1000	676	0	117	1250	1680	1000	1680	450	280	0	0
14	13500	13521	6160	7361	200	400	500	760	500	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	800	676	0	117	1250	1680	1000	1680	600	280	0	0
15	13500	13551	6150	7401	200	400	500	760	500	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	800	676	0	117	1400	1680	1200	1680	600	280	120	40
16	13500	13551	6150	7401	200	400	500	760	500	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	800	676	0	117	1400	1680	1200	1680	600	280	120	40
17	13500	13551	6150	7401	200	400	500	760	500	150	720	350	100	390	150	100	468	150	650	800	676	0	117	1400	1680	1200	1680	600	280	120	40
18	14300	14303	7000	7303	400	400	500	760	500	150	720	58	250	390	150	100	468	150	650	1170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	450	224	120	40
19	14300	14303	7000	7303	400	400	500	760	500	150	720	58	250	390	150	100	468	150	650	1170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	450	224	120	40
20	14300	14295	6550	7745	500	400	600	760	850	150	720	500	250	390	150	100	468	150	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	450	224	120	40
21	12000	12139	5350	6789	400	400	400	760	350	420	58	100	240	36	50	468	100	650	170	676	0	117	1250	1680	1000	1680	450	224	120	40	
22	12000	11981	5153	6828	200	439	400	800	350	420	58	100	240	36																	

## Appendix 3 – Primärenergifaktorer och koldioxidutsläpp

Samtliga primärenergifaktorer är hämtade från rapporten ”Allt eller inget” (Persson et al. 2005). För en ytterliggare genomgång av olika primärenergifaktorer och exempel på beräkning av dessa hänvisas till rapporten.

Energibärare	Primärenergifaktor
Olja	1,3
Spillvärme	0,05
Fjärrvärme, ex. Göteborg	1,47
Fjärrvärme fliseldad kraftvärme	0,70
El, nordisk elmix	2,14
Värmepump, COP 2,8 (nordisk elmix)	0,76
Solpanel	0

För att beräkna primära energianvändningen vid Falu lasarett används följande samband

$$E_{\text{primär}} = E_{\text{fjärrvärme}} \times 0,70 + E_{\text{el}} \times 2,14$$

Vilket med siffror blir  $8680 + 39376 = 48056$  MWh, eller  $288 \text{ kWh/m}^2$ .

För enskilda avdelningar blir förhållandet annorlunda eftersom en del av tillförd värme till avdelningen kommer från värmepumpen.

$$E_{\text{primär}} = E_{\text{värme}} (X \times 0,76 + (1 - X) \times 0,70) + E_{\text{kyla}} \times \frac{2,14}{3} + E_{\text{el}} \times 2,14$$

där X är andel värme från värmepumpen.

Normalvärde för primärenergi per kvadratmeter i svenska sjukhus beräknas utifrån förutsättningarna i figur 1-1 enligt tabellen nedan, till  $349,3 \text{ kWh/m}^2$

Energibärare	kWh/m <sup>2</sup>	Primärenergifaktor	primärenergi/m <sup>2</sup>
Olja	0,8	1,3	1,04
Fjärrvärme, svensk mix	114,4	1,1	125,84
Pellets	4,9	1,4	6,86
Fjärrkyla <sup>4</sup>	6,0	1,76	10,56
El, nordisk elmix	96	2,14	205
Summa			349,3

<sup>4</sup> Beräknas från sensk fjärrvärmemix samt absorptionskyla med COP 0,7 och distributionsförluster 10%.

Utifrån uppgifterna ovan kan koldioxidutsläppen för ett visst system beräknas. I tabellen nedan beskrivs koldioxidutsläpp per kWh för olika energibärare

Energibärare	CO <sub>2</sub> -utsläpp (kg/MWh)	Referens
Olja	268	Naturvårdsverket, 2008
Fjärrvärme, svensk mix	89	Persson et al. 2005
Fjärrvärme Falun	4	Falu Energi, 2008
Pellets	4	Karlsson, 2006
Värmepump, COP 2,8 (nordisk elmix)	36	
Fjärrkyla <sup>5</sup>	127	
El, nordisk elmix	101	Karlsson, 2006

Med värden enligt tabellen ovan kan koldioxidutsläppen för det nationella medlet beräknas till 20,9 kg/m<sup>2</sup>. För hela lasarettet blir resultatet 11,4 kg/m<sup>2</sup>.

