



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.




Rapport

R48:1986

**Forskning och utveckling i
samband med energiombyggnad
i skolbyggnader**

**Göran Johansson
Leif Gidlöf
Conny Johansson
Roland Moberg**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION
Accnr
Plac <i>ser</i>



Byggeforskningsrådet

R48:1986

FORSKNING OCH UTVECKLING I SAMBAND MED
ENERGIOMBYGGNAD I SKOLBYGGNADER

Göran Johansson
Leif Gidlöf
Conny Johansson
Roland Moberg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820489-4, 821127-2, 820552-6 och 821227-4 från Statens råd för byggnadsforskning till fastighetskontoren i Katrineholm, Mjölby, Lindesberg och Kumla kommuner.

REFERAT

Projektet avser att belysa förändringar i komfort tillsammans med tekniska/ekonomiska konsekvenser i samband med en konventionellt utförd energiombyggnad i fyra olika skolfastigheter. Skolorna, som är belägna i olika kommuner, är valda så att de byggnadstekniskt kan sägas representera olika kategorier.

Projektet har bland annat visat:

- att kostnaderna för genomförandet av åtgärdspaketet stämde som helhet väl med de på förhand bedömda, förutom igensättning av fönster. Det har visat sig att det är svårt att kalkylera kostnaden för detta då man vid besiktningstillfället inte känner till materialval,
- att de kalkylerade besparingarna har inte helt uppnåtts. I genomsnitt har 75% av besparingsmålet uppnåtts till och med mars 1985,
- att den uppmätta komforten har i samtliga fall blivit bättre,
- att den subjektivt upplevda komforten har genomsnittligt förbättrats,
- att enligt genomförda enkäter säger 85% av skolornas personal att åtgärderna inklusive fönsterigensättning kunnat genomföras utan att problem skapats i skolarbetet,
- att enbart 4% av personalen anser att den minskade fönsterarean förändrat klassrummet till det sämre.

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

R48:1986

ISBN 91-540-4561-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

INNEHÅLL

1	INLEDNING	5
1.1	Bakgrund	5
1.2	Projektets syfte	5
1.3	Val av objekt	6
1.4	Tillvägagångssätt	7
1.5	Energiutredning	7
1.6	Mätningar.....	8
2	PROJEKT HAGABERGSSKOLAN LINDESBERG .	13
2.1	Objektbeskrivning	13
2.2	Energiförbrukning	17
2.3	Företagna energibesparande åtgärder.	20
2.4	Påverkan av skolverksamheten vid åtgärdernas genomförande	24
3	PROJEKT MALMEN SKOLA KUMLA	26
3.1	Objektbeskrivning	26
3.2	Energiförbrukning	31
3.3	Företagna energibesparande åtgärder.	34
3.4	Påverkan av skolverksamheten vid åtgärdernas genomförande	36
4	PROJEKT TROJENBORGSKOLAN SKÄNNINGE .	38
4.1	Objektbeskrivning	38
4.2	Energiförbrukning	45
4.3	Företagna energibesparande åtgärder.	48
4.4	Påverkan av skolverksamheten vid åtgärdernas genomförande	51
5	PROJEKT TEKNISKA SKOLAN KATRINEHOLM.	53
5.1	Objektbeskrivning	51
5.2	Energiförbrukning	58
5.3	Företagna energibesparande åtgärder.	60
5.4	Påverkan av skolverksamheten vid åtgärdernas genomförande	62
6	REDOVISNING AV MÄTNINGAR	63
6.1	Allmänt	63
6.2	Projekt Hagabergsskolan	63
6.3	Projekt Malmen skola.....	72
6.4	Projekt Trojenborgskolan	79
6.5	Projekt Tekniska skolan	85
7	EKONOMISKT RESULTAT AV ENERGI- BESPARANDE ÅTGÄRDER	93
7.1	Allmänt	93
7.2	Projekt Hagabergsskolan	93
7.3	Projekt Malmen skola	97
7.4	Projekt Trojenborgskolan	101
7.5	Projekt Tekniska skolan	105
8	SAMMANFATTNING	109
8.1	Åtgärder, kostnader och lönsamhet ..	109
8.2	Komfort	112

- BILAGA 1 BILDER FRÅN FÖNSTERIGENSÄTTNING
Hagabergsskolan, Lindesberg
- BILAGA 2 BILDER FRÅN FÖNSTERIGENSÄTTNING
Malmens Skola, Kumla
- BILAGA 3 BILDER FRÅN FÖNSTERIGENSÄTTNING
Trojenborgsskolan, Skänninge
- BILAGA 4 BILDER FRÅN FÖNSTERIGENSÄTTNING
Tekniska Skolan, Katrineholm

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Ändamålet med värme- och ventilationssystem i byggnader är att skapa termisk komfort för människor. Många har studerat möjligheterna att spara energi genom bättre isolering och tätning av befintliga byggnader, genom effektivare och snålare installationer för el, värme och ventilation. Litteratur saknas dock kring ämnet hur klimatet förändras efter genomförandet av dessa åtgärder.

Med utgångspunkt från människans krav på komfort är avsikten med detta arbete att inom skolbyggnaden mäta och belysa klimatet före och efter utförda, konventionella, lönsamma energibesparande åtgärder.

Speciellt intresse ägnas komfort och förändring av komfort vid kombination av lägre inomhustemperatur, minskad ventilation och eventuellt minskad ofrivillig ventilation.

I samband med att energibesparande åtgärder utförs är avsikten

- att före och efter energiombyggnad mäta och utvärdera klimat i skolbyggnader
- att följa upp energibesparingens utfall i förhållande till den teoretiskt beräknade för skolbyggnaden
- att följa upp kostnaden för åtgärden i förhållande till vad som kalkylerats.

1.2 Projektets syfte

Mätningarna förväntas ge kunskap om komfort av skolan (ofta relativt hög omgivningstemperatur, hög ventilationsgrad och i vissa fall hög ofrivillig ventilation) med den verksamhet som där bedrivs och den komfort som erhålles efter energiombyggnad (lägre omgivningstemperatur, ventilationsgrad enl SBN 80, låg ofrivillig ventilation).

Komforten kan definieras som PMV enl prof P O Fanger. PMV kan mätas med instrument.

Klimatmätningen förväntas indikera om den ofrivilliga ventilationens betydelse för klimatet och därmed hur ingående denna fråga skall ägnas vid energiombyggnader.

Elevers och skolpersonalens reaktion inför byggnadstekniska (främst fönsterigensättning) förändringar.

Elevers och skolpersonalens subjektiva reaktioner avseende komfort noteras och jämförs med mätdata före och efter energiåtgärdernas genomförande.

Avsikten är att resultaten skall kunna ge anvisningar vid energiombyggnader i andra skolor.

Projektet medger att på ett relativt enkelt sätt

- få erfarenheter av hur de faktiska kostnaderna för åtgärder stämmer med de beräknade.
- få erfarenheter om uppnådda energibesparingar och därmed erhållen lönsamhet av beslutade åtgärder.

Åtgärderna sammanförs i olika kategorier byggnads-, värme-, ventilations- och sanitetsåtgärder, där vardera kategorier kan särbehandlas.

1.3 Val av objekt

Det kan konstateras att energiförbrukningen räknat per m^3 eller m^2 är hög i många skolor. Spridningen av förbrukningssiffrorna mellan olika skolor är stor. Spridningen har givetvis många orsaker. Förbrukningens storlek beror huvudsakligen av:

- klimatskärmens k-värde
- klimatskärmens täthet
- ventilationsflöden, - drifttider
- inomhustemperatur, - fördelning och styrning
- varmvattenförbrukning

Förbrukningen kan minskas genom utförande av energibesparande åtgärder av känt slag.

Efter genomförda åtgärder bör förbrukningen vara den för byggnaden lägsta möjliga med hänsyn till driftförutsättningarna (inomhustemperatur, ventilationsflöden, drifttider).

Då driftförutsättningarna i huvudsak är lika för skolor kommer den lägsta ekonomiska energiförbrukningen att bero på klimatskärmens k-värde och täthet.

Målet är att hitta en hanterbar liten mängd kategorier då lämpligen som syftar till att dela in byggnader efter de specifika energibehov de förväntas ha efter energireovering.

Detta projekt omfattar fyra skolor som är så utvalda att de kommer att hamna i olika kategorier och kan bli lätt kontrollerbara referensfall i respektive kategori.

Karaktäristiska data för de i projektet ingående skolorna.

	Byggnads- år	Ytter- vägg	Antal plan	Glasyta före åtgärd
Hagabergsskolan Lindesberg	73	lätt	1	normal
Malmens skola Kumla	57	tung	1-3	normal
Trojenborgsskolan Mjölby	64, 75	tung	1-2	stor
Tekniska skolan Katrineholm	60	tung	3	stor

1.4 Tillvägagångssätt

Arbetet startas med en ingående energiutredning av skolan. Utredningen mynnar i förslag till energibesparande åtgärder med kostnadsbedömningar.

Mätningar, som specificeras nedan, genomförs i syfte att förbättra underlag för energiutredning och att registrera klimat och temperaturförhållanden före energiombyggnad.

Efter mätningarna reviderades det tidigare framtagna åtgärdspaketet.

Kommunen genomför samtliga kommersiellt försvarbara energibesparande åtgärder som anges i energiutredning. Huvudparten av åtgärderna genomförs under sommaren (1983). Efterjustering av värme sker dock under vintern (1983/84), då det krävs en låg utetemperatur för att åtgärden skall kunna genomföras.

Efter det att åtgärderna är genomförda utförs en ny intensivmätningssperiod.

Kontinuerligt registreras energi- och vattenförbrukning i skolan.

I arbetets slutfas jämförs genomförda åtgärders beräknade kostnader och besparingar med de verkliga.

Den före och efter åtgärderna uppmätta komforten jämförs liksom eleverns och personals subjektiva omdömen. Viktigare erfarenheter från åtgärdernas genomförande noteras.

1.5 Energiutredning

I energiutredningen ingick ritningsgranskning samt besiktning av klimatskärm och samtliga installationer.

Utredningen mynnade i förslag till energibesparande åtgärder på klimatskärm och installationer. Varje enskild åtgärd kostnads- och lönsamhetsbedömdes.

Energiutredningen ingår som ett supplement till denna rapport och kan beställas separat.

1.6 Mätningar

Nedan beskrives de mätningar som utförts på samtliga objekt. Mätningarna har genomförts både före och efter energiombyggnad.

1.6.1 Intensivmätning

Fyra lokaler (klassrum) har valts ut som representativa för vardera skolan. Mätningar har utförts i dessa under en vecka vid normal verksamhet vintertid. Mätvärdesgivare kopplades till datalagrare som tog emot och lagrade ett mätvärde var 15:e minut.

Mätpunkters placering

Mätpunkters placering är utförd enligt de riktlinjer vilka är angivna i Byggforskningens Informationsblad B:1976 "Mätning av termiskt inneklimat". Tillämpade mätpunkter redovisas nedan.

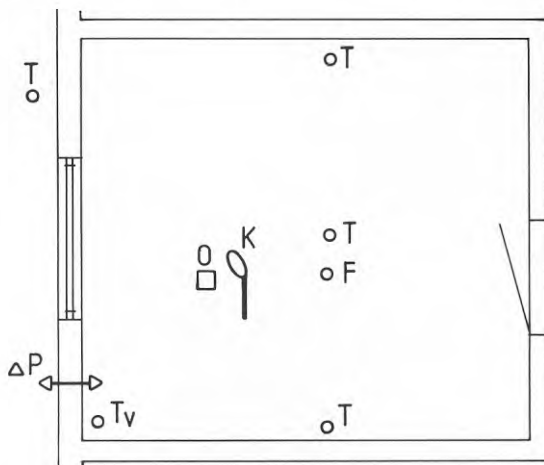


FIG 1:1 Mätpunkter ingående i intensivmätning och dess placering i klassrummet

- T : Temperatur utomhus, tak, vistelsezon, golv °C
- O : Operativ temperatur °C
- P : Differenstryck (vindstyrka) mmvp
- T_v : Temperatur, värmesystemet tillopp resp retur °C
- K^V : Komfortmätning PMV
- F : Luftfuktighet % RF

Syftet för mätningen har varit:

- att skapa en bild av klimatet i utvalda lokaler före energiombyggnad som kan jämföras med det klimat som erhålles efter energiombyggnaden
- att om möjligt spåra samband mellan utomhusklimat och inomhusklimat, t ex hur vinden påverkar inomhus-temperaturen
- att undersöka temperaturvariationer inom lokalen t ex mellan tak och golv
- att jämföra uppmätt komfort med elevernas/lärarnas subjektiva bedömning

Komfortmätning

Den termiska komforten har mätts med ett instrument av fabrikat Brüel & Kjaer typ 1212. Instrumentet är avsett att registrera ett måttal för människans subjektiva komfortupplevelse.

Instrumenten registrerar ett PMV-index (Predicted Mean Vote) som är ett måttal för komfortupplevelsen. Enligt ett förslag till en ISO-standard rekommenderas PMV få variera enligt $-0,5 < PMV < +0,5$.

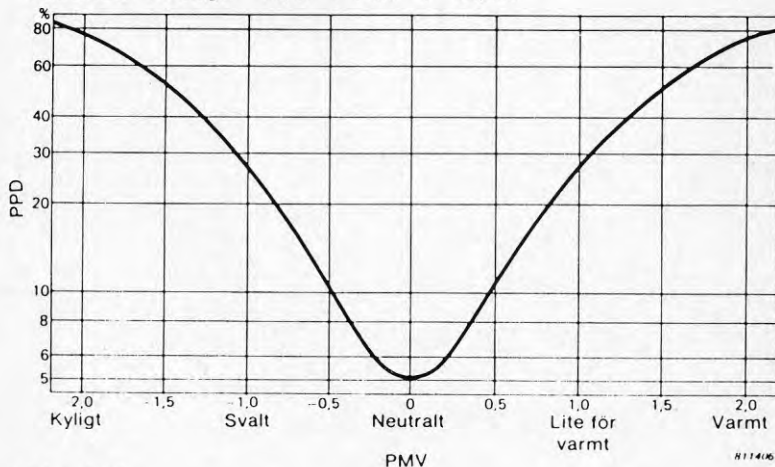


Fig 1:2

- PMV: Predicted Mean Vote/Förväntat medelutlåtande, är ett skalindex som bygger på medelutlåtandet av en mycket stor grupp försökspersoner.
- PPD: Predicted Percentage of Dissatisfied/Förväntad procent otillfredsställda. Detta index uttrycker den förväntade procentuella delen av en grupp människor som är otillfredsställda med det termiska klimatet uttryckt enligt PMV index.

Detta tillåtna område korresponderar med temperaturerna 20-24°C vintertid och 23-26°C sommartid för den aktivitet och klädsel som gäller skolmiljö.

Valda inställda värden på instrument 1212:

Klädselnivå: 0,8 Clo inomhusklädd exempelvis underkläder, bomullsskjorta med långa ärmar, långbyxor, yllestrumpor och skor.
 Aktivitetsnivå: 1,0 (sittande person)
 Luftfuktighet: Uppmättes på plats

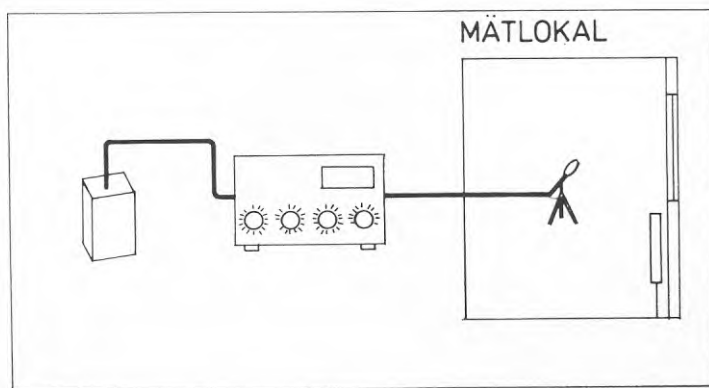


FIG 1:3 Klimatmätsystemets uppbyggnad. Datalagraren tar mätvärden från komfortmätaren med exakta intervaller enligt förprogramering och lagrar dessa i ett minne.

Temperaturmätning

Mätning av temperatur utomhus, vid tak, vid golv och i vistelsezon samt registrering av operativ temperatur har skett med termistorgivare.

Mätning av operativ temperatur har utförts enligt riktlinjer angivna i Byggforskningens informationsblad B5:1976.

Mätvärden har samlats in för vidare bearbetning i datalagrare.

Differenstrycksmätning

Under mätperioden har differenstrycket, d v s vindens påverkan på byggnadskroppen registrerats med hjälp av en ombyggd utrustning (Micatrone), vars utsignal kopplats till datalagrare.

Luftfuktighetsmätning

Luftfuktighetsgivare för registrering av relativ luftfuktighet är av kapacitiv typ av fabrikat Vaisala. Den avkännande delen är väl skyddad inuti ett sintrat bronsfilter. Givaren, som är relativt okänslig för yttre påverkan, kopplas till datalagrare.

1.6.2 Täthetsprovning

Täthetsprovningar har utförts i skolans samtliga byggnadsdelar.

Täthetsprovning har utförts med tryckmetoden. Byggnaderna har utsatts för ett inre över/undertryck, som åstadkommit av det befintliga ventilationssystemet. Om exempelvis tilluftsystemet användes tejpades och plastades samtliga frånluftdon, spiskåpor m m, varvid tilluftflödet och erhållet differenstryck mellan utomhus- och inomhusatmosfären uppmättes. De uppmätta värdena på flöde och tillhörande differenstryck utgör ett mått på hur otät lokalen är.

Syftet för mätningen har varit:

- att få ett mätetal som anger hur otät lokalen är vilket indikerar storleken på den ofrivilliga ventilationen.
- att jämföra mätningar utförda före och efter energiombyggnad, så att täthetsåtgärdernas effektivitet framgår.

1.6.3 Luftflödesmätning

Luftflödesmätning av det befintliga ventilationssystemet har utförts i skolans samtliga lokaler, där möjlighet till mätning funnits. Rekommenderade metoder, vilka finns angivna i Byggforskningsrådets "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer", har använts.

Syftet för mätningen har varit:

- att jämföra uppmätta luftflöden med dagens krav på min uteluftflöden enligt SBN 80
- att jämföra uppmätta luftflöden med på ritning angivna

1.6.4 Termografering

Termograferingen har utförts enligt anvisningar i Svensk Standard SIS 02 4210.

Värmekamera av fabrikat AGA THERMOVISION har använts.

Termografering utfördes i de flesta av skolans lokaler inomhus. Samtliga omslutningsytor panorerades. Undertryck i lokalerna ordnades vid termograferingen.

Syftet för mätningen har varit:

- att kontrollera byggnadernas täthets- och isoleringsfunktion.

1.6.5 Temperaturmätning (kontinuerlig)

I skolan har placerats ut 8 st temperaturgivare. Dessa är placerade i lärosalarna (7 st) och utomhus (1 st). Temperaturerna registreras som timgenomsnitt kl 11.00 och 23.00 och lagras som genomsnittsvärde, vilket läses av och nollställes varje månad.

Syftet för mätningen har varit:

- att registrera skillnad på dag- och nattemperatur
- att jämföra rumstemperaturer på olika ställen i byggnaden
- att jämföra erhållet mätunderlag före och efter energiombyggnad

1.6.6 Energimätning

Varje månadsskifte har energiförbrukningen (el, olja/fjärrvärme) och konsumtionen av vatten avlästs. Detta har normalt utförts av skolans personal.



FIG 2:1 Västlig fasad byggnad C, Hagabergsskolan

2.1 Objektbeskrivning

Skolan₂ består av 5 st byggnader med en yta på totalt 2640 m² och volym 7950 m³ (FIG 2:2). Skolan uppfördes 1968-74, varav huvudparten under 1973.

Skolans totala elevantal är ca 270 st.

Byggnad A är utförd i ett plan med klassrum för lågstadiel eleverna.

Byggnad B består av gymnastiksal och omklädningsutrymmen. Detta användes dagtid av eleverna och kvällstid av föreningar. Byggnad B är ihopbyggd med byggnad A. Byggnaden är utförd i ett plan med källare under gymnastiksalen.

Byggnad C är utförd i ett plan med klassrum för mellanstadiel eleverna samt expeditiionsdel.

Byggnad D är utförd i ett plan med trä- och syslöjd.

Byggnad E är utförd i ett plan med matsal och skolkök.

Byggnad F är utförd i ett plan med klassrum för låg- och mellanstadiel eleverna.

