

Rapport

R79:1990

4723

**Energispareffekter på ventila-
tionsanläggningar inom
lokalsektorn**

Anders Nilson

Anders Walter

Byggforskningsrådet

REFERAT

Rapporten anknyter till en tidigare publicerad rapport kallad Energisparpotentialen i lokaler - Energieffektivisering av fem kontorsbyggnader genom energiteknisk upprustning (R27:1987).

I rapporten studeras hur stor del av den totala besparingen som kan hänföras till åtgärder på luftbehandlingssidan, jämfört med rent byggnadstekniska åtgärder. Kompletterande mätningar i två av de fem fastigheterna, jämte beräkningar, visar att den ojämförligt största besparingen ligger just på ventilationen. Vidare spaltas de ventilationstekniska åtgärderna upp och bl a visar det sig att så mycket som 75 % av besparingen hänförs till en effektiv drifttidsstyrning. De värmeåtervinningssystem som installerats står endast för ca 20 % av besparingen.

För en av de två byggnaderna skilde sig den förväntade och den uppmätta besparingen väsentligt. Den entreprenör som genomförde åtgärderna lyckades alltså inte uppnå de utlovade besparingarna. Genom analys av beräkningsmetoder och kontroller på plats klarläggs de flesta orsakerna till denna skillnad. Rapporten visar här att förvånansvärt många fel och brister kvarstår sedan anläggningen slutbesiktigats och varit i drift en längre tid. Bl a innehöll återvinningens värmebärarsystemansenliga mängder luft på grund av att de automatiska luftningsventilerna monterats på ett felaktigt sätt.

I Bygghörsningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R79:1990

ISBN 91-540-5245-9
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
gotab Stockholm 1990

R79:1990

ENERGISPAREFFEKTER PÅ VENTILATIONS-
ANLÄGGNINGAR INOM LOKALSEKTORN

Anders Nilson
Anders Walter

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860973-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Bengt Dahlgren AB, Göteborg.

INNEHÅLL	SID
1. Allmänt	3
2. Kortfattad byggnadsbeskrivning	
2.1 Kastellholm 16, Göteborg	3
2.2 Stora Bommen 5, Göteborg	4
3. Förutsättningar	5
4. Kompletterande mätningar	6
5. Mätresultat	
5.1 Allmänt	6
5.2 Luftflödesmätning våren 1987	7
5.3 Mätning av temperaturverkningsgrader våren 1987	8
5.4 Flödeskontroller	12
5.5 Inomhustemperatur	12
6. Beräknade energibesparingar	
6.1 Beräknad besparing för enbart ventilationsåtgärder	13
6.2 Beräknad total energibesparing	15
6.3 Kommentarer till beräknade energibesparingar	21
7. Fortsatta mätningar och analyser av Kastellholm 16	21
8. Diskussion och slutsatser	24
Referenser	26

1. ALLMÄNT

Föreliggande rapport visar de energibesparingar, som åtgärder på ventilationsystemen i två kontor i Göteborgsregionen resulterat i.

Fastigheterna har, tillsammans med ytterligare tre kontorslokaler i andra delar av landet, tidigare ingått i Byggforskningsrådets demonstrationprojekt "Energisparpotentialen i lokaler" (1).

Då avsikten i tidigare projekt var att på ett demonstrativt sätt påvisa den totala sparpotentialen på byggnaders uppvärmningsenergi inom lokalsektorn, redovisades enbart den sammanlagda besparingen av de genomförda åtgärdspaketet.

En stor andel av den totala energiförbrukningen för uppvärmning åtgår för att temperera ventilationsluft i denna typ av byggnader. Genom att detaljstudera enbart ventilationsystemets energiförbrukning före respektive efter åtgärder kan graden av lönsamhet respektive funktion för den typen av åtgärder dokumenteras.

Mot bakgrund av detta har Bengt Dahlgren AB genomfört kompletterande mätningar och analyser på fastigheterna Kastellholm 16 (Folksam) samt Stora Bommen 5 (Trygg-Hansa), Göteborg.

2. KORTFATTAD BYGGNADSBESKRIVNING

2.1 Kastellholm 16, Göteborg

Folksams fastighet Kastellholm 16 i centrala Göteborg är ett nio våningars kontorshus med en yta på ca 8.879 m². Byggnaden var inflyttningsklar 1957. Fastigheten var behäftad med allvarliga köldbryggor och otätheter i fasad före åtgärd. Fasadytan bestod dessutom till 65 % av fönster. Göteborgs kommun levererar fjärrvärme till byggnaden. Värmen distribueras med ett tvårörssystem till konventionella radiatorer försedda med termostatventiler.

Ventilationsystemet är huvudsakligen av typen FT-system. Aggregatrummen är koncentrerade till vindsvåningarna och har vertikal kanaldragning via centrala schakt med avstick på varje våning. Samtliga kontorsrum har inblåsning av tilluft bakom radiatorerna under fönster. Anläggningen var till stor del drifttidsstyrd men saknade återvinningsutrustning.

Kastellholm 16 var den byggnaden inom demonstrationsprojektet där de mest genomgripande åtgärderna genomfördes. Åtgärds-paketet innehöll åtgärder som t ex:

- o Tilläggsisolering av yttervägg och tak
- o Minskning av fönsterytan
- o Insättning av 3-glas aluminiumfönsterpartier
- o Tre nya ventilationsaggregat med roterande värmeväxlare
- o Batterivärmeväxlare i garage
- o Datoriserad styr- och övervakningsutrustning
- o Ny komfortkylanläggning av typ fancoil

Åtgärderna genomfördes av en totalentreprenör som lämnade en garanti till fastighetägaren på energiförbrukningen efter genomförandet.

2.2 Stora Bommen 5, Göteborg

Stora Bommen 5 består av två byggnadsdelar vilka är genomförda i olika etapper under perioden 1965-67. Fastigheten ägs av Trygg-Hansa och har en kontorsyta på ca 16.500 m². Huset består av en betongstomme med utfackningsväggar av sandwichtyp och sten som fasadmateriel.

Fastigheten är ansluten till Göteborgs kommuns fjärrvärmenät och värme distribueras med ett tvårörssystem till fönsterapparater i de senare byggnadsetapperna medan den tidigare delen har varmluftsspridare under fönster.