För avdelning 17/18 blir formeln

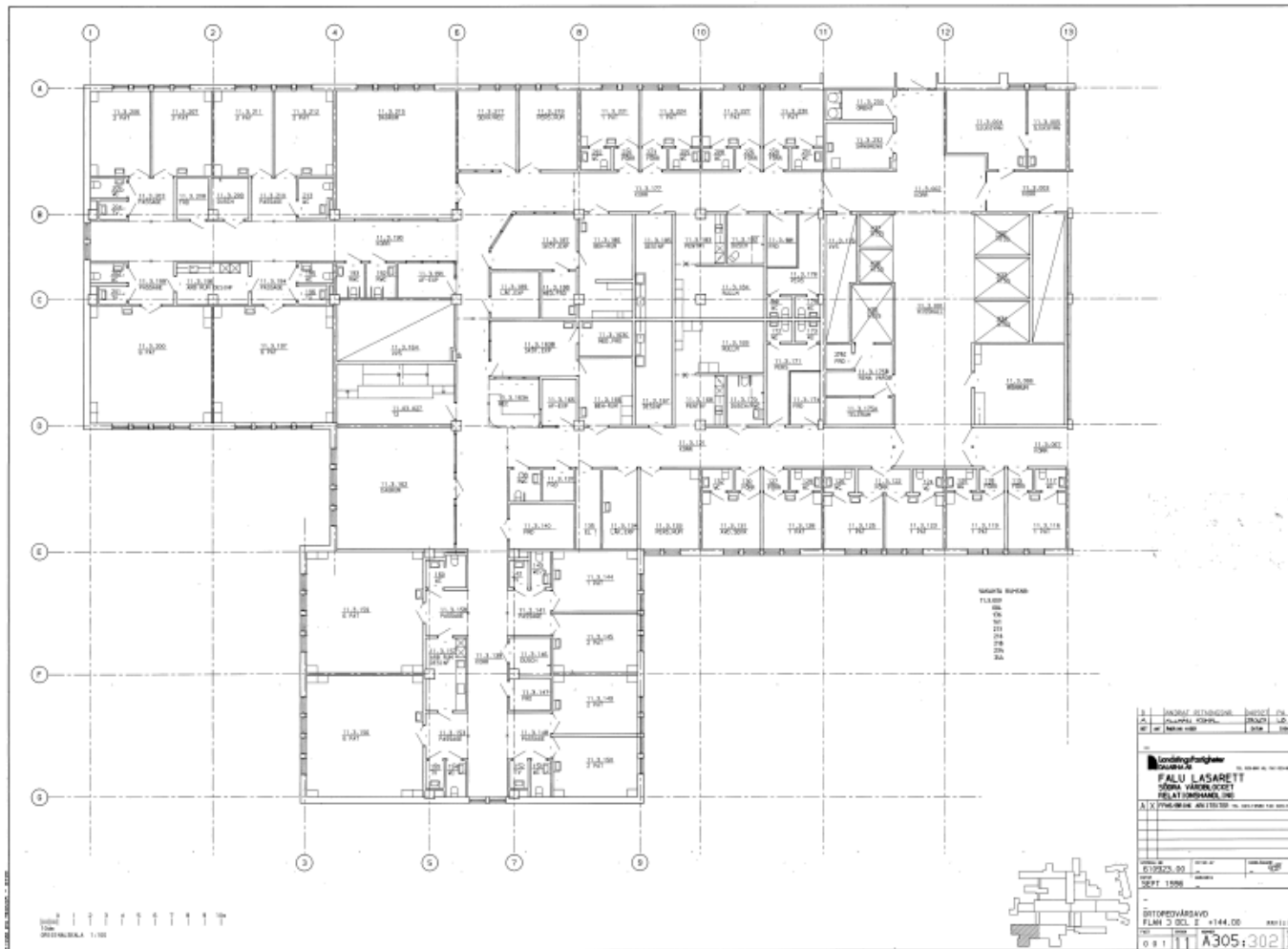
$$\sum CO_2 = E_{värme} (X \times 36 + (1 - X) \times 4) + E_{kyla} \times \frac{101}{3} + E_{el} \times 101$$

där X är andel värme från värmepumpen.