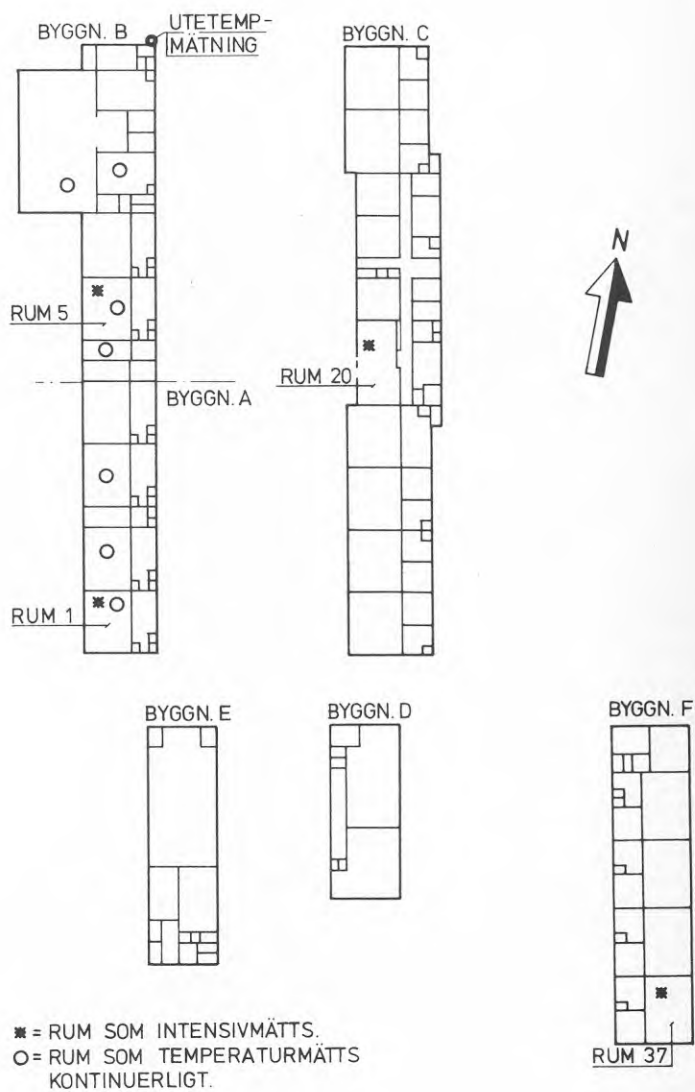


Fig 2:2 Situationsplan över Hagabergsskolan, Lindesberg

2.1.1 Byggnadskonstruktion

Grundläggning

Samtliga byggnader har kryppgrund utom viss del av byggnad B som har källare.

Ytterväggar

Stående panel, träfiberskiva, 100 mm mineralull mellan regler, folie och gips. K-värde = $0,39 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Vindsbjälklag

Papp, panel, luftspalt, 150 mm mineralull mellan limträbalkar, gles panel, diffusionsspärr, skivor enligt ritning. K-värde = $0,27 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Golvbjälklag

Matta, spånskiva, 150 mm mineralull mellan bjälkar samt råspont på läkt som trossbotten. K-värde = $0,26 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Fönster

Byggnaderna har två-glasfönster, kopplade utåtgående bågar. I lärosalar 2-luft med en mindre överhängd båge. I övrigt 1-luft.

I byggnad A-E består tätningslisterna av neoprengummi och i byggnad F består tätningslisterna av silikon med O-profil.

Ytterdörrar

Byggnad A har entrédörrar av trä med enkelt glas som sidoljus. Övriga byggnader har entrédörrar av lättmetall med stort enkelglas.

Dörrarna har tätningslister av neoprengummi på slag-sidan. Anslagslist saknas i karmöverstycket.

2.1.2 Ventilationsanläggning

Byggnaderna A, C och D

Byggnaderna är försedda med mekanisk till- och från-luftsventilation. I klassrummen finns fönsterapparater av fabrikat Svenska Fläktfabriken typ ABCV installerade för uppvärmning och ventilation.

Fönsterapparaterna styrs av ett centralt kopplingsur, vilket startar och stoppar ventilationen och uppvärmningen av klassrummen vid de på förhand inställda tiderna.

Kopplingsuret ombesörjer också att värmetillförseln reduceras och ventilationen avstängs under lördagar och söndagar.

Önskas dagdrift för enskilda apparater under andra tider, då dessa normalt är inställda för nattdrift, kan en manuell omställning göras genom att DAG-knappen intryckes. När lokalen sedan lämnas trycks NATT-knappen in, varvid apparaten åter är inställd för nattdrift. Denna möjlighet bör utnyttjas, när lokalen används under andra tider än dagdrift. Med hjälp av termostater hålls temperaturen i lokalen konstant.

Eventuell justering av rumstemperaturen, då fönsterapparaterna går med full värme och ventilation (dagdrift), sker med huvudventilen innanför frontluckan. Denna är vid leverans inställd på $+22^{\circ}\text{C}$.

Vid "Nattdrift" styrs rumstemperaturen av en nattermostat, som är placerad i rummet utanför fönsterapparaten. Termostaten skall vara inställd för 3°C lägre temperatur än huvudventilen (ca $+19^{\circ}\text{C}$).

Det finns totalt 17 st fönsterapparater, 8 st i byggnad C, 6 st i byggnad A och 3 st i byggnad D.

Fönsterapparaterna har varit problemfyllda ända sedan installationen. Exempel på problem har varit: för låg eller hög rumstemperatur, utlösning av frysskydd med på morgonen kalla klassrum som påföljd, felkopplade givare (termostater), otillbörlig påverkan av eleverna p g a givarnas lättillgänglighet och reglerventiler med dålig precision för värmeregleringen.

Alla komponenter måste samarbeta för ett gott resultat. För att klara det komplicerade arbetet med service krävs kompetenser i värmeteknik, ventilation, el och reglerteknik. Då en samlad kompetens är svår att erhålla samtidigt betyder detta att åtgärdandet av ett fel ofta resulterar i ett annat fel.

Takfläktar evakuerar frånluften i toaletter, allmänna utrymmen och klassrum. Takfläktarna var dock i vissa fall styrtekniskt kopplade till fel fönsterapparater.

Byggnad F

Ventilationsanläggningen är av typ mekanisk F-ventilation. Frånluften evakueras av fem frånluftsfläktar. Tilluften tillförs lokalerna genom springventiler under fönster. Från springventilerna är plåtkanaler neddragna bakom radiatorerna.

Byggnad B och E

Ventilationsanläggningen består av till- och frånluft. Funktionen är konstant tillufttemperatur. Tilluften är endast i drift under bespisningen resp vid användning av gymnastikhallen.

2.1.3 Värmeanläggning

Samtliga byggnader har vattenburen värme. Värmesystemen är av typ slutet.

Hetvatten genereras i en panncentral, tillhörande det intilliggande bostadsområdet, och distribueras via fjärrvärmekulvert till två undercentraler i skolan. Undercentralerna är belägna i byggnad B och C.

I undercentralerna finns värmeväxlare för värme- och tappvarmvatten. Värmeväxlarna är försedda med automatik för reglering av framledningstemperaturen. Värmevattnet på sekundärsidan distribueras till byggnadernas radiatorer, fönsterapparater och tilluftaggregat.

Samtliga radiatorer är försedda med termostatventil fabrikat TA, förutom byggnad F som har manuella radiatorventiler.

2.1.4 Sanitetsanläggning

Tappvarmvattnet uppvärms i värmeväxlare med hetvatten som primärmedium. Distributionssystemet för varmvatten är försett med cirkulationsledning. Cirkulationspump finns placerad i undercentral.

Varmvattnet till gymnastikens duschtrymmen temperaturstyrs med centrala termostatblandare.

2.2 Energiförbrukning

Skolan försågs under vintern 82-83 med mätare för värmeförbrukning. Tidigare har skolan debiterats en fastställd ej uppmätt oljeförbrukning (TAB 1).

Statistik redovisande förbrukad olja och fjärrvärme

År	m ³ /år	MWh/år	²⁾ MWh/år	Omräknat kWh/m ² (2640 m ²)	Normalår ²⁾ kWh/elev (270 st)
79					
80					
81	¹⁾ 116,7	817	830	314	3070
82					
83	-	595	632	239	2340
84	-	576	587	222	2174

1) Fastställd, ej uppmätt debiterad oljeförbrukning

2) Normalårsjusterad enligt SMHI:s statistik (mätstation Fellingsbro/Finnåker)

Statistik redovisande förbrukning el

År	MWh/år	kWh/m ²	kWh/elev
79	104	39	385
80	90	34	330
81	ca 46	36	356
82	80	33	326
83	98	37	363
84	93	35	344

Statistik redovisande förbrukning kallvatten

År	m ³ /år	l/m ²	m ³ /elev
79	1377	522	5,1
80	1269	481	4,7
81	1176	445	4,4
82	1605	608	5,9
83	1408	533	5,2
84	1553	588	5,8

2.2.1 Energibalans före energiombyggnad 1982-83

Energibalans för Hagabergsskolan har upprättats utifrån uppmätning av energi och vattenförbrukning samt beräkning av de olika förlustposterna. Beräkningarna baseras på mätta luftflöden, klimatskärmens k-värden och uppmätta inomhustemperaturer. Tillförd solenergi är beräknad enligt BKL-metoden. Samtliga angivna poster är normalårsanpassade.

Tillförd energi:	Fjärrvärme	640 MWh/år
	El	90 "
	Sol	140 "
	Personvärme	20 "
		<u>890 MWh/år</u>

Avgiven energi:	Transmission	340 MWh/år
	Ventilation	190 "
	Avloppsvatten	40 "
	Onyttig solenergi	110 "
	Onyttig värmeenergi 1)	90 "
	Ofrivillig vent m m 2)	120 "
		<u>890 MWh/år</u>

- 1) Med onyttig värmeenergi avses
 - elenergi som används sommartid
 - elenergi för utebelysning
 - viss värmeenergi från kök
 - interna kulvertförluster

- 2) Ofrivillig ventilation kan även innefatta vissa fel vid beräkning av andra förluster, främst fel i k-värdesbestämning.

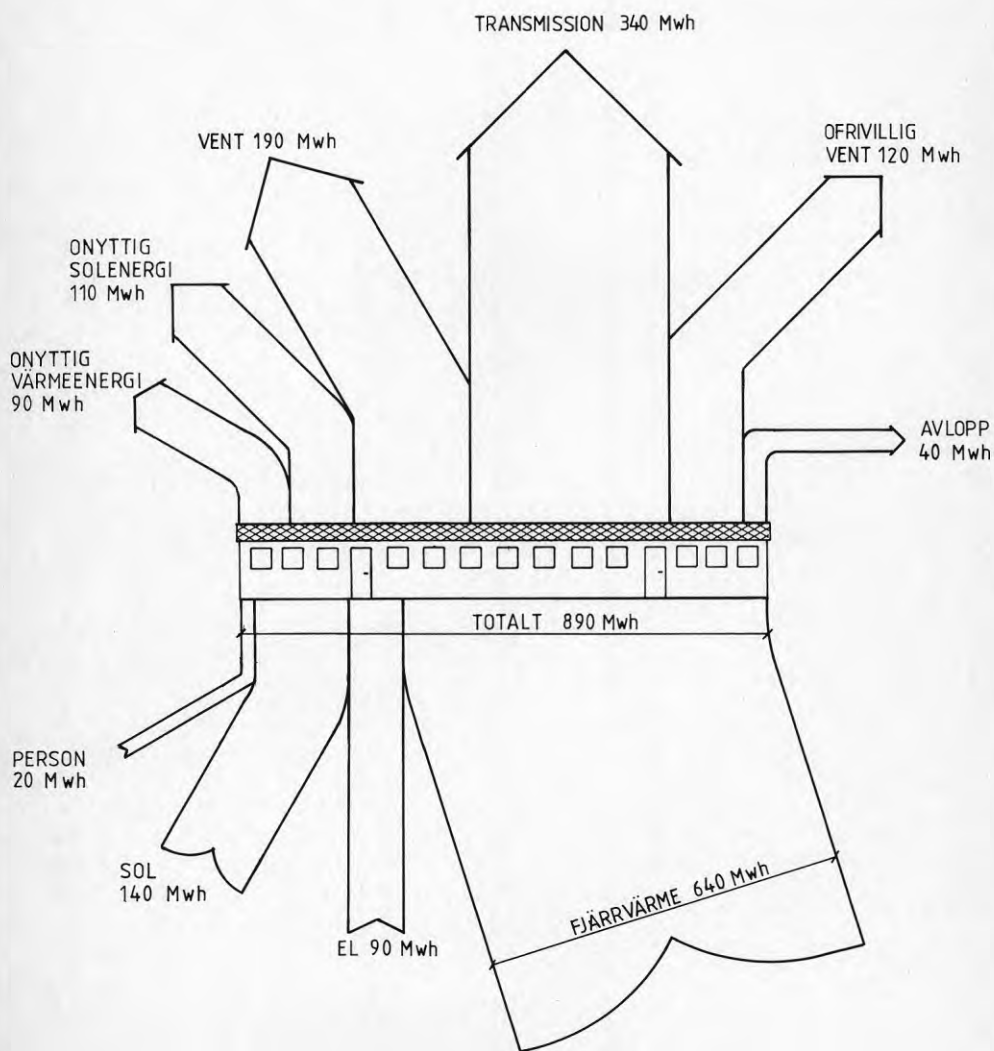


Fig 2:3 Sankey-diagram visande energibalansen för Hagabergsskolan före energiombyggnad.

2.3 Företagna energibesparande åtgärder

Efter genomförd energiutredning våren -82 och genomförda mätningar föreslogs ett antal energibesparande åtgärder som bedömdes lönsamma. Lönsamheten beräknades med Pay-off-metoden. Åtgärder vilka beräknades ha längre återbetalningstid än livslängd ansågs ej lönsamma. Energipriset har vid lönsamhetsbedömningen antagits till 0,31 kr/kWh (olja Eol 2.200 kr/m³, årsverkningsgrad 0,70).

Nedan redovisas de mätningar vilka har förändrat den vid energibesiktningen gjorda bedömningen av energisparåtgärderna.

Luftflödesmätning

Vid luftflödesmätningen framkom att luftmängderna ej är enligt SBN 80. Den totala uppmätta luftmängden är ca 25% lägre än enligt SBN 80. Luftmängden var i några klassrum ca 50-60% lägre.

Täthetsprovning och termografering

Vid täthetsprovningen noterades otätheter i byggnaderna. Den redovisar dock ej exakt var otätheterna låg. Detta framkom vid efterföljande termografering.

En täthetsprovning redovisar alltså storleken på otätheten i byggnaden. Om den är stor och är svår att lokalisera bör den efterföljas med en termografering.

Vid termografering i skolan framkom att luftinläckning förekom i skarven mellan vägg och tak i vissa lokaler. Brister i takbjälklagets isolering samt otätheter mellan karm och båge (fönster) observerades dessutom.

Då fönsterigensättning och tätning av fönster föreslås tidigare kompletteras åtgärderna med tätning av takliv.

2.3.1 Utförda åtgärder på byggnadskonstruktion

Tätning av fönster och ytterdörrar

I byggnaderna A-E kompletterades de fönster som inte redan tidigare försetts med extra tätningslister. Det var framför allt på gångjärnssidan och vid undersidan på de breda bågarna som de ursprungliga listerna inte tätade tillfredsställande. Som tätningslister användes silikonlister med O- eller V-profil. Listerna fästes med häftklammer eller limmades.

I samband med kompletteringen av tätningslisterna justerades gångjärnen och stängningsbeslagen för att erhålla en god klämverkan.

Ytterdörrarna av trä försågs där så var möjligt med tätningslister.

Ytterdörrar av lättmetall försågs med nya tätningslister mot karmöverstycket. Karmöverstycket kompletterades med anslagslist.

I samband med byte och komplettering av tätningslisterna justerades dörrarna.

Igensättning av fönster

Byggnaderna A, B, C och D.

För att minska energiförlusterna under den kalla årstiden och värmeinstrålningen under den varma årstiden sattes i samråd med lärare och elever så stora fönsterytor som möjligt igen. Igensättningen utfördes med lockbrädor, k-plywood alt träpanel, 95 mineralull, plastfolie och gipsskiva.

I lärosalarna igensattes normalt fönstren närmast begränsningsväggarna.

I gymnastiksalen igensattes alla fönster utom de två som användes för vädring.

Totalt igensattes 124 m² fönster.

Ytterväggar

Ytterväggarna har teoretiskt sett en sådan värmeisolering att tilläggsisolering inte är lönsam.

Vindsbjälklag

Vindsbjälklagen har teoretiskt sett en sådan värmeisolering att tilläggsisolering inte är lönsam.

Tätning av takvinkel

Tätning vid takvinkel utfördes. Taklisten demonterades så att elastisk fog kunde läggas i vinkeln mellan tak och vägg.

Byggnadsåtgärdernas omfattning

Byggnad	Tätning		Tättningslistor	Igensättning
	Takvinkel	i fönster och dörrar	av fönster	
	m	m	m ²	%
Lågstadiet A	280		38	30
Gymnastik B		415	24	43
Mellanstadiet C	650	370	43	28
Slöjd D	20	114	8	21
Matsal E	10	101	11	26
Låg- och mellanstadiet F	20	-	-	-
Ca 980 m		ca 1000 m	ca 124 m ²	25%

2.3.2 Åtgärder på ventilationsanläggning

Funktionsöversyn och injustering av luftmängderna på fönsterapparater byggnad A, C och D

Tilluftflödet kan minskas i vissa klassrum och ökas i andra för att stämma med krav enligt SBN 80.

Vid genomgång av fönsterapparaterna kontrollerades de olika komponenterna beträffande skick och funktion. Vidare utfördes justeringar, reparationer och omkopplingar enligt följande:

Tilluftmängderna injusterades till nya flöden enligt SBN 80.

Termostatventilerna för rumstemperaturen kalibrerades till +19°C. I några utrymmen som normalt har få elever höjdes inställningen senare till ca +20°C - +21°C.

Termostatventilerna för minbegränsning av inblåsningstemperaturen kalibrerades till +15°C.

Nattermostaterna placerade på innervägg inställdes på ca +18°C. Där två rumstermostater förekommer inställdes nattermostaten på +15°C och uppvärmningstermostaten på ca +18°C.

Inställningen innebär att fönsterapparaten går på återluft och frånluftfläkten stoppar om temperaturen understiger ca +18°C under dagtid. Nattetid sänks inställningsvärdet ca 3-4°C genom konstgjord värmeavgivning från ett inbyggt motstånd i termostaten, vilket då ger en natt- och helgtemperatur på ca +14°C - +15°C. Detta motstånd var tidigare bortkopplat men inkopplades åter.

Utetermostaterna som styr uteluftspjället till fullt öppet läge inställdes på ca +15°C då i stort sett inget uppvärmningsbehov föreligger.

Inställningen av frysskydden höjdes till ca +8°C. Dessa var oftast inställda runt ca +4°C, vilket kan medföra viss frysrisk.

Frånluftfläktarna kopplades till respektive fönsterapparat så att fläkten dels startar vid manuell start av fönsterapparaten, dels stoppar under "uppvärmningsdrift dagtid", då fönsterapparaten går på 100% återluft.

Otättheter kring luftintaget genom ytterväggen tätades med silikon kitt och polyuretanskum.

Filtren rensades.

Frånluften justerades att motsvara tilluften.

Frånluftfläktarna i rum 8, 9, 21, 22, 23 och 24 var ej kopplade rätt till respektive fönsterapparat utan förväxlade på olika sätt, vilket rättades till.

Fönsterapparaterna kräver en högre framledningstemperatur än radiatorer. Detta betyder att de radiatorer som är inkopplade på samma värmekrets som fönsterapparaterna måste förses med termostatventiler.

Tidurstyrning väggfläktar i skyddsrum byggnad B

Väggfläktarna i skyddsrummet inkopplades så att de startas vid användning av belysningen i lokalen. Styrning kan även ske via tidur.

Injustering luftmängd Gymnastik byggnad B

Luftmängden i gymnastiklokalen nedminskades till enligt SBN angiven luftmängd.

2.3.3 Åtgärder på värmeanläggning

Injustering av skolans värmesystem samt komplettering av termostatventiler

Värmesystemet i skolan har tidigare blivit injusterat. Injusteringsarbetet utfördes för ca 4-5 år sedan. När byggnaderna nu åtgärdas genom igensättning av fönster samt tätning förnyades injusteringen.

I byggnad F monterades termostatventiler, då samtliga andra radiatorer i skolan är försedda med sådana. Se även åtgärd 2.3.1 beträffande fönsterapparater.

Värmestammarna kompletterades även med stamstrypventiler.

Pumparna för värmesystemen försågs med överströmningsventiler, då risk finns att pumparna får arbeta mot stängda ventiler (termostater).

Installation av ny reglercentral

Reglerutrustningen för värme i byggnad B utbyttes till en ny enhet med möjlighet till natt- och helgnedsänkning av framledningstemperaturen.

2.3.4 Åtgärder på sanitetsanläggning

Tidurstyrning av VVC-pumpar

Cirkulationspumparna för tappvarmvatten i undercentralerna försågs med tidur. Detta för att nedminska förlusterna i rörsystemet helger och nätter.