Fastighetens ventilationsaggregat är koncentrerade till fyra stora fläktrum på vindsplanet. Systemet är av typ FT med vertikala ventilationsschakt med horisontella kanalstråk som delvis är ingjutna i bjälklaget till respektive plans fönsterapparater. Ingen form av återvinning fanns i anläggningen. En central kylanläggning för kylning av tilluft till syd- och västfasadernas tilluftsapparater fanns dock.

Åtgärdspaketet för Stora Bommen 5 innehöll i huvudsak åtgärder på fastighetens ventilationssystem. Exempel på åtgärder är:

- o Minskade drifttider
- o Återvinning med batterivärmeväxlare på de större ventilationsaggregaten
- o Minskade luftmängder i garage genom koldioxidstyrning
- o Total injustering av värme- och ventilationsanläggningen

Åtgärderna genomfördes av en totalentreprenör.

3. FÖRUTSÄTTNINGAR

Demonstrationsprojektet "Energisparpotentialen i lokaler" avslutades hösten 1986. I projektet utfördes en utförlig dokumentation över de byggnadsfysikaliska storheterna för respektive byggnad såväl före som efter genomförandet av energihushållningsåtgärder. Dessa har använts ograverat förutom U-värdet för fönster i Kastellholm 16, där diskussioner förts under tiden arbetet pågått.

Uppgifter om systemuppbyggnad, drifttider, luftmängder, temperaturer mm för situationen före det att åtgärderna genomfördes, har till övervägande del tagits från den stora informationsmängd som samlades in i demonstrationsprojektet.

System- och mätdata för respektive byggnads ventilationsanläggning före åtgärder har till viss del varit svåra att värdera, eftersom informationen ej insamlades med huvudsyftet att studera denna. Kompletterande diskussioner med respektive delprojekts VVS-konsult och med hjälp av deras inventeringsanteckningar inför projekteringen av åtgärderna, har gett många klarlägganden.

Ett omfattande mätsystem för temperatur- och energimätning installerades tidigt i byggnaderna, vilket har givit god och väldokumenterad information för analys av byggnadens totala energianvändning. Statens institut för byggnadsforskning (SIB) har genomfört luftflödesmätning med spårgas såväl före som efter det att åtgärderna genomfördes. Spårgasmätningen efter åtgärd genomfördes dock i samband med entreprenadernas fördigställande, vilket har medfört att inkörningsproblem mm påverkat resultatet av dessa.

4. KOMPLETTERANDE MÄTNINGAR

Som redan tidigare nämnts var huvudsyftet med demonstrationsprojektet "Energisparpotentialen i lokaler" att visa den **sammanlagda besparingen av uppvärmningsenergi**, som uppnåtts med de genomförda åtgärdspaketen. För att bedöma den besparing som åtgärderna på ventilationssystemet medförde har kompletterande mätningar utförts.

Följande **huvudsakliga** mätningar på respektive fastighets ventilationssystem har gjorts:

- o Temperaturverkningsgrader under drift för respektive återvinningsanläggning.
- o Flödeskontroller på värmebärare i vätskekopplade återvinningsbatterier.
- o Luftflödesmätning med spårgasmetod på de största ventilationsaggregaten.
- o Kontroll av drifttider

Dessutom har en noggrann besiktning av ventilationsanläggningarna samt intervjuer med brukarna utförts.

För fastigheten Kastellholm 16 har ytterligare mätningar genomförts vid ett flertal tillfällen. Orsaken till dessa ytterligare mätningar har varit att den utlovade energispargarantin **inte** uppfyllts. Fastighetens komplicerade driftstrategi har varit föremål för diskussioner mellan entreprenör och beställarens representanter. Olika strategier har prövats och utvärderats. Rena felaktigheter har på detta sätt också upptäckts och rättats till, vilket lett till att energiförbrukningen för uppvärmning successivt minskat, dock ej ända ner till den utlovade nivån.

5. MÄTRESULTAT

5.1 Allmänt

Detta avnitt kommer att behandla de mätresultat för ventilationsanläggningarna, som erhöles under våren 1987, dvs direkt efter avrapporteringen av demonstrationsprojektet. Dessa kan i viss mån sägas avspegla utfallet vid normal hantering av entreprenader och besiktning av dessa.

I samband med de mer detaljerade studierna framkom dock vissa förklaringar till varför uppsatta mål och i det här fallet även energispargarantier ej uppfyllts.

I fall där enbart åtgärder på ventilationsanläggningen genomförs utan kopplingar till annan grupp av åtgärder kan energibesparingar på ett relativt enkelt sätt beräknas. Däremot är det svårare att beräkna effekterna av genomgripande åtgärder på byggnadens hela system. Vid sådana ombyggnader kan modellering med teoretiska beräkningsprogram tillsammans med omfattande mätning ge tillförlitliga bedömningar på energibesparingen.

Därför kommer i nästa avsnitt utöver den **enskilda besparingen på ventilationsanläggningen** utifrån genomförda mätningar också utförda beräkningar för hela byggnaden att redovisas. De flesta energibalanserna redovisas för Kastellholm 16, där utlovade besparingar inte kunde uppfyllas.

5.2 Luftflödesmätning våren 1987

Kompletterande luftflödesmätningar med spårgas (2) har i denna studie endast genomförts på de största ventilationsaggregaten, dvs de som försetts med värmeåtervinning. I fastigheten Stora Bommen 5 innebär detta att ca 55 % av den totala luftmängden mätts respektive ca 75 % i Kastellholm 16. Mätningarna har genomförts på såväl tillufts- som frånluftsaggregat.

Övriga luftmängder efter åtgärdernas genomförande samt de luftmängder som förelåg före genomförandet har hämtas från den datamängd som samlats in inom ramen för demonstrationsprojektet.

I **tabell 1** redovisas total luftmängd under drift direkt efter demonstrationsprojektets avslutande våren 1987 samt före det att åtgärder genomfördes.