Resultatet blir 14,8 kg/m<sup>2</sup>.

<sup>5</sup> Beräknas från svensk fjärrvärmemix samt absorbtionskyla med COP 0,7

### Appendix 4 - Planlösning ortopedkliniken, hus 11, Falu lasarett







## Appendix 5a – Enkäten, patient



Högskolan i Gävle önskar genomföra en enkätundersökning för att kartlägga hur innemiljön uppfattas på avdelningen 17 och 18. Enkätundersökningen ingår i forskningsprojektet ”Komfort- och inomhusmiljökonsekvenser av strukturerad energieffektivisering för vårdlokaler”. Projektet är ett samarbete mellan Landstingsfastigheter i Dalarna, Högskolan i Gävle och Linköpings Tekniska Högskola.

All bearbetning och analys kommer att ske vid Högskolan i Gävle på ett säkert sätt. Efter undersökningens genomförande kommer enkäten att destrueras. Resultatet av enkätundersökningen kommer att redovisas på ett sådant sätt att ingen enskild individ kan identifieras.

Det är vår förhoppning att alla vill delta i denna undersökning så att resultatet blir så tillförlitligt som möjligt.

På förhand tack för Din medverkan!

Mathias Cehlin  
Forskarassistent  
Högskolan i Gävle



## Inomhusklimatenkät

Datum .....

Klockslag .....

**Kön:** Man   
Kvinna

**Rum**.....

### Hur har du upplevt inomhustemperaturen senaste timmen?

Mycket kallt  Kallt  Något kallt  Lagom  Något varmt  Varmt  Mycket varmt

### Hur har du upplevt luftfuktigheten senaste timmen?

Mycket låg  
dvs mycket torr  Låg  Något låg  Lagom  Något hög  Hög  Mycket hög  
dvs mycket fuktig

### Hur har du generellt upplevt luftkvaliteten (dvs känns luften instängd eller illaluktande) senaste timmen?

Mycket dålig  Dålig  Ganska dålig  Acceptabel  Ganska bra  Bra  Mycket bra

### Kommentarer

## Appendix 5b – Enkäten, personal



### Enkätundersökning

Högskolan i Gävle önskar genomföra en enkätundersökning för att kartlägga hur inomhusmiljön uppfattas på avdelningen 17 och 18. Enkätundersökningen ingår i forskningsprojektet ”Komfort- och inomhusmiljökonsekvenser av strukturerad energieffektivisering för vårdlokaler”. Projektet är ett samarbete mellan Landstingsfastigheter i Dalarna, Högskolan i Gävle och Linköpings Tekniska Högskola.

Sedan enkäten besvarats stoppas den i Svarslådan. Enkäten skall **besvaras under vecka 36**. All bearbetning och analys kommer att ske vid Högskolan i Gävle på ett säkert sätt. Efter undersökningens genomförande kommer enkäten att destrueras.

Resultatet av enkätundersökningen kommer att redovisas på ett sådant sätt att ingen enskild individ kan identifieras.

### Fyll i enkätundersökningen helst på eftermiddagen.

Det är vår förhoppning att alla vill delta i denna undersökning så att resultatet blir så tillförlitligt som möjligt.

På förhand tack för Din medverkan!

Mathias Cehlin  
Forskarassistent  
Högskolan i Gävle



## Inomhusklimatenkät

<b>Datum</b> .....	<b>Klockslag</b> .....
<b>Kön:</b> Man <input type="checkbox"/>	<b>Tidpunkt i</b> Första halvan <input type="checkbox"/>
Kvinna <input type="checkbox"/>	<b>arbetspasset:</b> Sista halvan <input type="checkbox"/>

### Var har du befunnit dig mest senaste timmen?

- Patientrum avd. 17
- Patientrum avd. 18
- Administrativa lokaler

### Hur har din aktivitetsnivå varit under den senaste timmen?

- Låg (stillasittande arbete)
- Medel (stående/gående)
- Hög (tungt/intensivt)

### Hur har du upplevt inomhustemperaturen senaste timmen?

- Mycket kallt  Kallt  Något kallt  Lagom  Något varmt  Varmt  Mycket varmt

### Hur har du upplevt luftfuktigheten senaste timmen?

- Mycket låg  Låg  Något låg  Lagom  Något hög  Hög  Mycket hög
- dvs mycket torr
- dvs mycket fuktig

### Hur har du generellt upplevt luftkvaliteten senaste timmen? (dvs känns luften instängd eller illaluktande)

- Mycket dålig  Dålig  Ganska dålig  Acceptabel  Ganska bra  Bra  Mycket bra

## Appendix 6 - Nattvandring 2007-01-05

### **Avdelning 17**

De flesta patientrum stängda dörrar vi ser en TV.