2.4 Påverkan av skolverksamheten vid åtgärdernas genomförande

Åtgärderna på klimatskärmen (tättningsarbeten och fönsterigensättning) utfördes till sin huvuddel under lovperioden. Störningarna för skolarbetet var små och inget klassrum behövde stängas av eller omdisponeras för att byggnadsarbetena skulle kunna genomföras utan besvär. Däremot förekom klagomål från städpersonalen, som inte hade fått uppgift om byggnadsarbetet och därför fick ett större och mer omfattande arbete än vanligt.

Det huvudsakliga monteringsarbetet i samband med värme och ventilationsåtgärder utfördes till största delen under lovperioden. De mindre kompletterings- och justeringsarbeten som utfördes under skoltid orsakade inga problem för lärare/elever.

2.4.1 Personalens reaktioner

Skolans personal har svarat på en enkät där nedanstående frågor framställts. Den procentuella fördelningen av svar anges nedan. Följande frågor besvarades av skolans personal:

Hur uppfattar ni klimatet under denna vårtermin (84) jämfört med föregående läsår.

6	%	Sämre
72	%	Lika
22	%	Bättre

Har åtgärdernas genomförande t ex igensättning av fönster skapat problem i skolarbetet.

6 % Ja
94 % Nej

I många klassrum har man minskat fönsterarean genom igensättning av vissa befintliga fönster. Har detta förändrat klassrummet.

- % Ja, till det sämre
66 % Ingen skillnad
34 % Ja, till det bättre

Sammanfattning av enkäten

- Skolans personal anser inte att klimatet har blivit sämre trots energibesparing.
- Igensättning av fönstren har inte skapat problem då arbetet genomfördes under sommarledigheten.
- Igensättning av fönster innebar en neutral eller positiv förändring av klassrummet.

3 PROJEKT MALMEN SKOLA, KUMLA



FIG 3:1 Huvudbyggnadens ostliga fasad, Malmen Skola, Kumla

3.1 Objektbeskrivning

Skolan består av 3 st byggnader, gymnastik, småskola och huvudbyggnad med en yta på totalt 3.640 m² och volymen på 10.900 m³. Småskolan och huvudbyggnaden uppfördes 1956-57 och gymnastikbyggnaden 1960-61.

Skolans totala elevantal är ca 200 st uppdelat på låg- och mellanstadium. Några högstadieklaser fanns på skolan till årsskiftet 1982-83, då de överflyttades till annan skola.

Huvudbyggnaden består av 3 plan och källare i expeditiondelen, 2 plan och källare i klassrumsdelen samt ett plan i kök-, matsal- och slöjddelen.

Fritidsgården, som är placerad i klassrumsdelens källare, är öppen dag- och kvällstid.

Småskolan består av ett plan med klassrum för lågstadieleverna.

Gymnastikbyggnaden är försedd med gymnastikhall och omklädningsutrymmen och används dagtid av eleverna och kvällstid av föreningar.

Köket tillagar ca 1.000 port/dag (tidigare ca 2.200 port/dag).

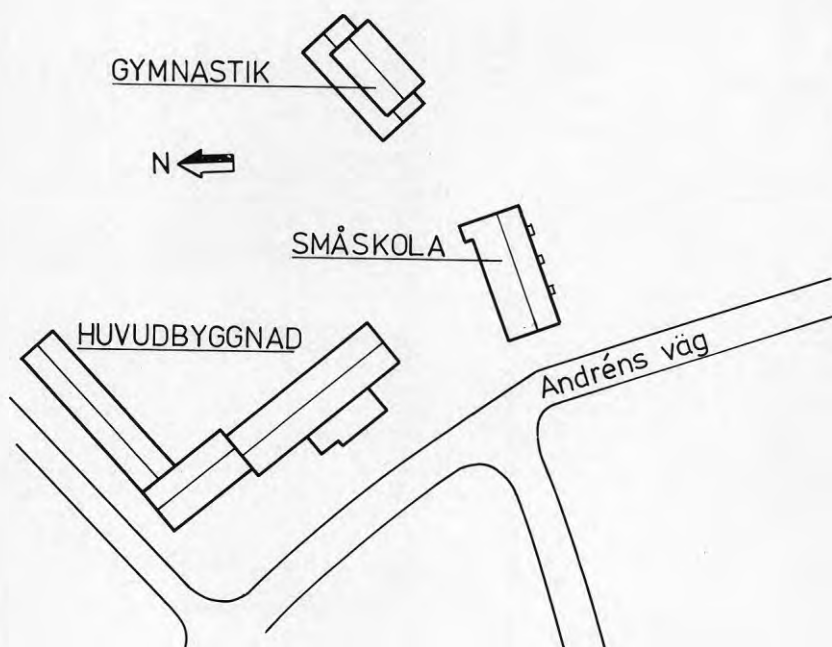


FIG 3:2 Situationsplan över Malmen Skola, Kumla

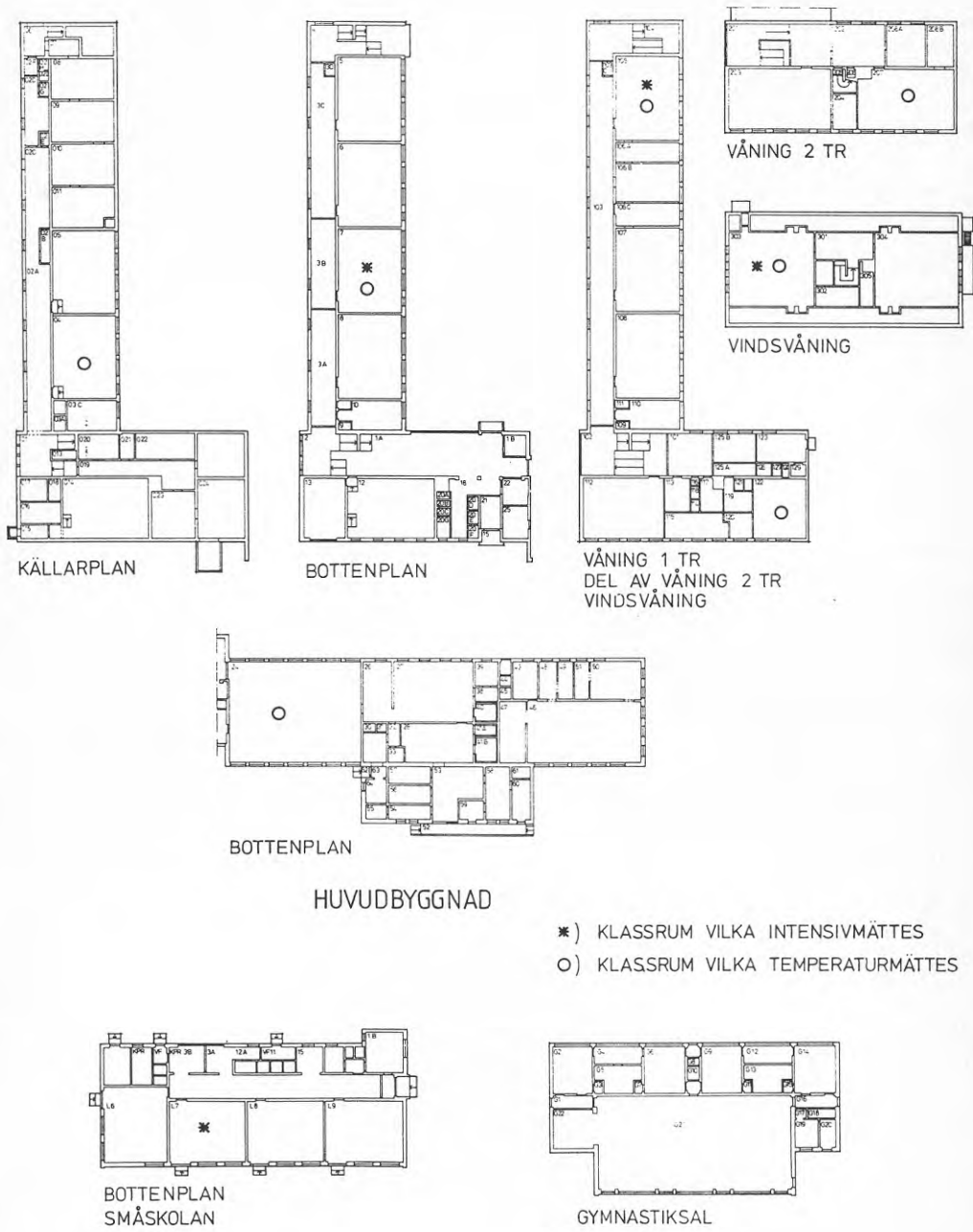


FIG 3:3 Figuren redovisar planer av de olika byggnaderna vid Malmen Skola, Kumla. Rum vilka har intensiv- och temperaturmättes är inmarkerade.

3.1.1. Byggnadskonstruktion

Ytterväggar

Ytterväggarna består av 1/2-stens tegel och 250 mm lättbetong. K-värde $0,61 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Vindsbjälklag

Huvudbyggnaden har tegel på uppstämpat trätak, 200 mm lättbetongkross på betongbjälklag. K-värde $0,59 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Bespisningslokalen i huvudbyggnaden har tegeltak på träkonstruktion med 100 mm glasull som värmeisolering. K-värde $0,34 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Småskolan har tegeltak, trätakstolar, 200 mm kutter-spånsisolering, panel och skivor. K-värde $0,34 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Gymnastikbyggnaden har papptak och innertak av träpanel. Enligt ritningarna finns som isolering ca 120 mm mineralull, vilken inte är inspektionsbar. K-värde $0,29 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Fönster

Byggnaderna har två-glasfönster, kopplade bågar, de flesta inåtgående men en del pivåhängda.

Huvudbyggnadens fönster, speciellt de stora bågar, har mycket dålig anslutning mot karm.

Entréhallen har fasta två-glasfönster i trækarm.

Flera karmar har dålig infästning till tegelväggen. Karmarna kan förskjutas några millimeter utåt och inåt. Detta tyder på dålig tätning mellan karm och vägg.

Gymnastikbyggnaden har fasta två-glasfönster, isolerglas i stålkarmar mot söder och i trækarmar mot norr. I vardera fasaden finns 2 vädringsfönster.

Ytterdörrar

Samtliga entrédörrar är försedda med enkelt glas.

I huvudbyggnaden är två pardörrar och i träslöjden en enkeldörr i dåligt skick.

Entrépartier av lättmetall, vid kökets varuintag har enkelglas. Dörrrens anslagslister är skadade och tät-hetsfunktionen därigenom dålig.

3.1.2 Ventilationsanläggning

Tilluften för ventilationsanläggningen uppvärms via värmevatten från panncentral placerad i huvudbyggnaden.

Tilluften distribueras till huvudbyggnadens källarvåning där fritidsgården är placerad via två tilluftsaggregat. Matsal och kök i bottenvåning betjänas av var sitt tilluftsaggregat. "Tilluften" till lärosalarna erhålles via springor mellan fönster och karm, samt via korridoren. Frånluften i huvudbyggnaden evakueras via sju frånluftsfläktar placerade i vindsutrymme och på tak.

Småskolan är försedd med enbart F-ventilation, vilken utgörs av en frånluftsfläkt på tak. Tilluften erhålles via springor i dörrar och fönster.

I gymnastikbyggnaden distribueras tilluften till omklädningsrum via två tilluftsaggregat, en för herrarnas omklädningsrum och en för damernas. Frånluften evakueras via en frånluftsfläkt på tak.

3.1.3 Värmeanläggning

Fjärrvärmeundercentralen är försedd med en tvåstegskopplad värmeväxlarenhet av fabrikat ELGE. Värmeväxlarenheten installerades hösten 1982.

Värmevattnet distribueras till shuntgrupper i fjärrvärmeundercentral, undercentral i gymnastikbyggnad och ventilationsaggregaten via rör i källartak och kulvert.

Följande shuntgrupper finnes installerade:

- Två shuntgrupper (fjärrvärmeundercentral) för radiatorer, en för lärosalar i huvudbyggnad och småskolan samt en för expedition.
- Två shuntgrupper (gymnastikbyggnad) för radiatorer, en för omklädningsrum samt en eftershuntgrupp för gymnastikhall.
- Två shuntgrupper för ventilationsaggregat i fritidsgården.
- Två shuntgrupper för ventilationsaggregat som betjänar kök och matsal.
- Två shuntgrupper för ventilationsaggregat för omklädningsrummen, gymnastikbyggnad.

Värmesystemet är utfört som öppet system.

3.1.4 Sanitetsanläggning

Tappvarmvattnet uppvärms för huvudbyggnaden och småskolan i värmeväxlarenhet placerad i fjärrvärmeundercentral.

För att erhålla högre temperatur på varmvattnet till köket finnes 2 st förrådsberedare i vilka eftervärmning sker med elpatroner.

Gymnastikbyggnaden är utrustad med en separat tvåstegskopplad värmeväxlare för varmvattnet.

Tappvarmvattenledningar är försedda med cirkulationsledning för att förhindra besvärande väntetider.

Duschar i gymnastikbyggnadens omklädningsrum är försedda med snålspolande duschsilar samt tidstyrda tryckventiler.

3.2 Energiförbrukning

Malmens Skola värmeförsörjdes fram till 1982 av egna oljepannor i panncentral. 1982 kopplades fjärrvärme in och svarar därefter för fastighetens hela värmebehov.

En omräkning till energi har utförts, varvid en årsverkningsgrad på 70% har använts.

Statistik redovisande förbrukning av olja och fjärrvärme

År	Olja (Eol) ₂		Energi MWh/år	Omräknat normalår ^{*)}		
	m ³ /år	l/m ²		MWh	kWh/m ² (3640 m ²)	kWh/elev (205 st)
79	127	34,8	889	830	227	4046
80	106	29,1	742	700	192	3406
81	115	31,5	805 ^{**)}	782	215	3811
82	-	-	665 ^{**)}	677	186	3300
83	-	-	619	666	183	3220
84	-	-	619	632	174	3082

*) Normalår enligt SMHI:s statistik för Örebro (1962-79), 3865 graddagar).

***) Förbrukningen avser olja och fjärrvärme. Olja t o m 1982-09-14. Mängden konsumerad olja är osäker, varför den beräknats med hjälp av graddagar.

Statistik redovisande förbrukning av el

År	MWh	kWh/m ²	kWh/elev
81	144	40	702
82	158	43	770
83	141	39	688
84	128	35	624

Statistik redovisande förbrukning av kallvatten

År	m ³	l/m ²	l/elev
82	4920	1350	24
83	4309	1184	21
84	3861	1060	19

3.2.1 Energibalans före energiombyggnad 1982-83

Energibalansen för Malmens skola har upprättats utifrån uppmätning av energi och vattenförbrukning samt beräkning av de olika förlustposterna. Beräkningarna baseras på mätta luftflöden, klimatskärmens k-värden och uppmätta inomhustemperaturer. Tillförd solenergi är beräknad enligt BKL-metoden. Samtliga angivna poster är normalårsanpassade. Energibalansen redovisas i figur 3:4.

Tillförd energi:	Fjärrvärme	700 MWh/år
	El	150 "
	Sol	130 "
	Personvärme	15 "
		<hr/> 995 MWh/år
Avgiven energi:	Transmission	380 MWh/år
	Ventilation	185 "
	Avloppsvatten	110 "
	Onyttig solenergi	100 "
	Onyttig värmeenergi 1)	125 "
	Ofrivillig vent m m 2)	95 "
		<hr/> 995 MWh/år

- 1) Med onyttig värmeenergi avses
- elenergi som används sommartid
 - elenergi för utebelysning
 - viss värmeenergi från kök
 - kulvertförluster

- 2) Ofrivillig ventilation kan även innefatta vissa fel vid beräkning av andra förluster, främst fel i k-värdesbestämning.

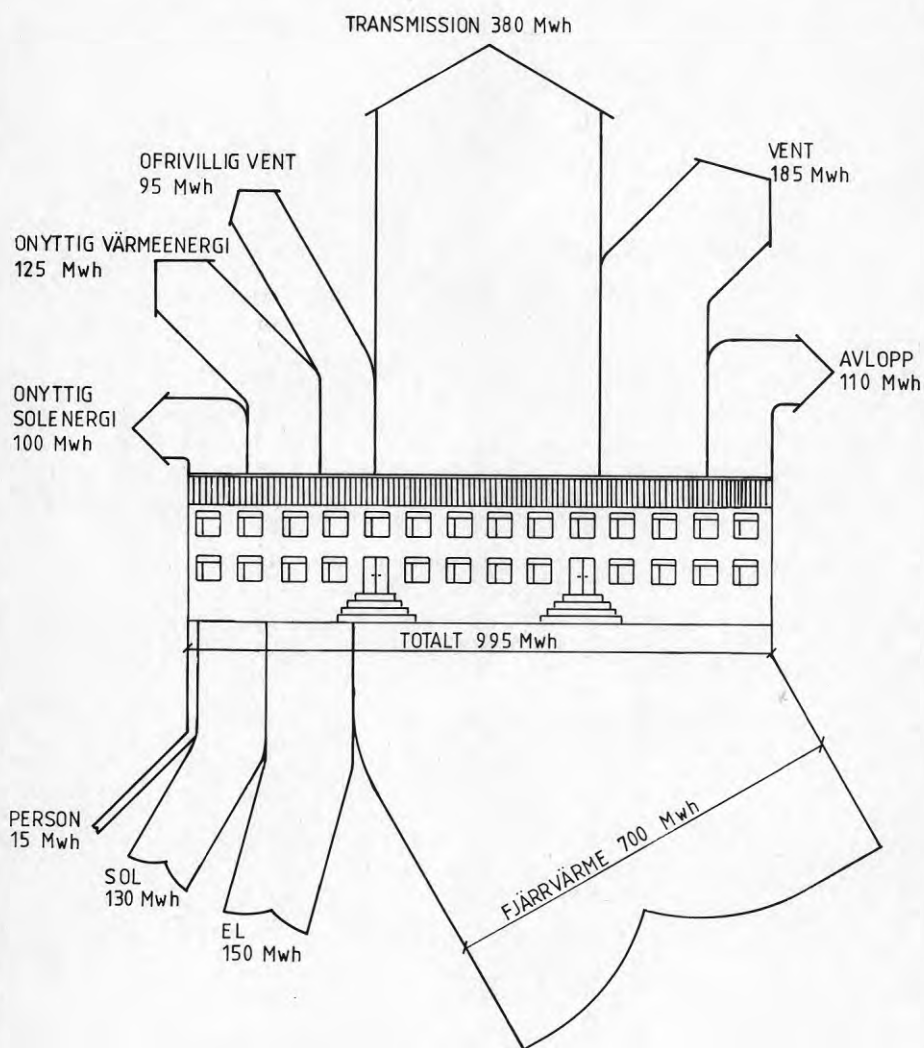


Fig 3:4 Sankey-diagram visande energibalansen för Malmens skola före energiombyggnad

3.3 Företagna energibesparande åtgärder

Efter genomförd energiutredning våren -82 och genomförda mätningar föreslogs ett antal energibesparande åtgärder som bedömdes lönsamma. Lönsamheten beräknades med Pay-off-metoden. Åtgärder vilka beräknades ha längre återbetalningstid än livslängd ansågs ej lönsamma. Energipriset har vid lönsamhetsbedömningen antagits till 0,31 kr/kWh (olja Eol 2.200 kr/m³, årsverkningsgrad 0,70).

Nedan redovisas de mätningar vilka har förändrat den vid energibesiktningen gjorda bedömningen av energisparåtgärderna.

Luftflödesmätning

Efter genomförd energiutredning föreslogs minskning av luftmängden för vissa lokaler.

Vid luftflödesmätningen framkom att luftmängderna är lägre än enligt dagens krav på luftmängder enligt SBN 80. Luftmängderna i klassrummen var i genomsnitt ca 58% lägre än SBN 80. I något klassrum var luftmängden ca 65% lägre. Detta medförde att någon nedminskning av luftflödena ej var aktuell.

Täthetsprovning och termografering

Vid täthetsprovningen noterades otätheter i byggnaderna. Den redovisar dock ej exakt var otätheterna låg. Detta framkom vid efterföljande termografering.

Vid termografering i skolan framkom att luftinläckning förekom i mindre omfattning i anslutning vägg och tak i vissa lokaler. Brister i takbjälklagets isolering samt otätheter mellan karm och båge (fönster) observerades dessutom.

Då fönsterigensättning och tätning av fönster föreslås tidigare kompletteras åtgärderna med tätning av takliv.

3.3.1 Utförda åtgärder på byggnadskonstruktion

Tätning och drevning av fönster och ytterdörrar

De fönster som inte redan tidigare försetts med tätningsslistor kompletterades med sådana. Det var framför allt på gångjärnssidan och vid undersidan på de breda bågarna som de ursprungliga listerna inte tätade tillfredsställande. Som tätningsslistor användes silikonlistor med O- eller V-profil. Listerna fästes med häftklammer eller limmades.

I samband med kompletteringen av tätningsslistorna justerades gångjärnen och stängningsbeslagen för att erhålla en god klämverkan.

Ytterdörrarna av trä försågs där så var möjligt med tätningsslistor.