Fastighet	Tilluft [m ³ /h]		Frånluft [m ³ /h]	
	Före	Efter	Före	Efter
Stora Bommen 5	57 000	47 000	69 500	61 000
Kastellholm 16	61 400	46 500	53 000	46 000

Tabell 1: Total luftmängd under drift före respektive efter åtgärd

De i tabell 1 redovisade totalluftmängderna med sina respektive drifttider ger, utslaget på en veckas samtliga timmar, ett medelluftflöde per timma som redovisas i tabell 2 nedan.

Fastighet	Tilluft [m ³ /h]		Frånluft [m ³ /h]	
	Före	Efter	Före	Efter
Stora Bommen 5	23 400	12 900	35 400	18 300
Kastellholm 16	26 700	12 500	26 500	12 500

Tabell 2: Medelluftmängd m h t drifttider

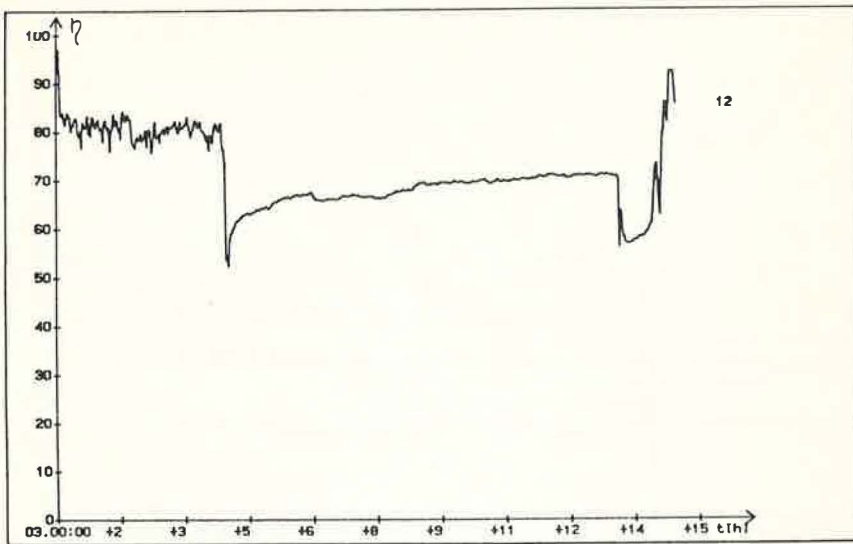
Av ovanstående framgår med all önskvärd tydlighet att den totala luftmängd, som skall värmas, har minskat med ca 50 % och att detta till största delen beror på en effektivare drifttidsstyrning av ventilationsanläggningarna.

5.3 Mätning av temperaturverkningsgrader våren 1987

I samband med luftflödesmätningarna installerades dataloggers för mätning av respektive återvinningsaggregats temperaturverkningsgrad under drift. Inom fastigheten Stora Bommen 5 har de större ventilationsaggregaten försetts med vätskekopplade batterivärmeväxlare medan det i Kastellholm 16 till övervägande del installerats roterande värmeväxlare. Före åtgärd fanns ingen återvinning.

Mätningarna har pågått kontinuerligt under minst en tvåveckors period för att bestämma en medeltemperaturverkningsgrad under denna tid. Syftet har varit att mäta de verkningsgrader som råder under verkliga driftförhållanden. Det är dessa verkningsgrader som är av betydelse för energiförbrukningen - inte de tekniskt maximala.

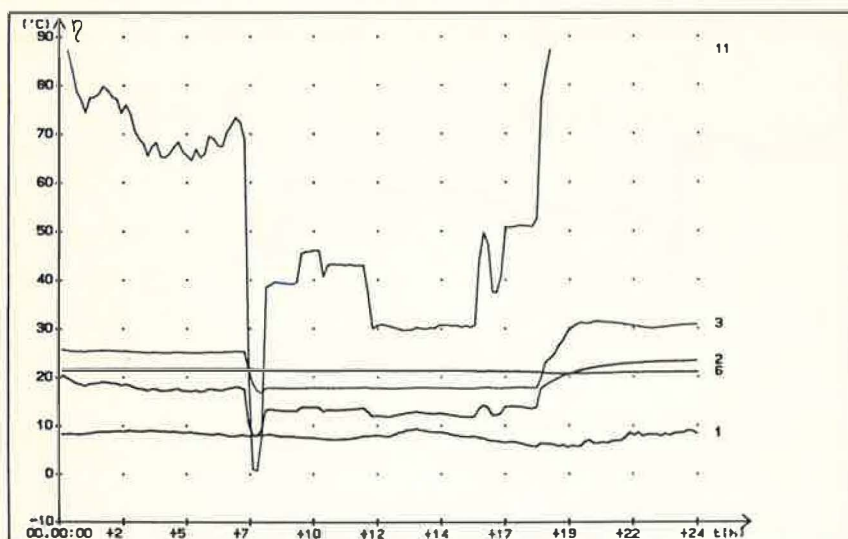
Temperaturgivarna, som utgörs av termoelementtråd av typen koppar/konstantan, har placerats i kanalernas geometriska tyngdpunkt. Mätdata har överförts från datalogger till persondator för senare analys och presentation. I figur 1 redovisas exempel på mätresultat från Stora Bommen 5 och i figur 2 från Kastellholm 16.



Figur 1: Temperaturverkningsgrad för aggregat FA 4 under 1987-03-19

Anmärkningar: 12 = η_{temp}

Som framgår av figur 1 startar fläktarna ca kl 7.30 och stoppar ca 16.30. Kurvan mellan dessa tidpunkter visar temperaturverkningsgraden under drift. Övriga tider innebär kurvan en beräkning av temperaturverkningsgraden utan något luftflöde. Dessa sistnämnda data är naturligtvis helt ointressanta!



Figur 2: Temperaturverkningsgrad för aggregat 901 under perioden 1987-12-21

Anmärkning: 1 = TL före VVX 6 = FL före VVX
 2 = TL efter VVX 11 = \dot{m} temp
 3 = TL efter värmebatteri

Den övre kurvan i figur 2 visar temperaturverkningsgraden under drift för den roterande växlaren i aggregat 901 (största kontorsaggregatet) inom Kastellholm 16. Av okänd anledning startar fläktarna tidigare än den roterande växlaren vilket framgår av figuren. Efter ca 30 minuter börjar dock växlaren rotera. Den varierande verkningsgraden under dagen beror på att värmeväxlarens rotationshastighet ändras beroende på det kylbehov som föreligger i byggnaden. Övrig tid är den beräknade temperaturverkningsgraden irrelevant i analogi med figur 1. Utomhustemperaturen är för perioden ca 8 °C.