Belysningen på i hela korridoren.

Pentry: Diskmaskin igång, kaffebryggare 2015W igång, kyl och frys. Belysning i tak tänd

Sköljrum: Kyl, disk 7,25 kW. Belysning tänd

Öppen yta: kyl/frys, halv kyl, TV på stand-by, taklampor (runda) tända

Läkarexp: dator, 6 lysrör tända

Pers.rum: 3 datorer, LCD TV på stand-by. Belysning delvis tänd

Sekr. 2 datorer, LCD-tv stand-by. Belysning delvis tänd

“Dagrum” TV på, 1 dator, belysning 1 lampa.

AF-exp 1 dator.

### **Part A**

Takbelysning i korridor tänd

Toaletter, tre tända med 2 lysrör per toalett

Sköljrum: belysning (6 lysrör) tänd, 2 diskar 7,25 kW.

### **Avdelning 18**

Belysning på i korridor (15 lysrör)

Tänt i tambur till patientrum 2

Dator i korridoren, igång

TV på i personalrum

Dator i läkar. exp.

Kopiator.

Pentry: diskmaskin igång, kaffebryggare 2015 W igång 2 kyl/frys, dator. Belysning tänd

Sköljrum 24 lysrör tända, disk 7,25 kW, ismaskin, kyl, tvättmaskin (ej i drift)

Beh.rum 1 dator

Exp. printer

Sköterske exp. 6 datorer 8 lysrör

Öppen yta runda lampor i taket tända

**Dagrum:** liten kyl, släckt

### **Part B**

Belysning i korridor i drift

Sköljrum 2 diskar (7,25 kW), belysning 6 lysrör tända, ismaskin 290 W.

Tänt i förråd



## Appendix 7 - Anteckningar från Energiseminarium 2007-11-15, Falun

Deltagare från landstingen i Dalarna, Västmanland, Värmland, Gävleborg och Uppsala.

Seminariet började med en presentation av energieffektiviseringsarbetet vid Landstinget Dalarna och Falu lasarett. Efter en presentation av projektet följde en diskussion kring nyckeltal över inomhusklimat och energianvändning som passar vårdlokaler. Nedan återges huvudpunkterna i diskussionen:

- Det kan vara bra med nyckeltal att sticka i näven på projektörer/konsulter för att ställa krav.
- Nyckeltalen bör delas upp på el och värme
- De kan användas för ”köparen” vad energin kostar och används till.
- Ett antal nyckeltal kan visas i spindeldiagram för att visa på vissa förhållanden
- Dela upp nyckeltal på olika lokaltyper (t ex vårdavdelning, mottagning, operation, röntgen, administrativa lokaler)
- Bra som jämförelse material mellan olika fastighetsägare
- El mot värme mot komfort
- Installation av komfortkyla bör ställas mot resultat i inneklimatenkäter
- Kan vara bra för fastighetsägare att visa för beställare hur de ligger till i jämförelse med andra
- DRG-poäng skulle kunna användas som allokeringmetod men svårt att koppla energi till verksamhetens geografiska placering<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> DRG står för DiagnosRelaterade Grupper och är en metod som grupperar vårdkontakter efter medicinska kriterier och resursåtgång. Det kallas ibland för sekundär klassificering eftersom det bygger på att en diagnosklassificering redan har skett. Genom att vårdtillfällena på sjukhuset delas in i ett relativt litet antal grupper får man i DRG ett verktyg för mer överskådlig verksamhetsbeskrivning. ([www.skf.se](http://www.skf.se))





## Appendix 8 - Analysis on Thermal Comfort for a Hospital Building by Multi-zone Modeling – Summer Condition.

M. Cehlin, B. Moshfegh, F. Karlsson and U. Larsson

World Renewable Energy Congress X and Exhibition, 19-25 July, 2008, Glasgow, Scotland.