I samband med byte och komplettering av tätningsslistorna justerades dörrarna.

Totalt tätades ca 1200 löpmeter och ca 150 löpmeter fönster drevades.

Igensättning av fönster

För att minska energiförlusterna under den kalla årstiden och värmeinstrålningen under den varma årstiden sattes i samråd med lärare och elever så stora fönsterytor som möjligt igen.

I lärosalarna igensattes övre fönsterdelen.

I gymnastiksalen igensattes alla fönster utom de som användes för vädring.

Igensättningen utfördes med 1/2-stens tegel alt trä i fasad, mineralull.

Totalt igensattes ca 176 m².

Ytterväggar

Ytterväggarna har teoretiskt sett en sådan värmeisolering att tilläggsisolering inte är lönsam.

Vindsbjälklag

Vindsbjälklagen över huvudbyggnad och småskolan hade en otillfredsställande dålig isolering och tilläggsisolerades därför. Övriga vindsbjälklag har teoretiskt sett en sådan värmeisolering att tilläggsisolering inte är lönsam.

Totalt tilläggsisolerades ca 1270 m².

Tätning av takvinkel

Tätning mot luftinläckning vid takvinkel utfördes. Taklisten demonterades så att elastisk fog kunde läggas i vinkeln mellan tak och vägg, ca 40 löpmeter tätades.

3.3.2 Åtgärder på ventilationsanläggning

Tidurstyrning av ventilation

Samtliga frånluftsfläktar och tillluftsaggregat försågs med tidur eller timer förutom de fläktar, som betjänar köket. Dessa styrs med fördel manuellt.

3.3.3 Åtgärder på värmeanläggning

Injustering av skolans värmesystem samt komplettering av termostatventiler

Skolans värmesystem injusterades och radiatorerna försågs med termostatventiler. Värmestammarna kompletterades även med stamstrypventiler.

3.3.4 Åtgärder på sanitetsanläggning

Tidurstyrning av VVC-pumpar

Cirkulationspumparna (2 st) för tappvarmvatten i undercentralerna försågs med tidur. Detta för att nedminska förlusterna i rörsystemet helger och nätter.

3.4 Påverkan av skolverksamheten vid åtgärdernas genomförande

Åtgärderna på klimatskärmen (tättningsarbeten och fönsterigensättning) utfördes till sin huvuddel under höstterminen. Störningarna för skolarbetet var av mindre omfattning, eftersom lediga klassrum kunde disponeras av elever i vars klassrum det förekom byggnadsarbeten.

Det huvudsakliga monteringsarbetet i samband med värme och ventilationsåtgärder utfördes under lovperioden. Mindre kompletterings- och justeringsarbeten som utfördes under skoltid orsakade inga problem för lärare/elever.

3.4.1 Personalens reaktioner

Skolans personal har svarat på en enkät där nedanstående frågor framstälts. Den procentuella fördelningen av svaren anges nedan. Följande frågor besvarades av skolans personal.

Hur uppfattar ni klimatet under denna vårtermin jämfört med föregående läsår.

- 75 % Sämre
- 25 % Lika
- Bättre

Har åtgärdernas genomförande t ex igensättning av fönster skapat problem i skolarbetet.

- 25 % Ja
- 75 % Nej

I många klassrum har man minskat fönsterarean genom igensättning av vissa befintliga fönster. Har detta förändrat klassrummet.

- Ja, till det sämre
- 75 % Ingen skillnad
- 25 % Ja, till det bättre

Sammanfattning av enkäten

- Merparten av skolans personal anser att klimatet blivit sämre efter ombyggnad.
- Viss personal anser att igensättning av fönstren har skapat problem. Orsaken är att de övre fönstren, som tidigare användes som vädringsfönster, igensatts.
- Igensättning av fönster innebär en neutral eller positiv förändring av klassrummet.



FIG 4:1 Västlig fasad av hus A1, Trojenborgskolan, Skänninge

4.1 Objektbeskrivning

Skolan består av 4 st byggnader, A1, A3, B och C, vilka är sammankopplade med förbindelsegångar. Byggnaderna A1, A3 och B uppfördes 1964 och byggnad C 1975. Sammanlagd total yta är 5000 m^2 , volym ca 15.000 m^3 .

Skolans totala elevantal är ca 310 uppdelat på mellan- och högstadium.

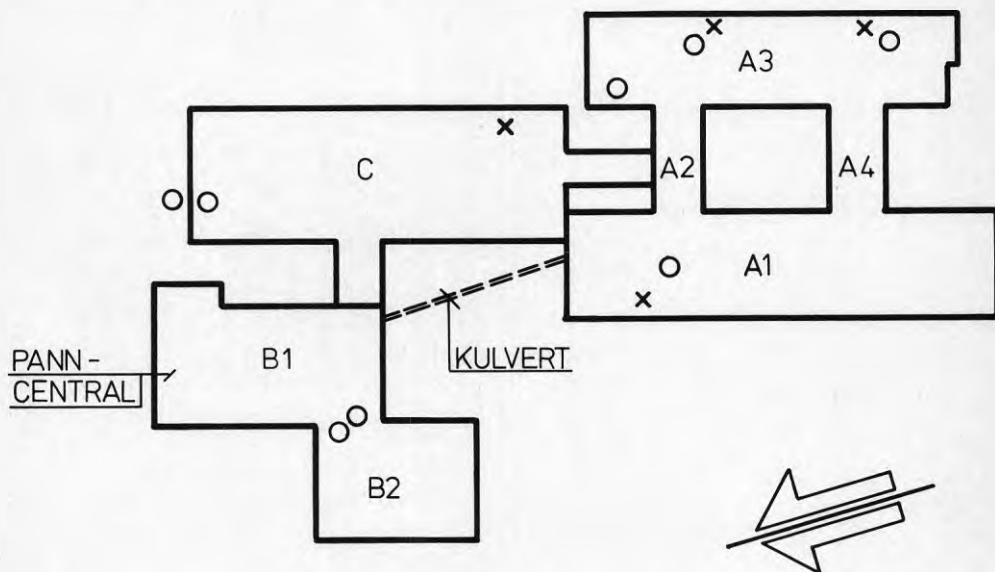
Byggnaden A1, A3 består av 2 plan och källare med klassrum. Källare finnes även i byggnad A1.

Matsal, kök, gymnastikhall och panncentral är placerade i byggnad B. Denna består av 1 plan och källare.

I byggnad C är expedition samt några klassrum placerade i bottenplanet och i källarplanet finnes fritidsgård.

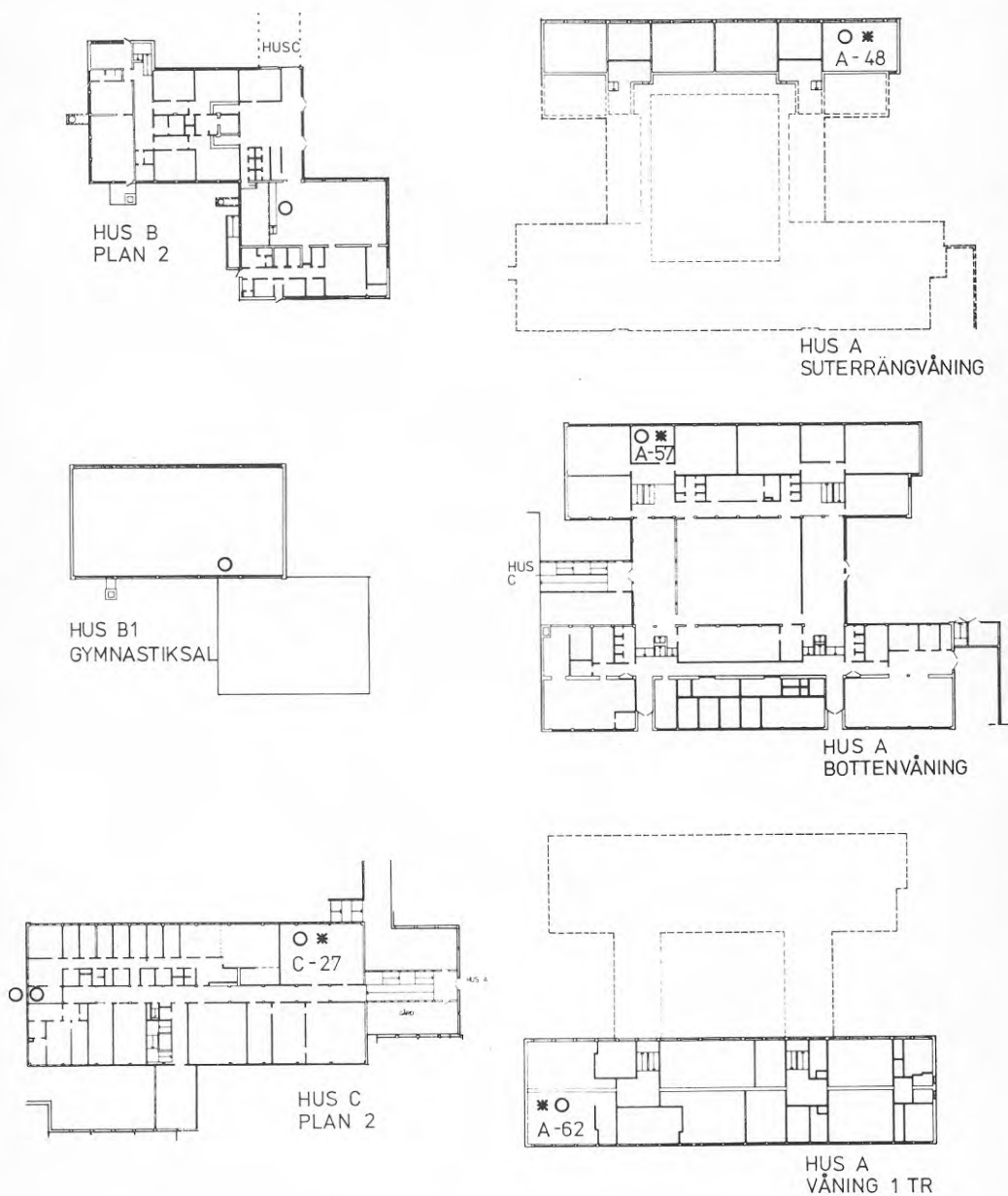
Fritidsgården och gymnastikhallen användes dagtid av eleverna och kvällstid av allmänheten.

I skolans kök tillagas ca 800 portioner/dag.



x = MÄTSTÄLLE INTENSIVMÄTNING
o = MÄTSTÄLLE LÅNGTIDSMÄTNING

Fig 4:2 Situationsplan, Trojenborgsskolan, Skänninge



- *) RUM SOM INTENSIVMÄTTES
 O) RUM SOM TEMPERATURMÄTTES

Fig 4:3 Planer av Trojenborgsskolan, Skänninge

4.1.1. Byggnadskonstruktion

Byggnad A

Ytterväggar

1/2-stens tegel, 200 mm lättbetong. K-värde $0,58 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.
Förbindelsegångarna har fönsterbröstningar av 1/2-stens skalmur med 70 mineralull. K-värde $0,51 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Vindsbjälklag

Byggnad A1, 150 mm lättbetongplank och 50 mm mineralull. K-värde $0,39 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. A2 och A4 har till ca 75% 40 mm ljudabsorbenter konstruktionsbetong och 150 mm mineralull. K-värde $0,21 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Alla tre byggnaderna med uppstämpat vattentak av panel och papp.

Byggnad A1 har tilläggsisolerats med flockad mineralull, så att K-värdet sänkts till $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Byggnad A3 har konstruktionsbetong av 150 mm mineralull, K-värde $0,27 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, alternativt 150 mm lättbetongplank och 50 mm mineralull, K-värde $0,39 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.
Luftat vattentak av panel och papp. Allt i lutning ca 1:6.

Fönstersnickerier

Byggnaden har tvåglasfönster, inåtgående kopplade bågar. Fönstren har tätningslister av remsor eller av koppar men vissa fönster saknar tätningslister helt.

Entrépartier

I byggnad A1 har entrédörrarna mot väster enkelt glas. Tätningslister saknas i entrédörren.

Byggnad B1

Ytterväggar

1/2-stens tegel, lättbetong, 150 mm betong, K-värde $0,66 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, eller 1/2-stens tegel, 200 mm lättbetong, K-värde $0,58 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Träpartier över fönster.

Vindsbjälklag

Konstruktionsbetong och 150 mm mineralull, K-värde $0,27 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, alternativt 150 mm lättbetongplank och 50 mm mineralull, K-värde $0,39 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Luftat vattentak av panel och papp. Allt i taklutning 1:6.

Fönstersnickerier

Byggnaden har tvåglasfönster, inåtgående kopplade bågar. Tätningslister av koppar.

Byggnad B2Ytterväggar

Gavlar med 1 1/2-stens tegel, K-värde $1,3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Långsidor med korrugerade asbestcementskivor på reglar 175 liggande lättbetongplank, 40 mm mineralull, skiva, 50 mm mineralull (delvis skadad), gles panel, K-värde $0,31 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Yttertak

Ca 70 mm ljudabsorbenter på ca 90% av takytan, 175 mm lättbetongplank och 50 mm mineralull. Luftat vattentak av panel och papp, K-värde $0,26 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Fönster

Byggnaden har tvåglasfönster med kopplade bågar.

Byggnad CYtterväggar

Gavlar med 1/2-stens tegel, 100 mm mineralull, 160 mm betong, K-värde $0,43 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Långsidor 1/2-stens tegel, Internit, 70 + 50 mm mineralull mellan reglar, plastfolie, 2 x 13 mm gips, K-värde $0,36 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Vindsbjälklag

Vindsbjälklaget består av 250 mm betong, 150 mm mineralull, uppstämplat vattentak av panel och papp, K-värde $0,27 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Fönster

Byggnaden har tvåglasfönster med kopplade bågar. Tätningslister är utförda av koppar.

Noteringar

Fönstren har mörka persienner som vid starkt solljus kan ge höga inomhustemperaturer.

4.1.2 Ventilationsanläggning

Byggnad A

Förvärmd tilluft tillförs byggnaden av två tilluftaggregat, för östra och västra delen av byggnaden.

Frånluften evakueras från byggnaden av fyra frånluftfläktar för östra delen och åtta frånluftfläktar för västra delen.

Frånluften i förbindelsegångarna mellan östra och västra delen evakueras av separata frånluftfläktar. Tilluft utgörs av uteluft utan förvärmning.

Från- och tilluften distribueras via don i vägg och tak.

Styrfunktionen är av typ konstant tillufttemperaturreglering.

Byggnad B

Tvätt- och omklädningsutrymme

Förvärmd tilluft tillförs tvätt- och omklädningsutrymmen av ett tilluftaggregat.

Frånluften evakueras i samma utrymmen av frånluftfläkten.

Till- och frånluften distribueras via don i vägg eller tak.

Styrfunktionen är konstant tillufttemperatur.

Gymnastik

Förvärmd tilluft tillförs gymnastiksalen av en luftvärmare monterad i gymnastiksalen.

Luftvärmaren kan inställas för olika lägen för blandningsförhållande mellan uteluft och återluft.

Frånluften evakueras från gymnastiksal av frånluftfläkten.

Styrfunktionen är rumstemperaturreglering.

Matsal och kök

Förvärm� tilluft tillförs matsal och kök av separata tilluftaggregat.

Frånluften evakueras från matsal och kök av separata frånluftfläktar.

Tilluften distribueras till matsal och kök i separata betongkanaler. I matsalen och köket sker inblåsningen av tilluften genom konvektorer placerade under fönster. I köket finns även tilluftdon i tak.

Frånluften evakueras via don i vägg eller tak.

Styrfunktionen är rumstemperaturreglering.

Tilluftaggregaten har tvåhastighetsdrift.

Byggnad C

Förvärm� tilluft tillförs byggnaden av tilluftaggregatet.

Frånluften evakueras från byggnaden av frånluftfläkten.

Tilluft- och frånluftaggregatet är försett med en roterande värmväxlare för värmeåtervinning ur frånluften.

Från- och tilluften distribueras via don i vägg och tak.

För kök och toaletter finns separata frånluftfläktar. Frånluftfläktarna för kök och toaletter är ej anslutna till den roterande värmväxlaren för värmeåtervinning.

Styrfunktionen är konstant tillufttemperatur.

4.1.3 Värmeanläggning

Byggnaderna uppvärms från panncentralen i byggnad B med två oljepannor vardera med en effekt av 732 kW (630 Mcal/h). Oljepannorna är försedda med tvåstegs-oljebrännare.

Byggnaderna inkopplades i februari 1985 till det kommunala fjärrvärmenätet, varvid värmväxlare installerades i panncentralen.

Värmesystemet är utfört som öppet system typ Nivomatic expansionskärl och utrustningen för tryckhållningen är placerad i pannrummet. Expansionskammaren är placerad i skorstenen.

Byggnaderna A, B och C har gemensam styrutrustning och shuntgrupp för styrning och distribution av värmnet till de nämnda byggnaderna.

Byggnad C förses med shuntat värmevatten till en egen shuntgrupp för vidare distribution i byggnaden.

I samtliga byggnader distribueras värmen till såväl konvektorer och radiatorer som tilluftaggregat.

4.1.4 Sanitetsanläggning

Inkommande tappkallvatten uppvärms i tappvarmvattenberedaren av hetvatten (oshuntat pannvatten) från pannan. Tappvarmvatten till förbrukare blandas med tappkallvatten i blandningsventil till förinställd temperatur.

Tappvarmvattnet förhindras att kallna i ledningarna vid låg förbrukning genom tappvarmvattencirkulationspumpen som cirkulerar tappvarmvattnet mellan förbrukare och tappvarmvattenberedare.

4.2 Energiförbrukning

Statistik redovisande förbrukad olja (Eol Årsverkningsgrad: 0,70)

År	m ³ /år	l/m ² (5000 m ²)	Energi		Omräknat normalår ^{*)}		
			MWh/år	kWh/m ²	l/m ²	kWh/m ²	kWh/elev (312 st)
79	192	38,4	1344	269	36,1	253	4049
80	157	31,4	1093	219	29,4	205	3505
81	132	26,4	920	184	26,0	181	2949
82	122	24,4	854	171	24,8	174	2788
83	115	23,0	805	161	25,4	178	2852
84	96	19,3	675	135	20,9	146	2345

*) Normalår enligt SMHI:s statistik (1962-79) för Malmslätt, Linköping

Statistik redovisande förbrukning el

År	MWh/år	kWh/m ²	kWh/elev
79	287	57,4	919
80	253	50,6	810
81	258	51,6	826
82	266	53,2	853
83	281	56,2	900
84	271	54,2	868

Statistik redovisande förbrukning kallvatten

År	m ³ /år	l/m ²	m ³ /elev
79	3162	632	10,1
80	2856	571	9,1
81	2557	511	8,9
82	3822	764	12,2
83	4108	822	13,1
84	3366	673	10,8

4.2.1 Energibalans före energiombyggnad 1982-83

Energibalansen för Trojenborgskolan har upprättats utifrån uppmätning av energi och vattenförbrukning samt beräkning av de olika förlustposterna. Beräkningarna baseras på mätta luftflöden, klimatskärmens k-värden och uppmätta inomhustemperaturer. Tillförd solenergi är beräknad enligt BKL-metoden, ref nr 1. Samtliga angivna poster är normalårsanpassade. Energibalansen redovisas i figur 4:4.

Tillförd energi:	Olja	840 MWh/år
	El	275 "
	Sol	280 "
	Personvärme	25 "
		<u>1420 MWh/år</u>
Avgiven energi:	Transmission	635 MWh/år
	Ventilation	240 "
	Avloppsvatten	85 "
	Onyttig solenergi	240 "
	Onyttig värmeenergi 1)	60 "
	Ofrivillig vent m m 2)	160 "
		<u>1420 MWh/år</u>

- 1) Med onyttig värmeenergi avses
- elenergi som används sommartid
 - elenergi för utebelysning
 - viss värmeenergi från kök
 - kulvertförluster

- 2) Ofrivillig ventilation kan även innefatta vissa fel vid beräkning av andra förluster, främst fel i k-värdesbestämning.