För **Stora Bommen 5** visar mätningarna att temperaturverkningsgraden varierar mellan aggregaten i intervallet 40 - 65 %, där det största aggregatet har den högsta uppmätta verkningsgraden. Orsakerna till det dåliga resultatet, framförallt på aggregat IA 17, är dels att värmebärarsystemet innehåller luft och dels att återvinningsbatterierna ovan tak ej utnyttjar all tillgänglig frånluft pga läckage.

För de roterande värmeväxlarna inom fastigheten Kastellholm 16 varierar temperaturverkningsgraden under uppmätt period mellan aggregaten i intervallet 30 - 70 %. Variationen för enskilda aggregat vid olika tidpunkter är också stor. Förklaringen är att de största ventilationsaggregaten har försetts med kylbatteri som är sammankopplat med ett sk fancoilsystem. Det datoriserade styr- och övervakningssystemet reglerar rotationshastigheten på värmeväxlarna och därmed återvinningen så att uteluft i första hand skall användas för kyla. Driftstrategin innebär att anläggningen vid vissa förutsättningar både kyler och värmer ventilationsluft samtidigt som värmeåtervinningen inte utnyttjas fullt ut. Man har helt enkelt prioriterat korta drifttider på kylmaskinerna.

Sammanfattande viktade medeltemperaturverkningsgrader map luftmängderna för samtliga aggregat med återvinning i respektive fastighet under uppmätt drifttid redovisas i tabell 3 nedan.

Fastighet	Medelverkningsgrad [%]
Stora Bommen 5	52
Kastellholm 16	48

Tabell 3: Medeltemperaturverkningsgrad för ventilationsaggregat försedd med återvinning

De i tabell 3 redovisade medelverkningsgraderna för aggregat försedd med återvinningsutrustning ger vidare en sk återvinningsgrad för fastigheten enligt tabell 4 nedan. Med återvinningsgrad menas här den andel av den totala energimängd för uppvärmning av ventilationsluft i fastigheten, inkl. aggregat utan återvinningsutrustning, som återvinns.

Fastighet	Återvinningsgrad [%]
Stora Bommen 5	33
Kastellholm 16	32

Tabell 4: Återvinningsgrad för fastigheternas hela ventilationsanläggning

Den i tabell 4 redovisade återvinningsgraden för Kastellholm 16 är den som erhöles under den period vi genomförde här aktuella mätningar. Eftersom de olika aggregatens temperaturverkningsgrad är beroende av de interna belastningarna och utomhustemperaturen, är det tveksamt om den uppmätta verkningsgraden representerar de förhållanden som råder under en hel uppvärmningssäsong.

5.4 Flödeskontroller

Samtidigt som spårgasmätningar utfördes i Stora Bommen 5, genomfördes momentana flödeskontroller på samtliga värmebärarsystem för den vätskekopplade värmeåtervinningsutrustningen. Sammanfattningsvis visade dessa mätningar att utförd injustering av flöden och styrsystem motsvarar de föreskrivna, och funktionen därmed i detta avseende var tillfredsställande.

Däremot framkom stora problem med luft i systemen. Anläggningen har försetts med sk automatiska avluftningsventiler. Dessa ventiler skall i konventionella vattenburna system, om de placeras rätt, samla upp små luftbubblor och "släppa ut" dessa successivt. Inom anläggningen på Stora Bommen 5 var flertalet av dessa avluftare felplacerade och kunde därmed inte "fånga upp" de små svävande luftbubblorna. Dessutom är värmebärarmediet uppblandat med glykol p g a frysrisk, vilket ger mediet en högre viskositet och därmed svårigheter att "släppa ifrån sig" dessa små luftbubblor. En bättre lösning borde ha varit att förse systemet med rätt placerade stora manuella avluftningsklockor.

Luft i systemet innebär t ex att återvinningsbatterierna fångar upp delar av den luft som finns i mediet och därmed ej är helt fyllda med vätska. Detta innebär i sin tur att värmeöverföringen försämras och att den förväntade temperaturverkningsgraden ej kan uppnås. Detta framgår också av mätningarna av temperaturverkningsgraden.

5.5 Inomhustemperatur

Inom ramen för projektet "Energisparpotentialen i lokaler" installerades en omfattande temperaturmätingsutrustning i samtliga fastigheter (1). Systemet som även använts i liknande projekt inom flerbostadshussektorn (3), mäter temperaturen i utrymmen av strategisk betydelse. Genom att sedan vikta temperaturerna map den byggnadsvoly m de representerar och beräkna ett medelvärde, kan fastighetens medeltemperatur bestämmas.

Det resultat som erhöles i demonstrationsprojektet (1) har använts vid beräkningar för situationen våren 1987. Dessa redovisas i tabell 5.

Fastighet	Medeltemperatur inne [°C]	
	Före	Efter
Stora Bommen 5	21.9	20.6
Kastellholm 16	21.8	20.9

Tabell 5: Medeltemperatur inomhus före respektive efter åtgärder (1).

Den lägre inomhustemperaturen efter åtgärder innebär naturligtvis att det åtgår mindre energi för att värma ventilationsluften i fastigheterna.

6. BERÄKNADE ENERGIBESPARINGAR

6.1 Beräknad besparing för enbart ventilationsåtgärder

Med de uppmätta resultat, som redovisades i föregående avsnitt, kan energiförbrukningen för uppvärmning av ventilationsluft beräknas före respektive efter åtgärder. Denna har sammanställts i tabell 6.

Energiförbrukning ventilation [MWh/år]				
Delvolym	Stora Bommen 5		Kastellholm 16	
	Före	Efter	Före	Efter
Kontorsvent.	400	240	1 045	320
Infiltration 1)	570	195	170	120
Garage	330	55	-	-
SUMMA	1 300	490	1 215	440
BESPARING	810 (62 %)		775 (64 %)	

1) Infiltrationen är stor pga otät fasad och obalans mellan till- respektive frånluft.

Tabell 6: Energiförbrukning för uppvärmning av ventilationsluft före respektive efter åtgärd

Besparingens storlek för de enskilda åtgärderna som berör respektive fastighets ventilationssystem av den ovan redovisade totala besparingen, har sammanställts i tabell 7 nedan. Resultaten redovisas på det här stadiet helt utan eventuella kopplingar till övriga åtgärder på fastigheterna.

Energibesparing ventilation [MWh]		
Åtgärd	Stora Bommen 5	Kastellholm 16
Reduc. luftmängd kontor	320 (40%)	595 (77%)
Reduc. luftmängd garage	270 (33%)	-
Värmeåtervinning	160 (20%)	155 (20%)
Sänkt inomhustemperatur	60 (7%)	25 (3%)
SUMMA	810 (100%)	775 (100%)

Tabell 7: Respektive åtgärds andel av den totala besparingen på ventilationsanläggningen

Som framgår av ovan redovisade resultat utgör energibesparingen i fastigheternas ventilationssystem en stor post.

Enligt (1) var den **uppmätta föreförbrukningen** vad avser köpt fjärrvärme ca 1950 MWh/år för Stora Bommen 5 och ca 1265 MWh/år för Kastellholm 16. Motsvarande **uppmätta totala besparingar** va ca 810 MWh/år respektive 670 MWh/år.

För **Stora Bommen 5** utgör således besparingen på ventilations-systemet (810 MWh/år) ca 40 % av den uppmätta föreförbrukning, dvs hela den uppmätta besparingen enligt (1) beror på de genomförda åtgärderna på ventilationssystemet.

För **Kastellholm 16** utgör motsvarande besparing på ventilationssystemet (775 MWh/år) ca 60 % av uppmätt föreförbrukning enligt (1). Denna är dock betydligt större än den enligt (1) uppmätta besparingen för **samtliga åtgärder** (670 MWh/år), vilket tyder på att värmeenergiförbrukningen för fastigheten har ökat i något annat avseende. Vad detta kan bero på redovisas i avsnitt 6.2.

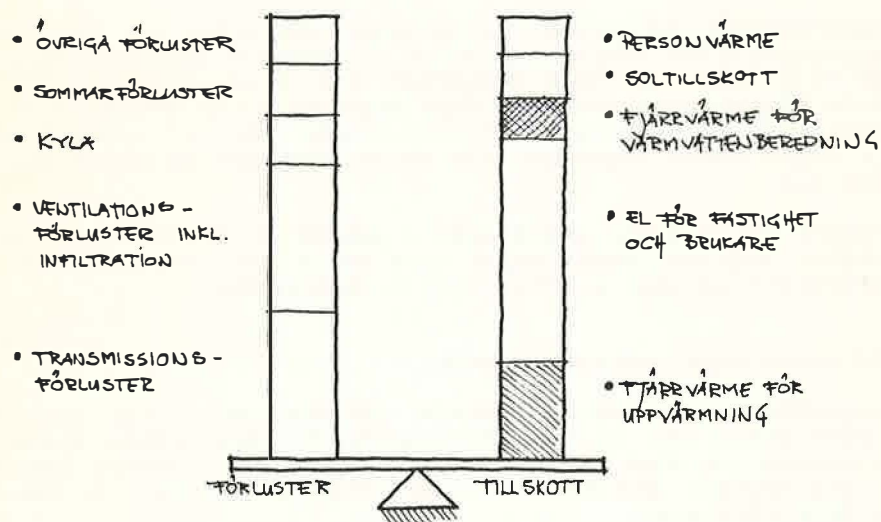
Intressant är, utifrån resultaten i **tabell 7**, dessutom att den överlägset största besparingen inte beror på investeringar i värmeåtervinning utan i optimering av drifttider.

6.2 Beräknad total energibesparing

Att upprätta teoretiskt beräknade energibalanser för respektive fastighet, ger en ökad förståelse för byggnaders dynamik med avseende på energianvändningen. Genom att jämföra teoretiska beräkningar med resultat med mätningar kan avvikelser i många fall förklaras.

Energiposterna som vi redovisar i detta avsnitt är dock en blandning av mätta och teoretiskt beräknade resultat. Transmissionsförlusterna är beräknade med utgångspunkt från de konstruktionsbeskrivningar som tagits fram. Tillgodogjord solenergi har beräknats med den sk BKL-metoden. Ventilationsförluster har beräknats enligt föregående avsnitt och slutligen har **uppmätta värden** på sommaruppvärmning, varmvattenförbrukning, inomhustemperatur samt elförbrukningar, använts.

Det **principiella utseendet** av energibalansen för en byggnad av här aktuellt slag framgår enligt figur 3 nedan.



Figur 3: Energibalansens principiella utseende

I detta fall önskar vi, utifrån genomförda mätningar och beräkningar, erhålla köpt fjärrvärme för uppvärmning och varmvattenberedning för en jämförelse med uppmätta värden i (1).

De i tabell 8 redovisade resultaten i energibalanserna är de som förelåg under våren 1987 (jfr principiellt utseende i figur 3).

ENERGIBALANS
[MWh/år]

	Stora Bommen 5		Kastellholm 16	
	Före	Efter	Före	Efter
Transmission	1 225	1 080	865	540
Ventilation, kontor	400	240	1 045	320
garage	330	55	-	-
Infiltration	570	195	170	130
Sommarförluster	80	105	20	30
Varmvattenberedning	65	75	30	20
Soltillskott	- 510	- 415	- 215	- 80
Personenergi	- 140	- 140	- 90	- 90
El totalt	- 670	- 775	- 650	- 785
Övriga förluster	180	215	165	220
Kyla	-	-	-	20
Köpt fjärrvärme	1 530	635	1 340	325
Beräknad besparing		895		1 015
Uppmätt besparing ¹		810		670

¹ Enligt referens (1)

Anm.: De med - redovisade posterna utgör tillskott i energibalansen (jfr figur 3)

Tabell 8: Beräknade energibalanser före resp. efter åtgärd med mätdata från våren 1987