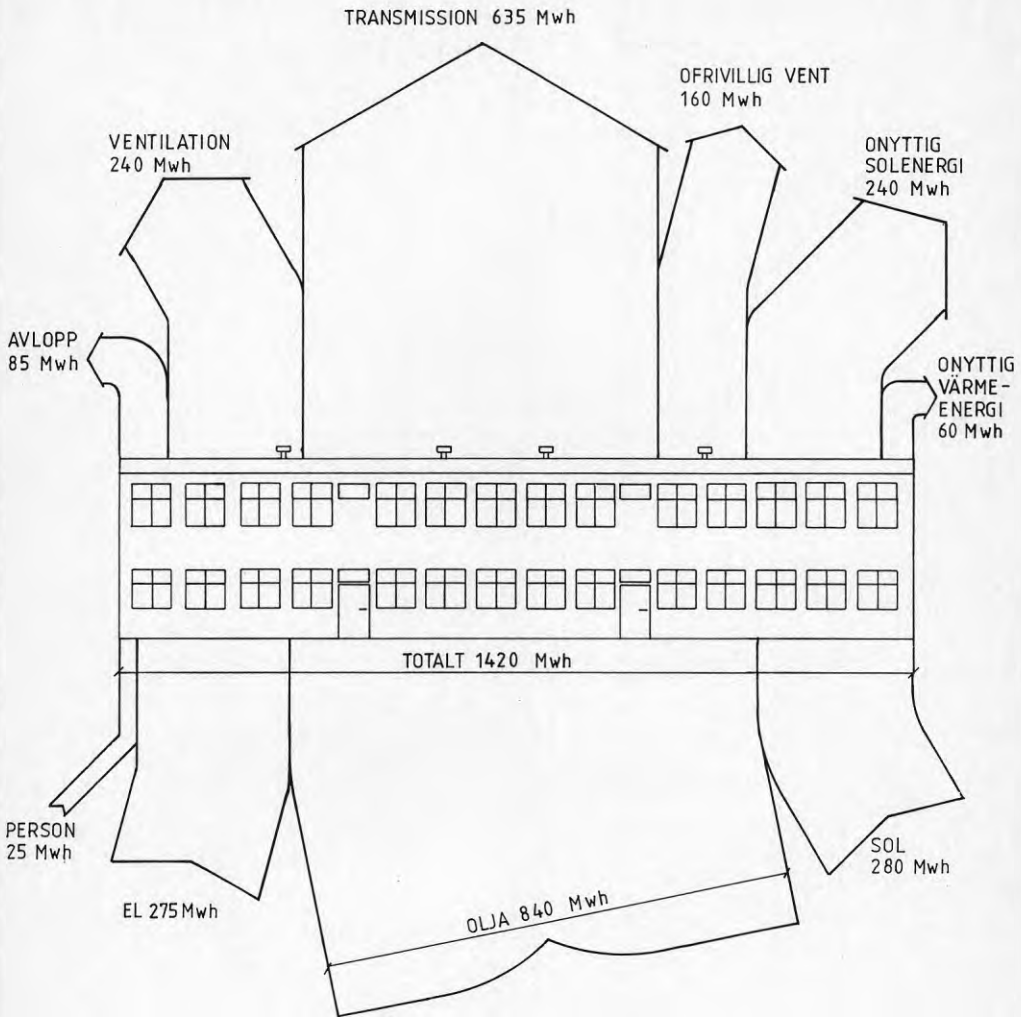


Fig 4:4 Sankey-diagram visande energibalansen för Trojenborgsskolan före energiombyggnad

4.3 Företagna energibesparande åtgärder

Efter genomförd energiutredning våren -82 och genomförda mätningar föreslogs ett antal energibesparande åtgärder som bedömdes lönsamma. Lönsamheten beräknades med Pay-off-metoden. Åtgärder vilka beräknades ha längre återbetalningstid än livslängd ansågs ej lönsamma. Energipriset har vid lönsamhetsbedömningen antagits till 0,31 kr/kWh (olja Eol 2.200 kr/m³, årsverkningsgrad 0,70).

Nedan redovisas de mätningar vilka har förändrat den vid energibesiktningen gjorda bedömningen av energisparåtgärderna.

Luftflödesmätning

Vid luftflödesmätningen framkom att luftmängderna ej är enligt SBN 80. Den totala uppmätta luftmängden i klassrummen är ca 38% lägre än enligt SBN 80. Luftmängderna var i något klassrum ca 70% lägre.

Täthetsprovning och termografering

Vid täthetsprovningen noterades otätheter i byggnaderna. Den redovisar dock ej exakt var otätheterna låg. Detta framkom vid efterföljande termografering.

Vid termografering i skolan framkom att luftinläckning förekom i skarven vägg och tak i vissa lokaler. Brister i takbjälklagets isolering samt otätheter mellan karm och båge (fönster) observerades dessutom.

Då fönstererigensättning och tätning av fönster föreslagits tidigare kompletteras åtgärderna med tätning av takliv.

4.3.1 Utförda åtgärder på byggnadskonstruktion

Tätning av fönster och ytterdörrar

I byggnaderna A-C kompletterades de fönster som inte redan tidigare försetts med tätningslister. Som tätningslister användes silikonlister med O- eller V-profil. Listerna fästes med häftklammer eller limmades.

I samband med kompletteringen av tätningslisterna justerades gångjärnen och stängningsbeslagen för att erhålla en god klämverkan.

Ytterdörrarna av trä försågs där så var möjligt med tätningslister.

I samband med byte och komplettering av tätningslisterna justerades dörrarna.

Totalt tätades ca 1500 m av den totala fönster- och dörrlistlängden.

Igensättning av fönster

Byggnaderna A och B.

För att minska energiförlusterna under den kalla årstiden och värmeinstrålningen under den varma årstiden sattes i samråd med lärare och elever en stor mängd fönsterytor igen. Totalt igensattes 193 m² fönster.

Ytterväggar

Ytterväggarna har teoretiskt sett en sådan värmeisolering att tilläggsisolering inte är lönsam.

Vindsbjälklag

Vindsbjälklagen har teoretiskt sett en sådan värmeisolering att tilläggsisolering inte är lönsam.

Tätning av takvinkel

Tätning vid takvinkel utfördes. Taklisten demonterades så att elastisk fog kunde läggas i vinkeln mellan tak och vägg.

Totalt tätades ca 160 m takvinkel.

4.3.2 Åtgärder på ventilationsanläggning

Tidurstyrning av ventilationsanläggning

Samtliga tillufts- och frånluftsfläktar, vilka var inkopplade på skolans larmtablå, anslöts till ett huvudtidur. I huvudtiduret programmerades drifttiderna för ventilationsanläggningen in för ett helt år.

Matsalens till- och frånluftsfläkt försågs med timerstyrning.

Installation av stängande spjäll på takfläktar

Frånluftsfläktar (3 st) vilka är placerade på hus A:s tak försågs med spjäll, vilka stänger när fläktarna stoppar.

Installation av separat frånluftsfläkt för diskmaskin, kök

Diskmaskinen, vilken är placerad i skolans storkök, försågs med separat frånluftsfläkt. Genom detta nedminskas drifttiden på fläkten, som betjänar kåpa över stekbord och kokgrytor. Denna fläkt betjänar även avsug ifrån diskmaskinen, vilket innebär att vid enbart användning av diskmaskin så var ventilation för kåpan i drift.

4.3.3 Åtgärder på värmeanläggning

Injustering av skolans värmesystem och montage av termostatventiler

Skolans värmesystem injusterades och försågs med termostatventiler. Viss komplettering av strypventiler fick utföras i samband med detta.

Installation av separat shuntgrupp för Hus A

En separat shuntgrupp med styrutrustning installerades för hus A. Detta utföres för att få möjlighet att reglera värmesystemet separat för denna byggnad avseende framledningstemperatur, natt- och helgnedsänkningar.

Utbyte av reglerutrustning för huvudshuntgrupp panncentral

Huvudshuntgruppen för skolans värmesystem försågs med ny reglerutrustning. Den tidigare reglerutrustningen var av äldre årgång och ej försedd med möjlighet till helgnedsänkning av framledningstemperaturen.

Utbyte av reglerutrustning för shuntgrupp Hus C

Shuntgruppen för hus C försågs med ny reglerutrustning. Den tidigare var av äldre årgång och ej försedd med möjlighet till helgedsänkning av framledningstemperaturen.

4.3.4 Åtgärder på sanitetsanläggning

Tidurstyrning av VVC-pumpar

Cirkulationspumparna för tappvarmvatten i panncentralen försågs med tidur. Detta för att nedminska förlusterna i rörsystemet helger och nätter.

4.4 Påverkan av skolverksamheten vid åtgärdernas genomförande

Åtgärderna på klimatskärmen (tättningsarbeten och fönsterigensättning) och monteringsarbetet i samband med värme- och ventilationsåtgärder utfördes till sin huvuddel under skoltid. Störningarna för skolarbetet var små enligt enkät, se nedan.

4.4.1 Personalens reaktioner

Skolans personal har svarat på en enkät där nedanstående frågor framstälts. Den procentuella fördelningen av svar anges.

Hur uppfattar ni klimatet under denna vårtermin jämfört med föregående läsår.

18	%	Sämre
54	%	Lika
28	%	Bättre

Har åtgärdernas genomförande t ex igensättning av fönster skapat problem i skolarbetet.

1	%	Ja
99	%	Nej

I många klassrum har man minskat fönsterarean genom igensättning av vissa befintliga fönster. Har detta förändrat klassrummet.

14	%	Ja, till det sämre
45	%	Ingen skillnad
41	%	Ja, till det bättre

Kommentarer till enkäten

- Skolans personal som helhet anser inte att klimatet har blivit sämre trots energibesparing.
- Åtgärdernas genomförande har ej skapat problem trots att de genomförs till största del under skoltid.
- Många anser att en igensättning av fönster har förändrat klassrummet till det bättre.



FIG 5.1 Tekniska skolans fasad mot gatan

5.1 Objektbeskrivning

Skolan består av 1 st byggnad i tre plan med en yta på totalt 4.900 m^2 och en volym på ca 18.000 m^3 . Byggnaden uppfördes 1960.

Byggnaden innehåller klassrum, laboratorielokaler, hörsalar, vaktmästeri och undercentral (f d panncentral).

I byggnadens plan 1 inryms vaktmästeri, undercentral, entréhall och laboratorielokaler. Plan 2 och 3 innehåller lärarrum, läro- och hörsalar.

Skolans elevantal är ca 200 st men varierar då denna byggnad är en av flera byggnader inom skolan som eleverna använder.

I energibesparande syfte har ingen åtgärd utförts.

5.1.1 Byggnadskonstruktion

Ytterväggar

Skalmur av $\frac{1}{2}$ -stens tegel med 60 mm mellanliggande mineralull. Några väggar består av $\frac{1}{2}$ -sten, 70 mm mineralull och tegel. K-värde $0,47 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Vindsbjälklag

Konstruktionsbetong, 140 mm mineralull och uppstämplat vattentak. K-värde $0,29 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Fönster

Byggnaden har tvåglasfönster med inåtgående, kopplade bågar. Fönstren har tätningslister av remsor.

Entrépartier

Entrédörrar och partier vid entréhall har enkelglas.

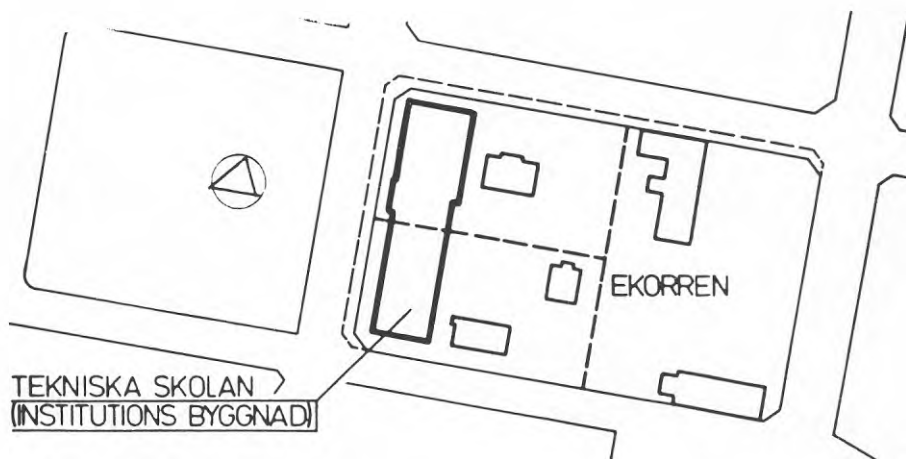
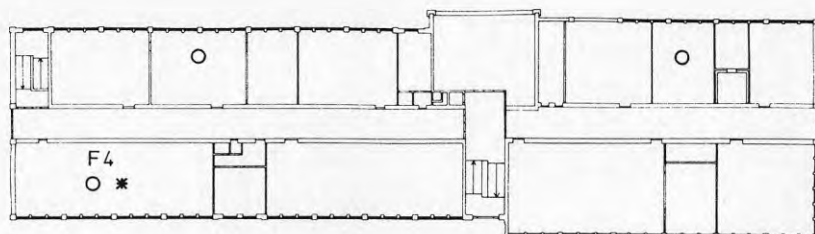
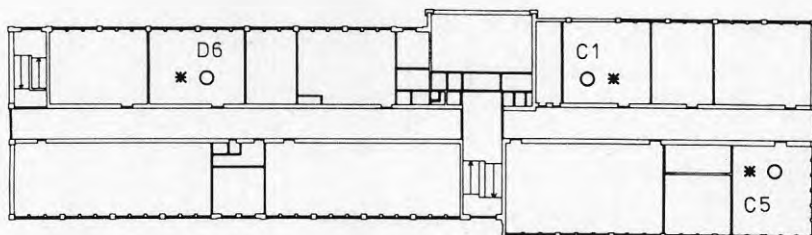


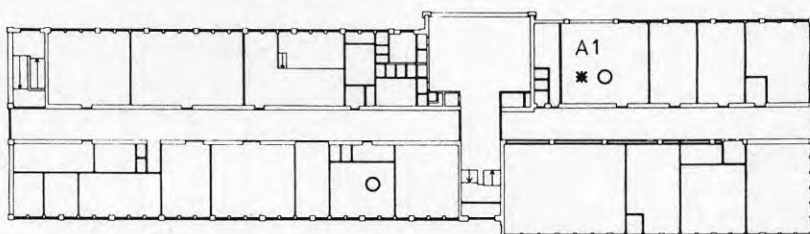
Fig 5:2 Situationsplan Tekniska Skolan, Katrineholm



PLAN 2



PLAN 1



BOTTENPLAN

x = MÄTSTÄLLE INTENSIVMÄTNING
 ○ = MÄTSTÄLLE LÅNGTIDSMÄTNING

Fig 5:3 Planer, Tekniska Skolan, Katrineholm

5.1.2 Ventilationsanläggning

Ventilationsanläggningen är av typ balanserad till- och frånluft.

Tilluften för ventilationsanläggningen uppvärms via värmevatten från undercentral placerad i källaren.

Tilluften distribueras av två tillluftsaggregat med reglering av typ konstant tilluftstemperatur. Tillluftsaggregaten är placerade i bottenplan.

De två frånluftsfläktarna för allmän ventilation är placerade på vindsplanet. Utöver allmän ventilation finns det fläktar för punktutslug. Även de är placerade på vindsplanet.

5.1.3 Värmeanläggning

Undercentralen är försedd med två stycken värmeväxlare kopplade enligt en-stegsprincipen. Värmeväxlaren för tappvarmvatten är av fabrikat Zander & Ingeström. Värmeväxlaren för värmedistributionssystemet är av fabrikat Parca.

Följande shuntgrupper finnes installerade:

- Två shuntgrupper för radiatorer
- En shuntgrupp för golvslingor
- Två shuntgrupper för ventilationsaggregat.

Uppvärmningen av byggnaden sker med radiatorer huvudsakligen placerade på ytterväggar under fönster.

Entrén till byggnaden är försedd med golvslingor.

Värmesystemet är utfört som öppet system.

5.1.4 Sanitetsanläggning

Tappvarmvattnet uppvärms i värmeväxlarenheten, som är försedd med varmvattencirkulationsledning för att förhindra besvärande väntetider.

5.1.5 Energiförbrukning

Statistik redovisas för förbrukad energi fjärrvärme redovisas.

Statistik redovisande energiförbrukning, Tekniska skolan

År	Energi		Omräknat normalår *)		
	MWh/år	kWh/m ² (4900 m ²)	MWh	kWh/m ²	kWh/elev 200 elever
80	1142	233	1047	213	5235 **)
81	1086	221	1034	211	5170
82	968	197	983	200	4915
83	803	164	882	180	4410
84	701	143	745	152	3725

*) Normalår enligt SMHI:s statistik (1962-79) för Vingåker.

**) Elevantalet varierar. Denna byggnad är en av flera byggnader inom skolan.

Statistik redovisande elförbrukning, Tekniska skolan

År	MWh/år	kWh/m ²
81	86	17
82	104	21
83	102	21
84	* 174	36

*) Den ökade elförbrukningen har sin orsak i en ökad mängd inkopplad datautrustning + värmepumpsinstallationer, som bedöms ha dragit 10 MWh elström och gett ca 25 MWh till värmesystemet.

Statistik redovisande kallvattenförbrukning, Tekniska skolan

År	m ³ /år	l/m ²
81	3200	653
82	2069	422
83	2726	556
84	3778	771

5.2 Energiförbrukning

5.2.1 Energibalans före energiombyggnad 1982-84

Energibalansen för Tekniska skolan har upprättats utifrån uppmätning av energi och vattenförbrukning samt beräkning av de olika förlustposterna. Beräkningarna baseras på mätta luftflöden, klimatskärmens k-värden och uppmätta innetemperaturer. Tillförd solenergi är beräknad enligt BKL-metoden, ref nr 1. Samtliga angivna poster är normalårsanpassade. Energibalansen redovisas i figur 5:4.

Tillförd energi:	Fjärrvärme	890 MWh
	El	100 "
	Sol	200 "
	Personvärme	20 "
		<u>1210 MWh</u>

Avgiven energi:	Transmission	505 MWh
	Ventilation	290 "
	Avloppsvatten	60 "
	Onyttig solenergi	165 "
	Onyttig värmeenergi 1)	35 "
	Ofrivillig vent m m 2)	155 "
		<u>1210 MWh</u>

1) Med onyttig värmeenergi avses

- elenergi som används sommartid
- elenergi för utebelysning

2) Ofrivillig ventilation kan även innefatta vissa fel vid beräkning av andra förluster, främst fel i k-värdesbestämning.

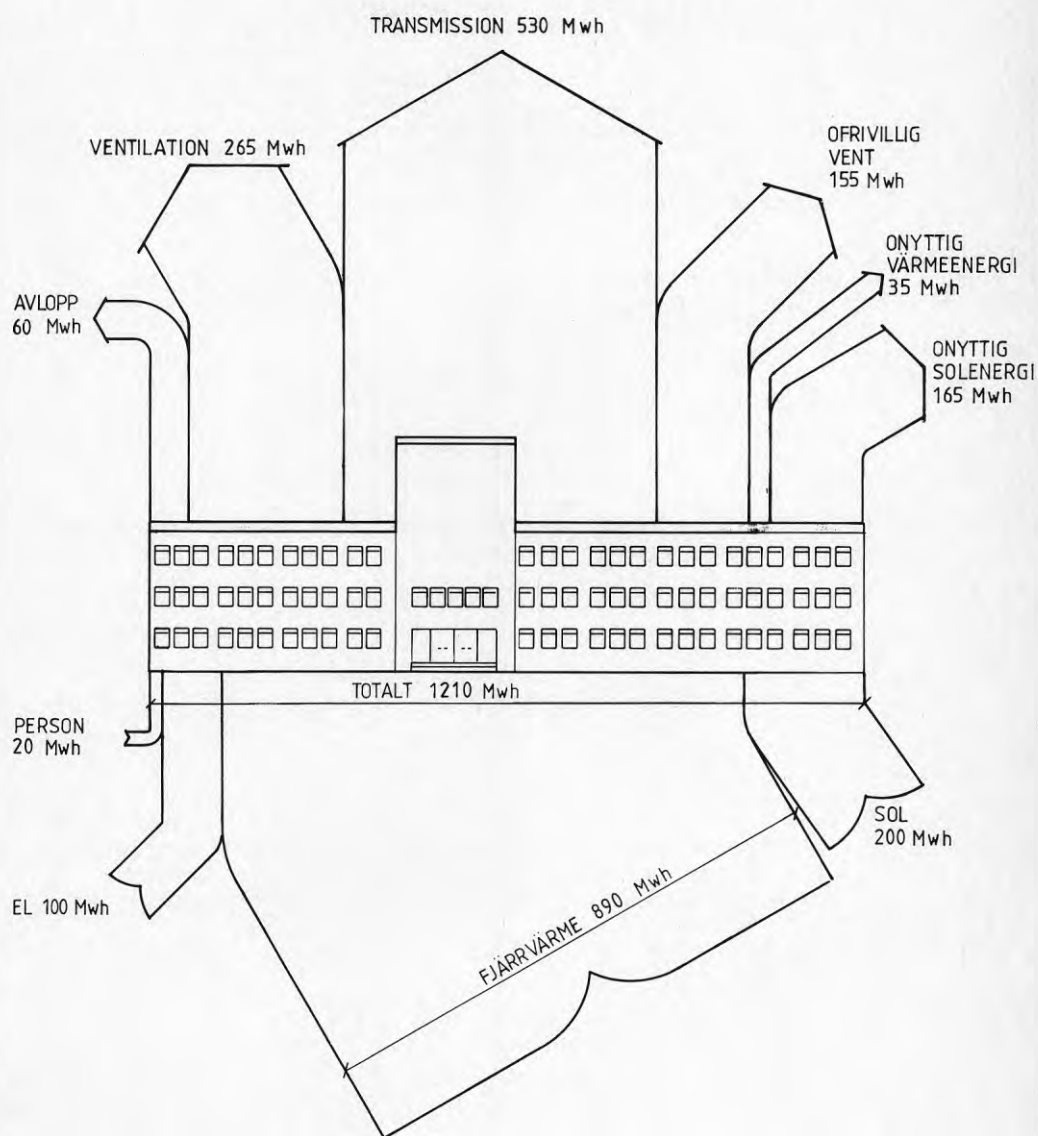


Fig 5:4 Sankey-diagram visande energibalansen för Tekniska Skolan före energiombyggnad

5.3 Företagna energibesparande åtgärder

Efter genomförd energiutredning våren -82 och genomförda mätningar föreslogs ett antal energibesparande åtgärder som bedömdes lönsamma. Lönsamheten beräknades med pay-off-metoden. Åtgärder vilka beräknades ha längre återbetalningstid än livslängd ansågs ej lönsamma. Energifriset har vid lönsamhetsbedömningen antagits till 0,20 kr/kWh för fjärrvärme. Detta energipris utgör den rörliga delen av fjärrvärmekostnaden. Vissa åtgärder såsom igensättning av fönster ger ett minskat effektuttag, vilket minskar även den fasta delen av kostnaden.

Nedan redovisas de mätningar vilka har förändrat den vid energibesiktningen gjorda bedömningen av energisparåtgärderna.

Luftflödesmätning

Efter genomförd energiutredning föreslogs injustering av ventilationsanläggningen.

Den totala uppmätta luftmängden i klassrummen är ca 40% lägre än enligt SBN 80.

Vid luftflödesmätningen framkom även att luftflödena var ojämnt fördelade mellan rummen. För att förbättra fördelningen utfördes en enkel injustering av ventilationsanläggningen. Då byggnaden är försedd med tallriksventiler och enkla tilluftsgaller utan spjäll går det ej att utföra en noggrann injustering.

Täthetsprovning och termografering

Vid täthetsprovningen noterades otätheter i byggnaderna. Den redovisar dock ej exakt var otätheterna låg. Detta framkom vid efterföljande termografering.

Vid termografering i skolan framkom att luftinläckning förekom i skarven mellan karm och båge speciellt vid de övre bågarna. Små brister i takbjälklagets isole-ring förekom.

Detta visar att en tätning av fönster och dörrar var nödvändig samt en igensättning av de övre fönstren skulle minska luftinläckningen då den var störst vid de övre bågarna.

5.3.1 Utförda åtgärder på byggnadskonstruktionen

Tätning av fönster och ytterdörrar

Skolans fönster och ytterdörrar har tätats.

Igensättning av fönster

För att minska energiförlusterna under kalla årstiden och värmeinstrålningen under den varma årstiden har de övre fönstren satts igen. Detta arbete utfördes dock inte förrän under senhösten 1984.

5.3.2 Åtgärder på ventilationsanläggning

Injustering av ventilationsanläggningen

Vid luftflödesmätning framkom att luftflödena var ojämnt fördelade mellan rummen. För att förbättra fördelningen utfördes en enkel injustering. Då byggnaden är försedd med tallriksventiler och enkla tillluftsgaller utan spjäll går det ej att utföra en noggrann injustering.

Byte av 2 st shuntgrupper med styrutrustning

Shuntgrupperna inklusive reglerutrustningarna utbyttes för att bättre motsvara kravet på ekonomisk reglering.

5.3.3 Åtgärder på värmeanläggning

Injustering av skolans värmesystem samt komplettering av termostatventiler

Byggnadens värmesystem injusterades och radiatorerna försågs med termostatventiler. Varje värmestam kompletterades med stamstrypventiler.

5.3.4 Åtgärder på sanitetsanläggning

Tidurstyrning av VVC-pumpar

Cirkulationspump för tappvarmvatten i undercentralen försågs med tidur. Detta för att nedminska förlusterna i rörsystemet helger och nätter.

5.4 Påverkan av skolverksamheten vid åtgärdernas genomförande

Åtgärderna på klimatskärmen (tätningssarbeten och fönsterigensättning) utfördes till sin huvuddel under lovperioden. Störningarna för skolarbetet var små.

Det huvudsakliga monteringsarbetet i samband med värme och ventilationsåtgärder utfördes till största delen under skoltid.

5.4.1 Personalens reaktioner

Skolans personal har svarat på en enkät där nedanstående frågor framstälts. Den procentuella fördelningen av svaren anges nedan. Följande frågor besvarades av skolans personal:

Hur uppfattar ni klimatet under denna vårtermin jämfört med föregående läsår.

- 50% Sämre
- 50% Lika
- % Bättre

Har åtgärdernas genomförande t ex igensättning av fönster skapat problem i skolarbetet.

- 25% Ja
- 75% Nej

I många klassrum har man minskat fönsterarean genom igensättning av vissa befintliga fönster. Har detta förändrat klassrummet.

- % Ja, till det sämre
- 100% Ingen skillnad
- % Ja, till det bättre

Kommentar till enkäten

- Hälften tycker att klimatet har blivit sämre. Vissa tycker att det har blivit för varmt och andra att ventilationen har blivit sämre.
- Viss personal anser att igensättning av fönster har skapat problem vid vädring.
- Ingen anser att igensättning av fönstren har förändrat klassrummet.

6 REDOVISNING AV MÄTNINGAR

6.1 Allmänt

En mycket stor mängd mätningar har utförts under projektet. För att ge en översikt över resultaten presenteras endast vissa mätningar i kurvform, vilka har varit representativa för perioden. För övrigt anges uppmätta värden angivna som genomsnitt över en period.

6.2 Projekt Hagabergsskolan

6.2.1 Temperaturmätning

Byggnad A i skolan har försetts med 8 temperaturgivare. Dessa har en gång per dag och en gång per natt (klocka 11 och 23) registrerat och bildat medelvärde av inomhus och utomhustemperaturerna under en timme. Givarna har företrädesvis placerats i klassrum, se fig 2.2, sid 14.

	Genomsnittlig temperatur uppmätt före energiom- byggnad	Genomsnittlig temperatur uppmätt under och efter energiombyggnad
Dag	20,8 ^o C	19,7 ^o C
Natt	19,9 ^o C	18,3 ^o C
Differens	0,9 ^o C	1,4 ^o C
Utetemp	+/-0 ^o C	+0,6 ^o C
Dygnsmedeltemp	20,3 ^o C	19,0 ^o C

Tabell 6:1 Redovisning av genomsnittliga temperaturer uppmätta kl 11 och 23 var dag före och efter energiombyggnad.

6.2.2 Täthetsprovning

Täthetsprovning har utförts för varje byggnad separat. Vid täthetsprovningen användes befintligt frånluftssystem. I huvudsak utfördes provningen enligt punkt 1.6.2.

Mätningarna gav följande resultat:

Byggnad A, B, C, D och F redovisar ett bättre mätresultat efter utförd energiombyggnad. Den ofrivilliga ventilationen beräknas som helhet för skolan ha minskat med ett värde i intervallet 15-27%. Beräkningen har utförts enligt riktlinjer som anges i ref 2.

Mätningarna i byggnad E redovisar ej någon markant skillnad trots täthetsåtgärder. En del av kvarstående otätheter härrör från metalldörrar, vilka har varit svåra att få täta.

6.2.3 Luftflödesmätning

Luftflödesmätning har utförts i skolans samtliga lokaler, där möjlighet till mätning funnits. Rekommenderade mätmetoder, vilka finns angivna i Byggforskningsrådets "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer", har använts.

Luftflödesmätningarna har visat

- att luftflödena till viss del var både mindre och större än dagens krav på luftflöden enligt SBN 80.
- att luftflödena varierade mot de som finns angivna på ritningsunderlaget. Det sammanlagda uppmätta luftflödet var 15690 m³/h mot på ritningen angivna 16000 m³/h. Enligt SBN 80 skall det lägst vara 18000 m³/h.

6.2.4 Termografering

Vid mätningar som utfördes före energiombbyggnaden noterades följande:

- att ytterväggarna och anslutningen mellan golv och ytterväggar visade en förväntad temperaturfördelning i samtliga byggnader.
- att luftinläckning förekommer i anslutningar mellan tak och väggar i samtliga byggnader.
- att byggnad B (gymnastiksal) visade överraskande god täthet trots att termograferingen utfördes vid ca 10 Pa undertryck.
- att entrédörrarna av aluminium är starkt nedkylda dels genom dålig täthet mellan karm och dörr och dels genom bristfällig isolering i själva dörren.
- att i taket på byggnaderna A, B, D och F förekommer fläckvis nedkylda partier.
- att vid fönstrens överbåge sker luftinläckning i byggnaderna A, B, C, D och E. Fönstren i byggnad F har god täthetsfunktion.

6.2.5 Intensivmätning

I skolan har fyra klassrum valts ut som representativa för skolan. Klassrummen är placerade i olika väderstreck och i olika delar inom skolan. Klassrummens placering finns redovisade på situationsplan sid 14.

Klassrum 5: Placerat i byggnad A (lågstadium) med fönsterfasad i västlig riktning.

Klassrum 1: Placerat i byggnad A (lågstadium) med fönsterfasad i västlig riktning.

Klassrum 37: Placerat i byggnad F (låg/mellanstadium) med fönsterfasad i östlig riktning.

Klassrum 20: Placerat i byggnad C (mellanstadium) med fönsterfasad i västlig riktning.

Intensivmätningen har utförts både före och efter energiombyggnad.

På följande sidor redovisas utvalda, representativa kurvor och mätdata från intensivmätningen.

Klassrum 5 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
före energiombyggnad

Klassrum 5 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
efter energiombyggnad

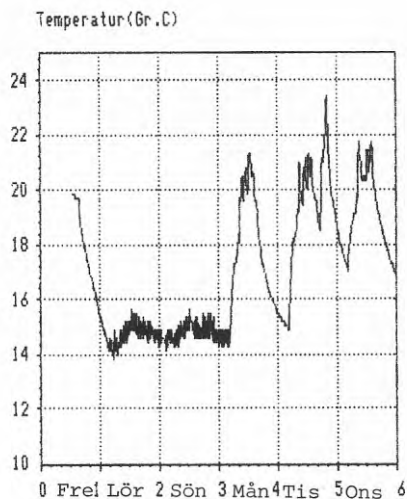
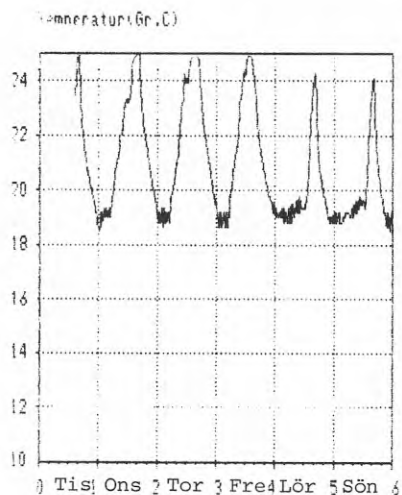
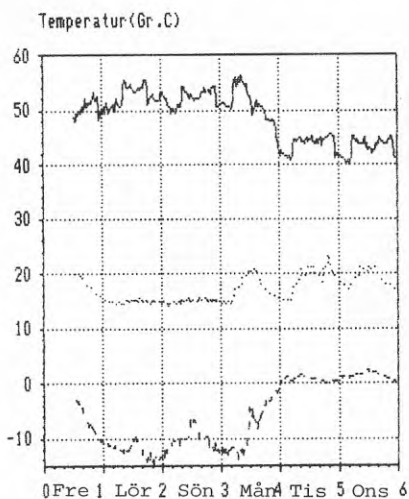
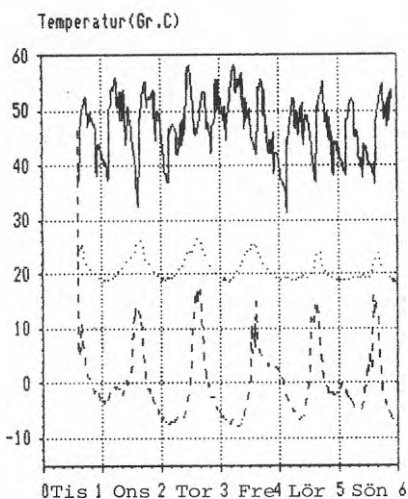


Fig 6:1

Diagram visande i övre figurraden framledningstemperatur, rumstemperatur och utetemperatur före och efter energiombyggnad i klassrum som värms via fönsterapparater. Den undre figurraden visar enbart rumstemperaturen.

Klassrum 37 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
före energiombyggnad

Klassrum 37 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
efter energiombyggnad

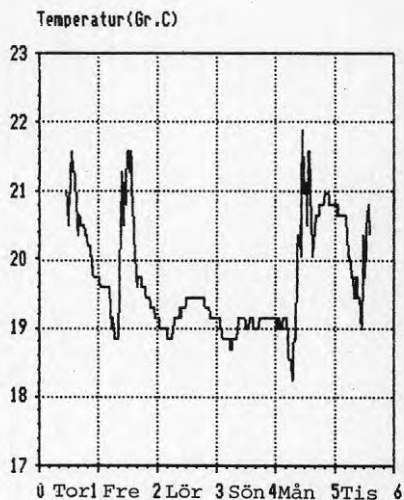
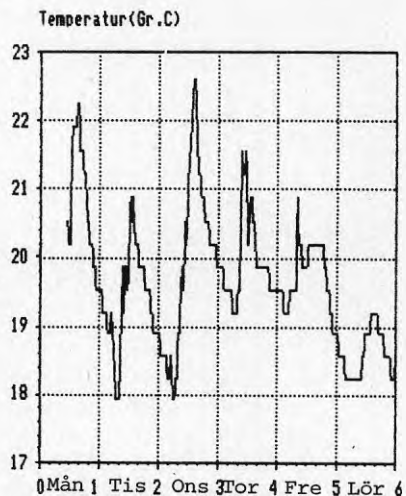
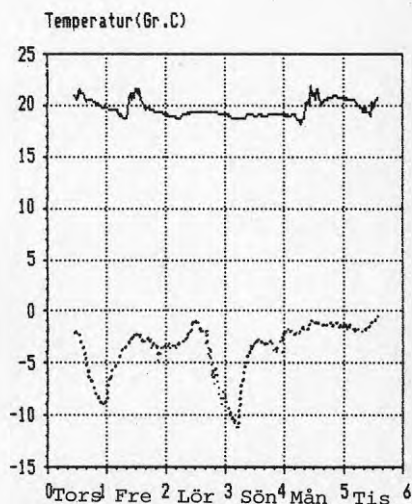
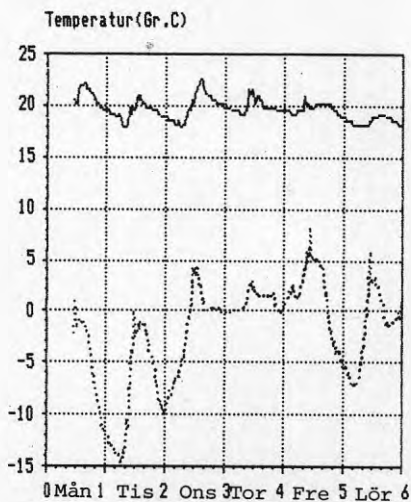


Fig 6:2

Diagram visande i övre figurraden rumstemperatur och utetemperatur före och efter energiombyggnad i klassrum som värms via radiatorer. Den undre figurraden visar enbart rumstemperatur.

KomfortSubjektiv upplevelse

För att kunna jämföra den subjektivt upplevda komforten före och efter energiombyggnaden har elever/lärare fått besvara en enkät då komforten uppmätts.

Rum 1	Före åtgärder	Efter åtgärder
Medeltemp inomhus 9-15 vardagar	23,5°C	20,2°C
Elever/lärare tyckte att det under mätperioden var		
- kyligt	-	4%
- svalt	-	26%
- lagom	30%	70%
- lite för varmt	64%	-
- varmt	6%	-
Temperaturen var acceptabel	94%	100%

PMV

Medelvärde för PMV under vardagar 9-15	+0,2	-0,05
--	------	-------

Före åtgärder

Efter åtgärder

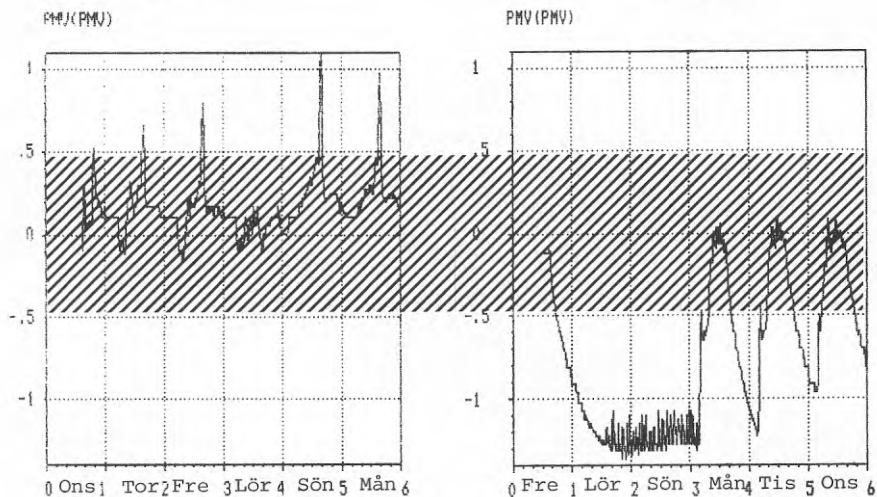


Fig 6:3 Diagram visande uppmätt PMV före och efter energiombyggnad i klassrum uppvärmt med fönsterapparater. Ett acceptabelt område för komforten, vilket ingår i förslag till ISO-standard anges.

Rum 37	Före åtgärder	Efter åtgärder
Medeltemp inomhus 9-15 vardagar	20,2°C	20,9°C
Lärare/elever tyckte att det under mätperioden var		
- kyligt	-	-
- svalt	20%	-
- lagom	80%	100%
- lite för varmt	-	-
- varmt	-	-
Temperaturen var acceptabel	100%	100%

PMV

Medelvärde för PMV under vardagar 9-15	0	0
---	---	---

Före åtgärder

Efter åtgärder

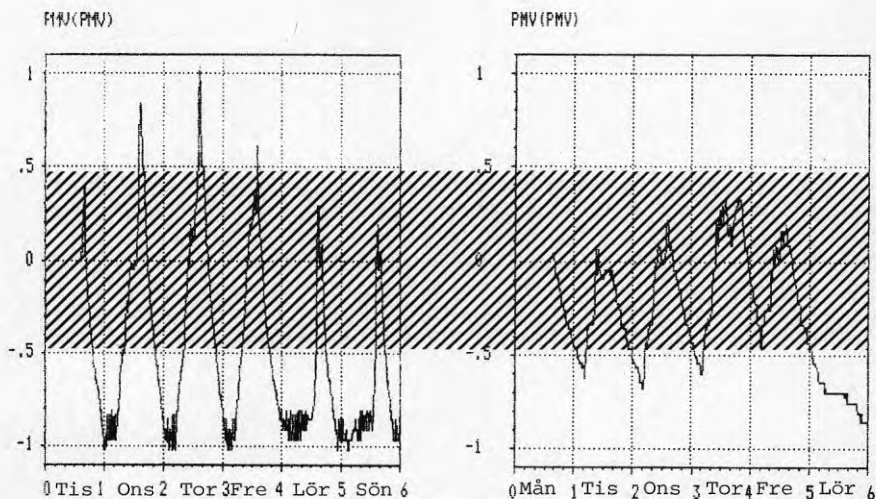


Fig 6:4

Diagram visande uppmätt PMV före och efter energiombyggnad i Klassrum uppvärmt med radiatorer. Ett acceptabelt område för klimatet, vilket ingår i förslag till ISO-standard anges.

Nedan redovisas några utvalda data från intensivmätning Hagabergs-skolan gällande de fyra utvalda klassrummen. Redovisat data gäller vardagar kl 09.00-15.00, d v s när klassrummen utnyttjas.