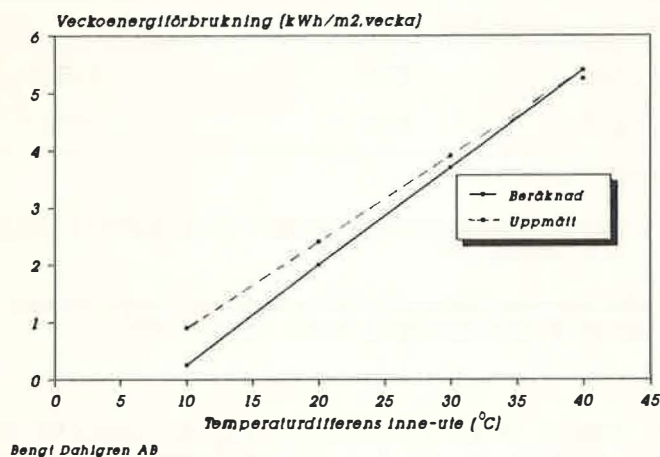
Som framgår av tabell 8 är avvikelserna mellan uppmätt och beräknad besparing mindre än 10 % i Stora Bommen 5, vilket får ses som ett mycket bra resultat. För Kastellholm 16 däremot är avvikelserna uppemot 50 %, vilket är en helt oacceptabel stor avvikelse.

För att försöka penetrera orsaken till denna mycket stora avvikelse mellan uppmätt besparing och teoretiskt beräknad har jämförande sk energisignaturer tagits fram för Kastellholm 16. Energisignaturen beskriver, i sin enklaste form, energiförbrukningen för den individuella fastigheten under en viss tidsperiod som en funktion av temperaturskillnaden mellan inne- respektive utetemperatur.

Den teoretiskt beräknade signaturen har tagits fram med hjälp av energibalansprogrammet NYAENORM. Beräkningar görs för årets alla dagar har plottas som en funktion av temperaturskillnaden. Rent teoretiskt har energisignaturen en elliptisk form beroende på skillnader i solinstrålning mellan vår och höst. För enkelhetens skull har vi tagit medelvärden mellan den övre och den undre förbrukningen på ellipsen och bildat en rät linje. Detta har i praktiken endast marginell betydelse vid bestämning av årsförbrukningar, vilket också visats i tidigare rapporter (1),(3),(4).

Som jämförelse har en energisignatur, som utgår från uppmätta veckoförbrukningar och temperaturer tagits fram. Dessa senare har även efter demonstrationsprojektets avslutande fortlöpande tagits fram för fastighetsägarens räkning.

De framtagna energisignaturerna visas i figur 4 nedan.



Figur 4: Teoretiskt beräknad och uppmätt energisignatur efter åtgärd för Kastellholm 16, våren 1987.

Figur 4 visar att avvikelsen mellan linjerna minskar vid sjunkande utomhustemperatur. Detta innebär att de teoretiska energiförlusterna vid låga utomhustemperaturer, då gratisenergitillskottet från sol är av liten betydelse, stämmer väl överens med de uppmätta. Då dessutom uppmätta värden på övriga gratisenergitillskott har satts in i energibalansprogrammet bör en rimlig slutsats vara att de byggnadsfysikaliska storhe-

terna som använts i programmet (U-värden mm), har acceptabel överensstämmelse med verkligheten.

Visserligen föreligger det en viss skillnad vid temperaturdifferensen ca 30 °C. Denna bör till största delen kunna spegla avvikelser mellan de "verkliga" och beräknade byggnadsfysikaliska storheterna. Denna skillnad förklarar dock endast 10-15 % av den totala besparingsavvikelsen.

Eftersom avvikelserna i besparingen huvudsakligen har ett beroende till utetemperatur och därmed gratisenergens betydelse i balansen, detaljstuderades de mätbara faktorer som direkt påverkar gratisenergin. Dessa faktorer är i huvudsak tillgodogjorda värme av den uppmätta totala elanvändningen samt driften av kylanläggningen.

Vid studien, vilken bl a innehöll intervjuer av brukarna, framkom att klagomål på låg inomhustemperatur förekom ofta. Detta trots att energiförbrukningen för uppvärmning i förhållande till teoretiska beräkningar var för hög. Vid analys av kylanläggningen i fastigheten framkom att kylmaskinens förbrukning ej stämde överens med det kylbehov fastigheten teoretiskt borde ha.

Kylanläggningen hade försetts med en elmätare för att möjliggöra en uppföljning av elförbrukningen och därmed driften. Eftersom elförbrukningen var misstänkt låg undersöktes inkopplingen av mätaren samt avläsningarna av denna. Härvid framkom att mätarens räkneverk var så olyckligt utformat att sista siffran på räkneverket tolkades som en decimal, trots att så inte var fallet.

Elförbrukningen för kylanläggningen inklusive cirkulationspumpar mm var istället för ca 11 MWh/år (decimalfelet!) i storleksordningen ca 115 MWh/år. Detta skulle motsvara en kylenergi på ca 285 MWh/år. Det beräknade kylbehovet uppgår i storleksordningen till 40 MWh/år.

Ovanstående innebär, dels att tillgodogjorda värmeenergi av den totala elanvändningen skall minska, dels att den för stora kylenergin skall subtraheras från tillförd värmeenergi. Den senare blir då 245 MWh/år (285 - 40 MWh/år).

Den korrigerade energibalansen för Kastellholm 16 kan i analogi med tidigare skrivas enligt tabell 9 nedan.

ENERGIBALANS [MWh/år]		
Kastellholm 16		
	Före	Efter
Transmission	865	540
Ventilation	1 045	320
Infiltration	170	130
Sommarförluster	20	30
Varmvattenberedning	30	20
Soltillskott	- 215	- 80
Personenergi	- 90	- 90
El totalt	- 650	- 785
Övriga förluster	165	300
Kylenergi	-	245
<i>Köpt fjärrvärme</i>	<i>1 340</i>	<i>630</i>
Beräknad besparing	710	
Uppmätt besparing ¹	670	

¹ Enligt referens (1)

Tabell 9: Energibalans för Kastellholm 16 med hänsyn tagen till den stora kylenergin

Orsaken till den stora elförbrukningen för kylanläggningen visade sig vara en feltolkning av driftstrategin för anläggningen. Kompressorn tilläts vara i drift trots att värmebehov förelåg, vilket enkelt uttryckt innebar att uteluft ej utnyttjades för kylning samt att värme och kyla tillfördes byggnaden samtidigt. Detta fick naturligtvis störst genomslagskraft under perioder med betydande "gratistillskott" då denna kylades bort, trots att den borde tillgodogöras som värme.