	Mätning		Diffe- rens +=ökad -=minsk
	Före energiomb	Efter energiomb	
<u>Klassrum 5</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+7,0°C	-1,7°C	
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+23,0°C	+20,6°C	-2,4°C
Temperatur vistelsezon lägsta	+19,1°C	+19,4°C	+0,3°C
Temperatur vistelsezon högsta	+26,5°C	+21,7°C	-4,8°C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	1,6°C	1,1°C	-0,5°C
Operativ temperatur (g-snitt)	-	+17,8°C	-
PMV	0,0 (neutralt)	0,0 (neutralt)	Lika (lika)
Elevernas och lärarnas utlåtande	Lite för varmt	Lagom	Bättre
<u>Klassrum 1</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+7,0°C	-1,7°C	
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+23,5°C	+20,2°C	-3,3°C
Temperatur vistelsezon lägsta	+22,5°C	+19,4°C	-3,1°C
Temperatur vistelsezon högsta	+25,5°C	+21,4°C	-4,1°C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	1,2°C	0,2°C	-1,0°C
Operativ temperatur (g-snitt)	+26°C	+20°C	-6°C
PMV	+0,2 (neutralt)	-0,05 (neutralt)	+0,25 (lika)
Elevernas och lärarnas utlåtande	Lite för varmt	Lagom	Bättre
<u>Klassrum 37</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+3,0°C	-1,9°C	
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+20,2°C	+20,9°C	+0,7°C
Temperatur vistelsezon lägsta	+18,2°C	+20,0°C	+1,8°C
Temperatur vistelsezon högsta	+22,6°C	+21,7°C	-0,9°C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	0,7°C	3,5°C	+2,8°C
Operativ temperatur (g-snitt)	+22°C	+19,6°C	-2,4°C
PMV	-0,2 (neutralt)	Ur funktion	-
Elevernas och lärarnas utlåtande	Lagom	Lagom	-
<u>Klassrum 20 (lärarrum)</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+3,0°C	-2,0°C	
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+21,0°C	+21,0°C	+/-0°C
Temperatur vistelsezon lägsta	+20,0°C	+18,4°C	-1,6°C
Temperatur vistelsezon högsta	+24,8°C	+23,4°C	-1,4°C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	1,4°C	0,8°C	-0,6°C
Operativ temperatur (g-snitt)	+23°C	+19,0°C	-4,0°C
PMV	-0,4 (ngt svalt)	+0,1 (neutralt)	+0,3 (bättre)
Lärarnas utlåtande	Svalt	Lagom	Bättre

Sammanfattande kommentarer från intensivmätningarna

I klassrum med fönsterapparater kan konstateras att helg- och nattnedsänkning av inomhustemperaturen fungerar efter justering av apparaterna. Temperaturen under den tid lokalerna används har blivit jämnare.

Inomhustemperaturen har dagtid sjunkit $1-3^{\circ}\text{C}$ i skolan.

Temperaturskillnaden mellan tak och golv är betydligt lägre under lektionstid efter energiombyggnaden.

Golvtemperaturen i byggnad F (rum 37) är $1-4^{\circ}\text{C}$ lägre än temperaturen i vistelsezonen. Denna onormalt stora skillnad beror på att tilluft till klassrummet tas via springventiler under fönstren och kall luft lägger sig på golvet.

Den relativa fuktigheten är efter åtgärderna något högre, vilket bl a beror på en lägre inomhustemperatur.

Trots temperatursänkningen ($1-3^{\circ}\text{C}$) i skolan anser samtliga att den nya temperatursituationen är acceptabel.

6.3 Projekt Malmens skola

6.3.1 Temperaturmätning

Skolan har försetts med 8 temperaturgivare. Dessa har en gång per dag och en gång per natt kl 11 och 23 registrerat och bildat medelvärde av inomhus och utomhustemperaturerna. Mätställen finns redovisade på situationsplan fig 3:3, sid 28.

	Genomsnittlig temperatur uppmätt <u>före energiom-</u> <u>byggnad</u>	Genomsnittlig temperatur uppmätt <u>under och efter</u> <u>energiombyggnad</u>
Dag	20,0 ^o C	19,9 ^o C
Natt	19,2 ^o C	18,7 ^o C
Differens	0,8 ^o C	1,2 ^o C
Utetemp	+2 ^o C	-0,8 ^o C
Dygnsmedeltemp	19,6 ^o C	19,3 ^o C

Tabell 6:1 Redovisning av genomsnittliga temperaturer före och efter energiombyggnad.

6.3.2 Täthetsprovning

Täthetsprovning har utförts för varje byggnad separat. Vid täthetsprovningen användes befintligt frånluftssystem. I huvudsak utfördes provningen enligt punkt 1.6.2.

Mätningarna gav följande resultat:

Småskolan, huvudbyggnaden och gymnastiksalen redovisar ett bättre mätresultat efter utförd energiombyggnad. Den ofrivilliga ventilationen beräknas som helhet för skolan ha minskat med ett värde i intervallet 15-27%. Beräkningen har utförts enligt riktlinjer som anges i ref 2.

Matsal och trapphus redovisar ej någon markant skillnad trots täthetsåtgärder.

6.3.3 Luftflödesmätning

Luftflödesmätning har utförts i skolans samtliga lokaler, där möjlighet till mätning funnits. Rekommenderade mätmetoder, vilka finns angivna i Bygghörsningsrådets "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer", har använts.

Luftflödesmätningarna har visat

- att luftflödena till viss del var både mindre och större än dagens krav på luftflöden enligt SBN 80.
- att luftflödena varierade mot de som finns angivna på ritningsunderlaget.

6.3.4 Termografering

Vid mätningar som utfördes före energiombyggnaden noterades följande:

- att ytterväggarna och anslutningen mellan golv och ytterväggar visade en förväntad temperaturfördelning i samtliga byggnader.
- att taket i småskolan har lokalt nedkylda parter orsakade av brister i isolering och vindstättning och att luftinläckning förekommer i anslutningar mellan tak och väggar.
- Fönstren i huvudbyggnaden har stora otätheter mellan karm och båge men otätheter förekommer även mellan karm och vägg.
- Matsalens tak har lokalt nedkylda partier, speciellt mot takfoten.
- I kökets tillbyggnad sker kraftig luftinläckning i anslutningen mellan tak och yttervägg.
- Taket ovan omklädningen i gymnastiken har lokalt nedkylda partier. Vid gavelväggarna sker viss luftinläckning.

6.3.5 Intensivmätning

I skolan har fyra klassrum valts ut som representativa för skolan. Klassrummen är placerade i olika väderstreck och i olika delar inom skolan. Klassrummens placering finns redovisade på situationsplan fig 3:3, sid 28.

Klassrum L7: Placerat i småskolan med fönsterfasad i sydlig riktning.

Klassrum 303: Placerad i biblioteket på vindsplan i trapphusdelen med fönsterfasad i nordvästlig riktning.

Klassrum 7: Placerat i huvudbyggnad med fönsterfasad i sydostlig riktning.

Klassrum 105: Placerat i lärarrummet i trapphusdelen med fönsterfasad i sydvästlig riktning.

Intensivmätningen har utförts både före och efter energiombyggnad.

På följande sidor redovisas utvalda, representativa kurvor och mätdata från intensivmätningen.

Inomhustemperaturer, reglering

Klassrum 303 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
före energiombyggnad

Klassrum 303 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
efter energiombyggnad

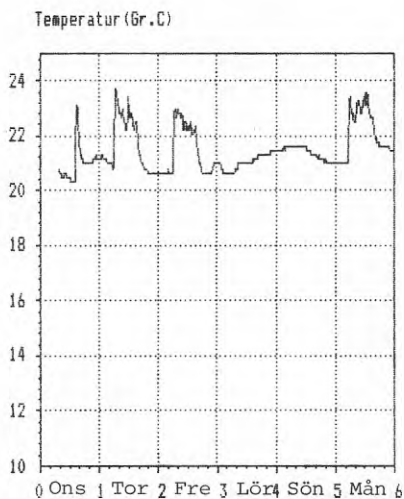
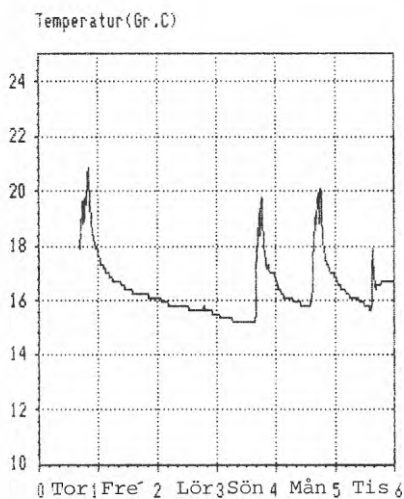
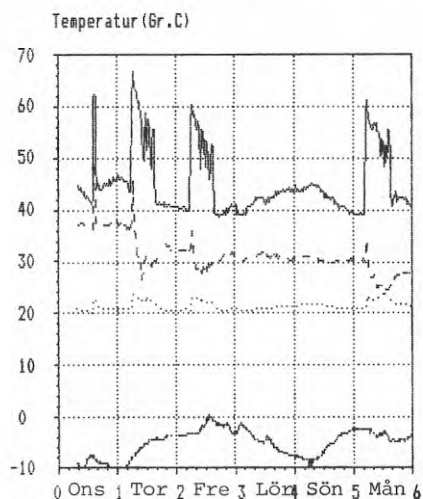
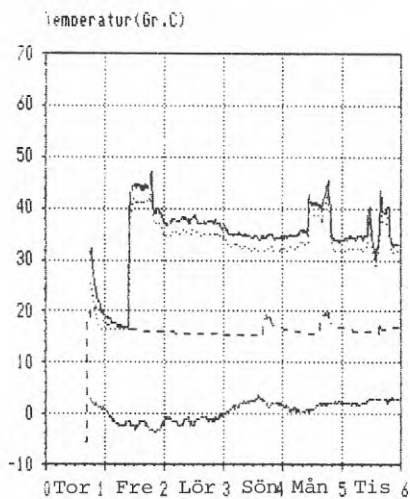


Fig 6:5

Diagram visande fram-, returledning, rumstemperatur och utetemperatur före och efter ombyggnad i bibliotek, där man före energiombyggnad haft stora komfortproblem. Den nedre figurraden visar enbart rumstemperaturer.

Samband mellan vind och inomhustemperatur

I samband med intensivmätningar i Malmens skola kunde vindens påverkan av inomhustemperaturen påvisas. Vind uppstod nattetid då extrema klimatpåverkande faktorer (sol, belysning, personvärme m m) inte kunde påverka inomhustemperaturen.

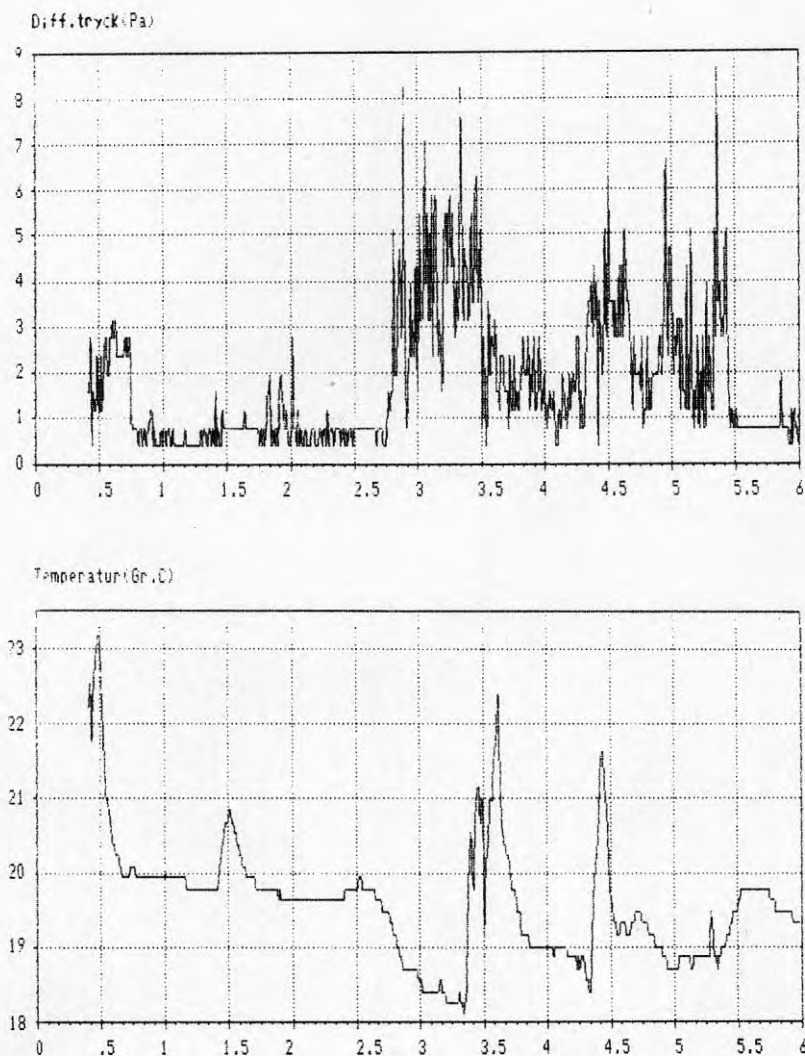


Fig 6:5 Samband mellan vindtryck på fasad och inomhustemperatur

KomfortSubjektiv upplevelse

För att kunna jämföra den subjektivt upplevda komforten före och efter energiombyggnaden har elever/lärare fått besvara en enkät då komforten uppmätts.

Rum 7	Före åtgärd	Efter åtgärd
Medeltemp inomhus 9-15 vardagar	20,1°C	21,1°C
Lärare och elever tyckte att det under mätperioden var		
- kyligt	6%	16%
- svalt	6%	44%
- lagom	82%	40%
- lite för varmt	6%	-
- varmt	-	-
Temperaturen var acceptabel	82%	80%

Observera svårigheten med subjektiva bedömningar i förhållande till den faktiska inomhustemperaturen.

PMV

Medelvärde för PMV under vardagar 9-15	-0,5	-0,2
Före åtgärder		Efter åtgärder

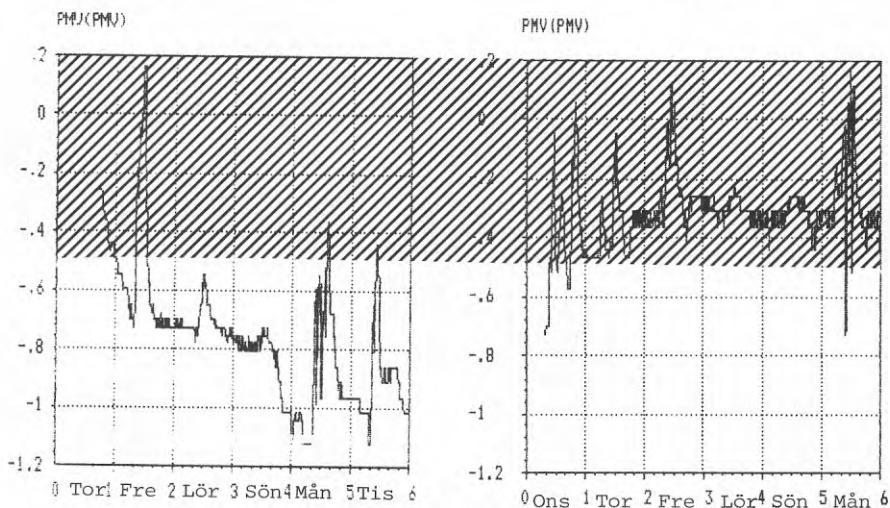


Fig 6:7

Diagram visande uppmätt PMV före och efter energiombyggnad i undervisningslokal. Ett acceptabelt område för klimatet, vilket ingår i förslag till ISO-standard anges.

Nedan redovisas några utvalda data från intensivmätning Malmans skola gällande de fyra utvalda klassrummen. Redovisat data gäller vardagar kl 09.00-15.00, d v s när klassrummen utnyttjas.

	Mätning		Diffe- rens +=ökad -=minsk
	Före energiomb	Efter energiomb	
<u>Klassrum 7 (Huvudbyggnad)</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+2,7 ^o C	+1,2 ^o C	-
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+20,1 ^o C	+21,1 ^o C	+1 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+18,5 ^o C	+18,5 ^o C	+0 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+21,5 ^o C	+22,8 ^o C	+1,3 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	1,15 ^o C	0,3 ^o C	0,85 ^o C
Operativ temperatur (g-snitt)	+19,2 ^o C	+21,1 ^o C	+1,9 ^o C
PMV	-0,5 (ngt svalt)	-0,2 (lagom)	-1,1 (bättre)
Elevernas och lärarnas utlåtande	Lagom	Svalt	Sämre
<u>Klassrum 303 (Huvudbyggnad)</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+2,7 ^o C	+0,2 ^o C	-
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+16,3 ^o C	+22,5 ^o C	+6,2 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+16,0 ^o C	+20,4 ^o C	+4,4 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+16,5 ^o C	+23,5 ^o C	+2,0 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	-	0,9 ^o C	-
Operativ temperatur (g-snitt)	+16,1 ^o C	+20,4 ^o C	+4,3 ^o C
PMV	-1,0 (svalt)	0 (lagom)	+1,0 (bättre)
Elevernas och lärarnas utlåtande	Svalt	Ej noterat	
<u>Klassrum 17 (Småskolan)</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+3,3 ^o C	+1,2 ^o C	-
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+20,4 ^o C	+21,2 ^o C	+0,8 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+19,0 ^o C	+18,8 ^o C	-0,2 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+23,2 ^o C	+25,6 ^o C	+2,4 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	1,8 ^o C	1,7 ^o C	0,1 ^o C
Operativ temperatur (g-snitt)	+20,2 ^o C	+21,9 ^o C	+1,7 ^o C
PMV	-0,7 (svalt)	-0,6 (svalt)	+1,0 (ngt bättre)
Elevernas och lärarnas utlåtande	Svalt/kyligt	Lagom	Bättre
<u>Klassrum 105 (Huvudbyggnad)</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+3,3 ^o C	+0,4 ^o C	-
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+20,9 ^o C	+21,5 ^o C	+0,6 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+18,7 ^o C	+18,8 ^o C	+0,1 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+22,0 ^o C	+23,3 ^o C	+1,3 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	1,4 ^o C	-	-
Operativ temperatur (g-snitt)	+20,5 ^o C	+20,5 ^o C	+0 ^o C
PMV	-0,6 (svalt)	-0,2 (lagom)	+0,4 (bättre)
Lärarnas utlåtande	Kyligt	Svalt	Bättre

Sammanfattande kommentarer från intensivmätningarna

Biblioteket redovisar en markant temperaturhöjning. Detta beror på att den tidigare installerade radiatoren var underdimensionerad. Den är nu utbytt till en större som bättre motsvarar bibliotekets värmeförluster.

Samtliga klassrum har blivit 0,6-4°C varmare än före energiombyggnad.

PMV-värdet har i samtliga klassrum blivit bättre efter energiombyggnaden.

Elevernas och lärarnas reaktioner är varierande men som helhet är utlåtandena oförändrade.

6.4 Projekt Trojenborgskolan

6.4.1 Temperaturmätning

Skolan har försetts med 8 temperaturgivare. Mätställen finns redovisade på situationsplan fig 4:3, sid 40. Dessa har en gång per dag och en gång per natt (klocka 11 och 23) registrerat och bildat medelvärde av inomhus och utomhustemperaturerna.

	Genomsnittlig temperatur uppmätt före energiom- byggnad	Genomsnittlig temperatur uppmätt under och efter energiombyggnad
Dag	19,9 ^o C	20,1 ^o C
Natt	19,2 ^o C	19,6 ^o C
Differens	0,7 ^o C	0,4 ^o C
Utetemp	-2,4 ^o C	-1,3 ^o C
Dygnsmedeltemp	19,5 ^o C	19,8 ^o C

Tabell 6 Redovisning av genomsnittliga temperaturer uppmätta kl 11.00 och 23.00 var dag före och efter energiombyggnad.

6.4.2 Täthetsprovning

Täthetsprovning har utförts för varje byggnad separat. Vid täthetsprovningen användes befintligt frånluftssystem. I huvudsak utfördes provningen enligt punkt 1.6.2.

Mätningarna gav följande resultat:

Byggnad A1, A2, A3, A4 och B2 redovisar ett bättre mätresultat efter utförd energiombyggnad. Den ofrivilliga ventilationen beräknas som helhet för skolan ha minskat med ett värde i intervallet 15-25%. Beräkningen har utförts enligt riktlinjer som anges i ref 2.

Mätningarna i byggnad B och C redovisar ingen skillnad. Ingen åtgärd har dock vidtagits för att täta de delarna.

6.4.3 Luftflödesmätning

Luftflödesmätning har utförts i skolans samtliga lokaler, där möjlighet till mätning funnits. Rekommenderade mätmetoder, vilka finns angivna i Byggeforskningsrådets "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer", har använts.

Luftflödesmätningarna har visat

- att luftflödena till viss del var mindre än dagens krav på luftflöden enligt SBN 80.
- att luftflödena varierade mot de som finns angivna på ritningsunderlaget.

6.4.4 Termografering

Vid mätningar som utfördes före energiombyggnaden noterades följande:

- att ytterväggarna och anslutningen mellan golv och ytterväggar visade en förväntad temperaturfördelning i samtliga byggnader.
- att luftinläckning förekommer i anslutningar mellan tak och väggar.
- att vid fönstrens överbåge sker luftinläckning i byggnaderna A, B, C, D och E. Fönstren i byggnad F har god täthetsfunktion.

6.4.5 Intensivmätning

I skolan har fyra klassrum valts ut som representativa för skolan. Klassrummen är placerade i olika väderstreck och i olika delar inom skolan. Klassrummens placering finns redovisade på situationsplan sid 40.

Klassrum A-62: Placerat i byggnaden A1 (lågstadium) med fönsterfasad i västlig riktning.