Den i **tabell 9** redovisade summan är det behov av värmeenergi, som måste tillföras fastigheten via fjärrvärmeundercentralen. Enligt den korrigerade balansen skall denna vara i storleksordningen 630 MWh/år vid den felaktiga driften. Motsvarande uppmätt fjärrvärmeförbrukning är 600 MWh/år, vilket innebär en god överensstämmelse.

I samband med kontraktering av upphandlad totalentreprenör tecknades också en energispargaranti mellan entreprenör och beställare. Entreprenören utlovade i denna garanti en högsta

energiförbrukning efter åtgärd. Deras beräkning angav en högsta förbrukning på ca 300 MWh/år efter åtgärd, vilket dock senare ändrades i avtalet till ca 400 MWh/år.

Uppmätt förbrukning är ca 100 % större än entreprenörens beräknade förbrukning och ca 50 % större än den kontrakterade. Efter det att kompletterande mätningar och analyser på fastighetens ventilationsanläggning genomförts har en diskussion förts mellan parterna om vad som orsakar den högre förbrukningen samt vilka åtgärder som måste vidtas för att minska andelen köpt fjärrvärme. En direkt åtgärd var att ändra driftstrategin för kylanläggningen. Resultaten av dessa diskussioner och tillhörande analyser redovisas i nästa avsnitt.

6.3 Kommentarer till beräknade energibesparingar

Utifrån redovisade resultat i detta avsnitt kan konstateras att betydande energibesparingar har uppnåtts genom åtgärder på fastigheternas ventilationssystem. Den enskilda åtgärd som betytt mest för besparingen har varit en effektiv drifttidsstyrning av fläktar. Denna har stått för ca 75 % av besparingen.

Besparingen för Stora Bommen 5 visar god överensstämmelse med den förväntade. För Kastellholm 16 är avvikelserna däremot betydande. Orsakerna till avvikelserna är delvis oklara men genom att anläggningen är mer komplex, har valda driftstrategier i den datoriserade styr- och övervakningsanläggningen ej i tillräcklig omfattning tagit hänsyn till samspillet mellan byggnad och dess tillhörande värme- och luftbehandlingssystem. Detta har inneburit att köpt värmeenergi varit onödigt hög och att utlovade garantier på högsta energiförbrukning efter åtgärd ej kunnat uppfyllas.

7. FORTSATTA MÄTNINGAR OCH ANALYSER AV KASTELLHOLM 16

Efter det att vi redovisat resultatet av utförda mätningar på luftbehandlingssystemen samt analyserna av valda driftstrategier, ändrade entreprenören styrfunktionen för kylanläggningen. Bengt Dahlgren AB fick i uppdrag av fastighetsägaren att fortlöpande kontrollera energiförbrukningen efter det att entreprenören genomfört förändringarna.

Den första uppsummeringen av resultaten redovisades i februari 1988 och visade att energiförbrukningen hade sänkts från ca 600 MWh/år till ca 520 MWh/år. Resultatet av ändringen hade medfört att den gratisenergi som tidigare kylts bort, nu till större del kommit till användning och bidragit till uppvärmningen.

Trots den ökade besparingen på ca 80 MWh/år var den uppmätta energiförbrukningen för uppvärmning drygt 100 MWh/år större än den utlovade.

Fastighetsägaren krävde efter redovisning av dessa resultat att en total översyn av värme-, ventilations- och kylanläggningen samt styrprogrammet för dessa skulle göras. Resultatet av denna översyn skulle utvärderas vid eldningssäsongens slut. Tyvärr är det fortfarande oklart, vilka förändringar entreprenören genomförde under denna period. Resultatet blev dock att energiförbrukningen sänktes ytterligare ca 20 MWh/år, vilket innebar en årsförbrukning på ca 500 MWh. Detta var dock fortfarande en högre energiförbrukning än den utlovade.

För att försöka klarlägga meningsskiljaktigheterna om orsakerna till avvikelsen på den för höga förbrukningen utfördes förnyade mätningar och teoretiska analyser. Följande studier har genomförts:

- o Mätning av temperaturverkningsgrader under drift på de två största ventilationsaggregaten.
- o Luftflödesmätning med spårgasmetod för de två största ventilationsaggregaten
- o Kontroll av drifttider för ventilationsaggregaten
- o Teoretiska känslighetsanalyser på energiförbrukningen vid olika indata för ventilationsanläggningen
- o Teoretiska känslighetsanalyser på energiförbrukningen vid olika indata på U-värdet för insatta fönsterpartier
- o Kontinuerlig uppföljning och beräkning av prognostiserad årsförbrukning med hjälp av uppmätt energiförbrukning

Sammanfattningsvis visade resultaten av ovanstående studier att luftflödet och temperaturverkningsgraderna ökat marginellt i förhållande till tidigare mätningar och att drifttiderna ökat ca 5 % för de större ventilationsaggregaten. Genomförda teoretiska beräkningar visar att de bedömda U-värdena på fönsterpartierna torde stämma väl överens med de verkliga.

Orsaken till att beräkningen överhuvudtaget genomfördes var att entreprenören misstänkte att fönsterpartierna ej var försedda med s k bruten köldbrygga. Beräkningsresultatet visade klart att om så varit fallet skulle uppmätt energiförbrukning vara orimligt låg.

Känslighetsanalyserna med avseende på olika driftsdata för ventilationsanläggningen genomfördes på grund av att diskussioner fördes om de olika teoretiska modellernas tillförlitlighet. Det program som entreprenören utnyttjat vid bestämningen av årsförbrukningen efter åtgärd är i grunden ett klimatanalysprogram med en stor mängd indata. De beräkningar som genomförts för fastighetsägarens räkning bygger på ett energibalansprogram med mindre detaljerade indata.

Resultatet av beräkningarna visade att med likvärdiga indata blev avvikelserna mellan programmen marginella. Dock framkom att entreprenörens indata för temperaturverkningsgrader motsvarade de dimensionerade och inte de som i verkligheten förekommer under drift med vald systemlösning. Skillnaden mellan den dimensionerade och den verkligt uppmätta temperaturverkningsgraden är ca 25 procentenheter.

Dessutom framkom att de drifttider som entreprenören använt i sina beräkningar ej stämde med de som fastighetsägaren redovisat som lämpliga med tanke på den verksamhet som bedrivs i byggnaden. Entreprenörens drifttider var kortare.

Ovanstående olikheter i indata motsvarar en skillnad i energiförbrukning för uppvärmning på ca 80 - 90 MWh/år.

Vidare bedömde entreprenören att all tillgänglig gratisenergi under uppvärmd säsong tillgodogjordes som värmeenergi. Detta är märkligt med tanke på att den typ av ventilationsanläggning med tillhörande komfortkyla, som de själva projekterat, ej möjliggör detta. Systemet är så utformat att det under vissa betingelser måste tillföra värme samtidigt som kylanläggningen är i drift. Dess betydelse på energiförbrukningen är svårt att bedöma. Dock innebär det en högre förbrukning än den som beräknats utan hänsyn till anläggningens funktion.

Det sammanlagda resultatet av mätningar och teoretiska beräkningar innebär att entreprenör och fastighetsägaren gemensamt konstaterade att fastigheten Kastellholm 16 teoretiskt skall förbruka ca 500 MWh/år köpt energi för uppvärmning (fjärrvärme) och att detta väl stämmer överens med de uppmätta resultaten. Avvikelsen från den utlovade maximala energiförbrukningen skulle sedan regleras ekonomiskt i "positiv anda".

8. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

De redovisade resultaten i denna studie visar tydligt att betydande energibesparingar har erhållits i fastigheterna Stora Bommen 5 och Kastellholm 16 efter det att åtgärder utförts på dess ventilationsanläggning. För Kastellholm 16 är besparingen på ventilationsanläggningen till och med större än den sammanlagda besparingen för hela åtgärdspaketet. Detta beror på att andra installationer ökar energianvändningen.

Den enskilda åtgärd på ventilationsanläggningarna som har haft störst effekt är en effektiv drifttidsstyrning av fläktarna. Mängden luft som skall värmas till rumstemperatur har med denna åtgärd halverats. Detta motsvarar ca 75 % av den totala besparingen. Under drift har dock luftmängderna inte minskat i någon större utsträckning. Lämpligheten för denna åtgärd måste dock alltid bedömas från fall till fall - hänsyn måste i ökad omfattning tas till risk för allergier bland brukarna. Här till kommer en koppling till använda byggnadsmaterial och vald inredning samt till skötseln av anläggningen (rengöring av ventilationskanaler, filterbyten mm).

Båda fastigheterna har försetts med värmeåtervinning, vilken svarar för ca 20 % av besparingen. Denna kan i bägge fallen troligtvis öka något då respektive anläggnings temperaturverkningsgrad kan höjas.

Utrustningen på Stora Bommen 5 utnyttjar inte all tillgänglig luft då tätningen kring återvinningsbatterierna var otillfredsställande. Dessutom innehöll återvinnings värmebärarsystem luft, vilket bl a försämrar värmeöverföringen.

I Kastellholm 16 kan driftstrategierna för anläggningen ytterligare förfinas genom bl a börvärdesstudier.

Det är anmärkningsvärt att den här typen av brister och fel fortfarande finns flera år efter det att anläggningen har tagits i drift. I Kastellholm 16 är det uppenbart att totalentreprenören inte tidigare har haft kompetens att utföra och beräkna resultaten av en sådan genomgripande ombyggnad som genomförts på byggnaden. I Stora Bommen 5 tyder bristerna på rent slarv eller ointresse.

Denna studie visar att mätning och aktiv funktionsprovning av ingående komponenter samt löpande uppföljning av driftresultat, kan leda till att felaktigheter rättas till med betydande resultat på energiförbrukningen. Genom att arbeta parallellt med teoretiska beräkningsmodeller kan orsakssamband och tvivelaktiga driftresultat förklaras. Det är nödvändigt att löpande följa och utvärdera uppmätta förbrukningar vid modern teknisk förvaltning av fastigheter. Idag kan detta desutom göras rationellt till rimliga kostnader då datortekniken är lättillgänglig och billig.

Komplexiteten i dagens byggnader innebär att förvaltaren måste behärska ett brett kompetensområde. Det är viktigt att inte frikoppla byggnadens olika delsystem och göra bedömningar endast för det enskilda systemet. Många hushållningsåtgärder innebär t ex en väsentlig omfördelning från fjärrvärme till el om inte den totala effekten studeras. Dessutom kan åtgärderna innebära att den huvudsakliga uppvärmningen sker med hjälp av interna laster såsom datorer, belysning mm. I moderna kontor leder detta inte sällan till ett ökat kyl- och därmed elbehov.

Sammantaget är slutsatsen att stora energibesparingar kan göras i kommersiella lokaler och enligt (1) med god lönsamhet. För att erhålla den bästa effektiviteten av insatta åtgärder måste en noggrann avvägning rörande åtgärdsvalet göras i varje enskilt fall.

För att erhålla tänkta resultat måste en förbättrad egenkontroll ske i bl a entreprenörsledet och en intensifierad funktionskontroll göras under såväl bygg- som förvaltningsskede. Det senare kan med fördel ske med hjälp av modern datateknik parad med sunt förnuft.

REFERENSER

(1) Sundbom, L. Nilson, A. och Munther, K. Energisparpotentialen i lokaler - Energieffektivisering av fem kontorsbyggnader genom energiteknisk utrustning. Rapport R27:1987. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.

(2) Nordiska ventilationsgruppen. Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer. Rapport T32:1982. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.

(3) Nilson, A. Fischer, M. Nordberg, M. Wälter, A. Energispar-kvarter i Göteborg - Energiombyggnad i ett 50-talsområde. Rapport R36:1987. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.

(4) Hammarsten, S. Hjalmarsson, C. Bestämning av byggnaders effektbehov genom mätningar. Forskningsrapport TN:7, 1988. Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.