Klassrum C-27: Placerat i byggnad C (lågstadium) med fönsterfasad i östlig riktning.

Klassrum A-57: Placerat i byggnad A3 (låg/mellanstadium) med fönsterfasad i östlig riktning.

Klassrum A-48: Placerat i byggnad A3 (mellanstadium) med fönsterfasad i östlig riktning.

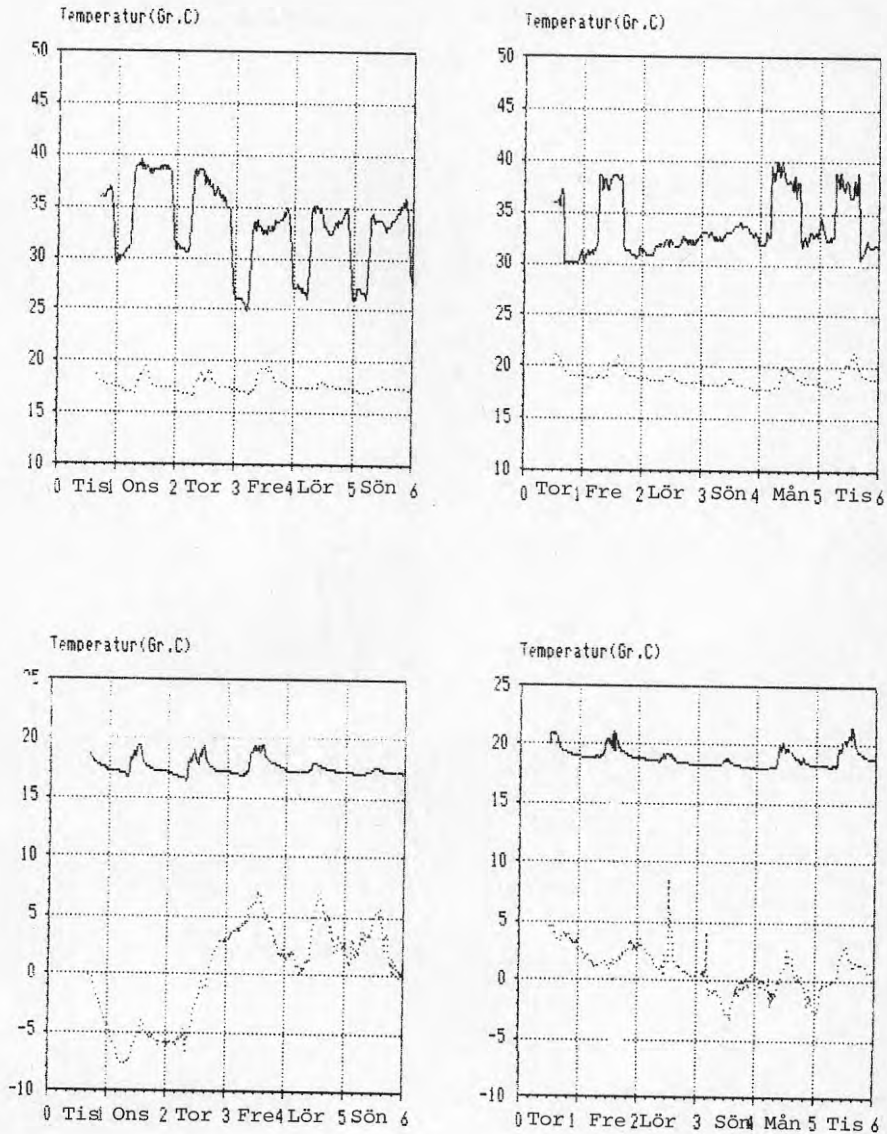
Intensivmätningen har utförts både före och efter energiombyggnad.

På kommande sidor redovisas kurvor och mätdata från intensivmätningen.

Temperaturfördelning i klassrum

Klassrum C-27 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
före energiombyggnad

Klassrum C-27 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
efter energiombyggnad



Figur 6:8

Diagram visande framledningstemperatur och rumstemperatur (överst) och rumstemperatur och utetemperatur (underst) före respektive efter energiombyggnad.

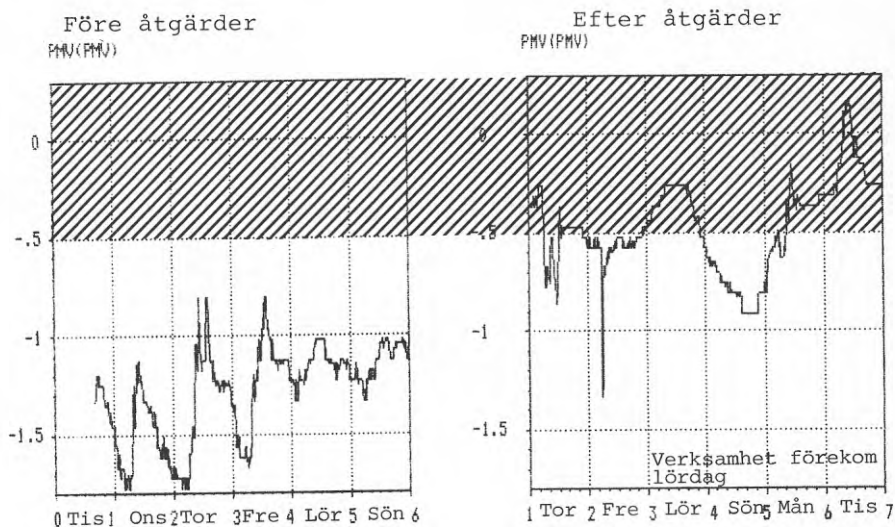
KomfortSubjektiv upplevelse

För att kunna jämföra den subjektivt upplevda komforten före och efter energiombyggnaden har elever/lärare fått besvara en enkät då komforten uppmätts.

Rum A-62	Före åtgärder	Efter åtgärder
Medeltemp inomhus 9-15 vardagar	17,8°C	22,5°C
Elever/lärare tyckte att det under mätperioden var		
- kyligt	70%	-
- svalt	30%	-
- lagom	-	80%
- lite för varmt	-	20%
- varmt	-	-
Temperaturen var acceptabel	70%	100%

PMV

Medelvärde för PMV under vardagar 9-15	-1,2	-0,3
--	------	------



Figur: Diagram visande uppmätt PMV före och efter energiombyggnad i lokal. Ett acceptabelt område för komforten, vilket ingår i förslag till ISO-standard anges.

Nedan redovisas några utvalda data från intensivmätning Trojekborgsskolan gällande de fyra utvalda klassrummen. Redovisat data gäller vardagar kl 09.00-15.00, d v s när klassrummen utnyttjas.

	Mätning		Differens +=ökad -=minsk
	Före energiomb	Efter energiomb	
<u>Klassrum A-62</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+0,4 ^o C	+0,8 ^o C	
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+17,8 ^o C	+22,5 ^o C	+4,7 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+15,7 ^o C	+18,3 ^o C	+2,6 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+20,4 ^o C	+24,8 ^o C	+4,4 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	1 ^o C	1,9 ^o C	0,9 ^o C
Operativ temperatur (g-snitt)	+16,8 ^o C	+23,8 ^o C	+7 ^o C
PMV	-1,2 (svalt)	-0,3 (lagom)	+1 (bättre)
Elevernas och lärarnas utlåtande	kyligt	lagom	bättre
<u>Klassrum C-27</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+0,4 ^o C	+0,8 ^o C	
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+18,4 ^o C	+19,8 ^o C	+1,4 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+16,4 ^o C	+18,5 ^o C	+2,1 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+19,9 ^o C	+20,9 ^o C	-1,0 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	0,5 ^o C	0,5 ^o C	-
Operativ temperatur (g-snitt)	+15,1 ^o C	+19,1 ^o C	+3,9 ^o C
PMV	-1,1 (svalt)	-0,5 (ngt svalt)	+0,6 (bättre)
Elevernas och lärarnas utlåtande	svalt	lagom	bättre
<u>Klassrum A-57</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+2,2 ^o C	-6,3 ^o C	-
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+16,8 ^o C	+21,7 ^o C	+1,2 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+13,2 ^o C	+17,3 ^o C	+0,7 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+19,8 ^o C	+26,8 ^o C	+4,3 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	4 ^o C	1,2 ^o C	-2,8 ^o C
Operativ temperatur (g-snitt)	+20,3 ^o C	+21,5 ^o C	+1,2 ^o C
PMV	-0,5 (neutralt)	Ur funkt -	- -
Elevernas och lärarnas utlåtande	lite för varmt	lite för varmt	lika
<u>Klassrum A-48</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	+2,2 ^o C	-6,3 ^o C	
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+18,5 ^o C	+20,4 ^o C	+1,9 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+17,0 ^o C	+17,8 ^o C	+0,8 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+24,0 ^o C	+22,2 ^o C	+1,8 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	-	-	-
Operativ temperatur (g-snitt)	+20,8 ^o C	+20,1 ^o C	+0,7 ^o C
PMV	-0,4 (neutralt)	Ur funkt -	- -
Elevernas och lärarnas utlåtande	lagom	lagom	lika

Sammanfattande kommentarer från intensivmätningarna

Enligt redovisade resultat har det blivit bättre i två av klassrummen. I de två andra rummen har ingen förändring skett enligt enkäten.

PMV-värden som registrerats i mätningen efter energiombyggnaden stämmer bra överens med den subjektivt upplevda klimatförbättringen.

Den uppmätta temperaturnivån har i samtliga klassrum ökat.

6.5 Projekt Tekniska skolan

6.5.1 Temperaturmätning

Byggnaden har försetts med 8 temperaturgivare. Dessa har en gång per dag och en gång per natt kl 11 och 23 registrerat och bildat medelvärde av inomhus- och utomhus-temperaturerna. Givarna har företrädesvis placerats i klassrum, se fig 5.3.

	Genomsnittlig temperatur uppmätt <u>före energiom-</u> <u>byggnad</u>	Genomsnittlig temperatur uppmätt <u>under och efter</u> <u>energiombyggnad</u>
Dag	20°C	19°C
Natt	19,3°C	18°C
Differens	0,7°C	1°C
Utetemp	0,2°C	-2,5°C
Dygnsmedeltemp	19,6°C	18,5°C

Tabell 6 Redovisning av genomsnittliga temperaturer uppmätta kl 11 och 23 var dag före och efter energiombyggnad.

6.5.2 Täthetsprovning

Täthetsprovning har utförts för varje byggnad separat. Vid täthetsprovningen användes befintligt frånluftssystem. I huvudsak utfördes provningen enligt punkt 1.6.2.

Mätningarna gav följande resultat:

Byggnaden redovisar en betydligt bättre täthet efter energiombyggnaden.

Före energiombyggnaden uppmättes ett läckluftflöde på 13.600 m³/h vid 9 Pa differensstryck.

Efter energiombyggnaden uppmättes ett läckluftflöde på 10.600 m³/h vid ett differensstryck på 15 Pa.

Den ofrivilliga ventilationen beräknas med detta som grundval ha minskat med ca 30%.

Beräkningen har utförts enligt riktlinjer som anges i ref 2.

6.5.3 Luftflödesmätning

Luftflödesmätning har utförts i skolans samtliga lokaler, där möjlighet till mätning funnits. Rekommenderade mätmetoder, vilka finns angivna i Byggforskningsrådets "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer", har använts.

Luftflödesmätningarna har visat

- att luftflödena till viss del var både mindre och större än dagens krav på luftflöden enligt SBN 80.
- att luftflödena varierade mot de som finns angivna på ritningsunderlaget.

6.5.4 Termografering

Termografering har utförts enligt anvisningar i Svensk Standard SIS 02 42 10.

Värmekamera av fabrikat AGA Thermovision har använts.

Vid mätningar som utfördes före energiombyggnaden noterades följande:

- att ytterväggarna har i stort sett god värmeisolering med jämn temperaturfördelning på invändiga väggytor. Ytterhörnen i högspänningslaboratoriet har sämre värmeisolering än byggnaden i övrigt.
- att yttertaket i högspänningslaboratoriet förekommer nedkylda partier vid ram i taket. Övriga yttertak har en jämn temperaturfördelning men något lägre yttemperatur än förväntat.
- att stora luftinläckningar mellan karm och båge förekommer, speciellt vid de övre bågarna, men läckage förekommer även mellan karm och vägg.
- att i entrépartierna förekommer stora luftinläckningar mellan karm och dörrar och mellan pardörrar.

6.5.5 Intensivmätning

I skolan har fyra klassrum valts ut som representativa för skolan. Klassrummen är placerade i olika väderstreck och i olika delar inom skolan. Klassrummens placering finns redovisade på situationsplan sid 55.

Klassrum 1: Placerat i huvudbyggnadens plan 1 med C5 fönsterfasad i nordöstlig riktning.

Klassrum 2: Placerat i huvudbyggnadens plan 1 med C1 fönsterfasad i västlig riktning.

Klassrum 3: Placerat i huvudbyggnadens plan 2 med F4 fönsterfasad i östlig ritning.

Klassrum 4: Placerat i huvudbyggnadens plan 1 med D6 fönsterfasad i västlig ritning.

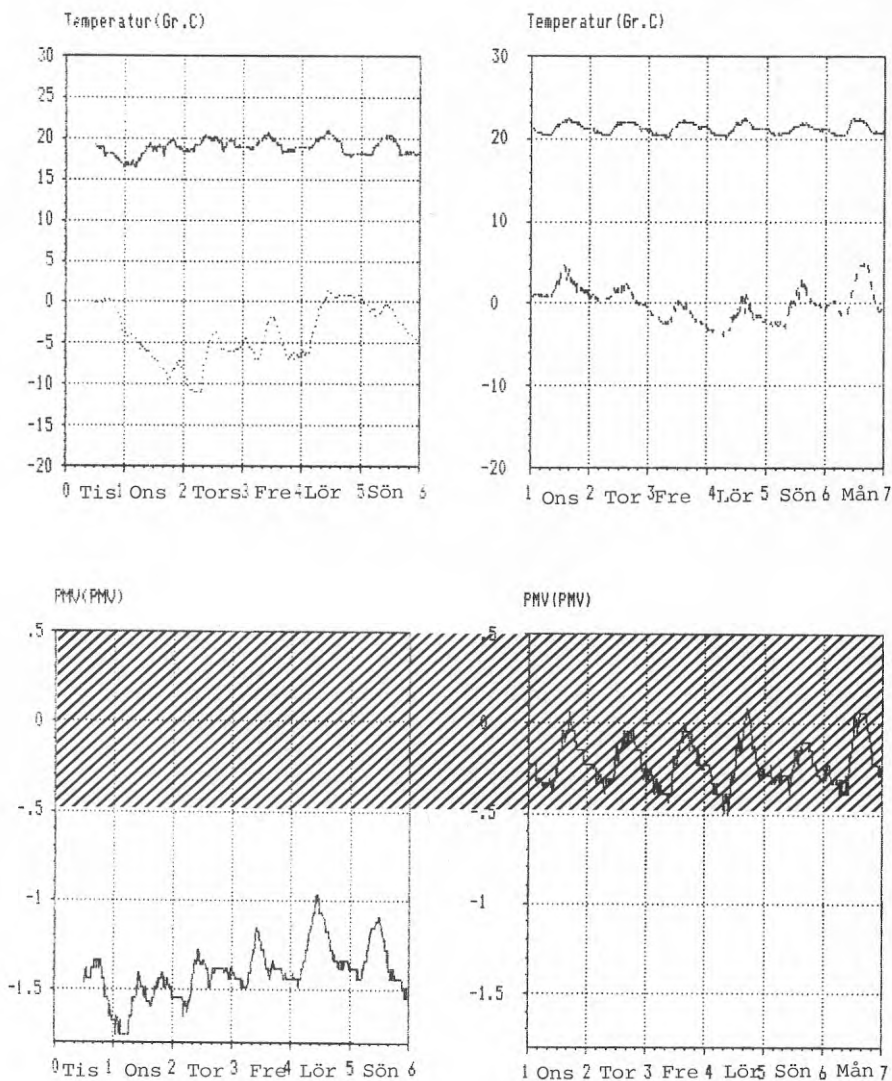
Intensivmätningen har utförts både före och efter energiombyggnad.

På följande sidor redovisas kurvor och mätdata från intensivmätningen.

Inom- och utomhustemperaturer samt komfort i klassrum
med komfortproblem

Rum C5 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
före energibyggnad

Rum C5 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
efter energibyggnad



Figur 6:10

Diagram visande temperaturförhållanden utom- och inomhus i klassrum C5 tillsammans med kurvor för uppmätt PMV före och efter energibyggnaden. Ett acceptabelt område för komforten, vilken ingår i ett förslag till ISO-standard anges. Klassrum C5 är en lärosal med stora glasytor och med stora komfortproblem innan energibyggnaden genomfördes.

Komfort

För att kunna jämföra den subjektivt upplevda komforten före och efter energiombyggnaden har elever/lärare fått besvara en enkät då komforten uppmätts.

Rum C1	Före åtgärder	Efter åtgärder
Medeltemp inomhus 9-15 vardagar	20,5°C	22,3°C
Elever/lärare tyckte att det under mätperioden var		
- kyligt	-	-
- svalt	10%	-
- lagom	80%	66%
- lite för varmt	10%	33%
- varmt	-	-
Temperaturen var acceptabel	100%	66%
PMV medel 9-15 vardagar	-0,4	+0,1

PMV

Före åtgärder

Efter åtgärder

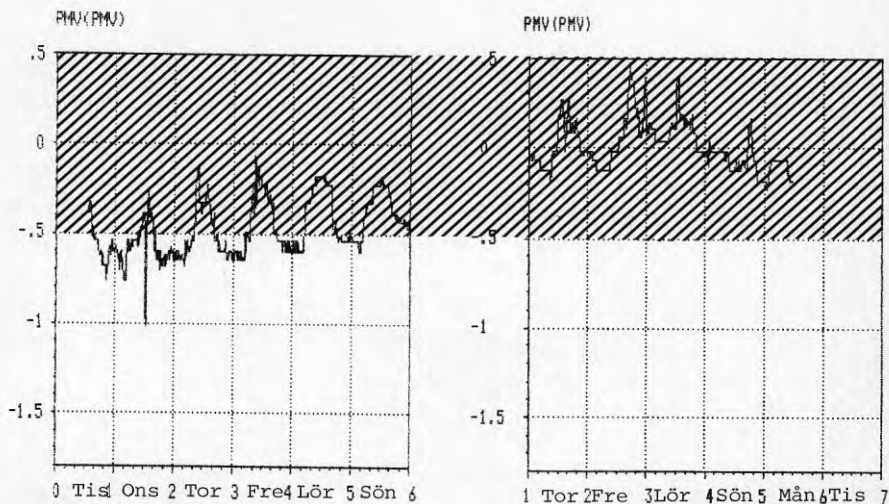


Fig 6:11

Diagram visande uppmätt PMV före och efter energiombyggnad i undervisningslokal. Ett acceptabelt område för klimatet, vilket ingår i förslag till ISO-standard.

Rum F4

Före
åtgärderEfter
åtgärder

Medeltemp inomhus 9-15 vardagar

19,5°C

21,0°C

Lärare och elever tyckte att
det under mätperioden var

- kyligt	-	-
- svalt	-	-
- lagom	100%	46%
- lite för varmt	-	54%
- varmt	-	-

Temperaturen var acceptabel

100%

91%

PMV medel 9-15 vardagar

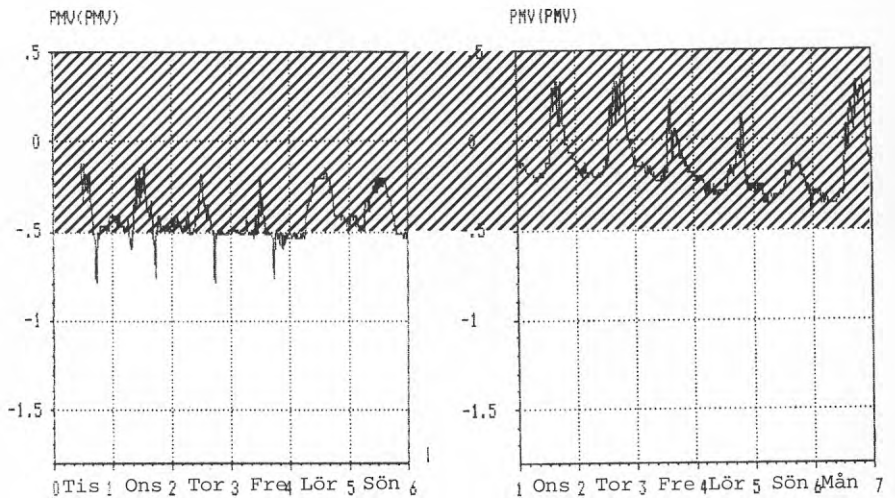
-0,3

-0,1

PMV

Före åtgärder

Efter åtgärder



Figur 6:12

Diagram visande uppmätt PMV före och efter energiombyggnad i undervisningslokal. Ett acceptabelt område för klimatet, vilket ingår i förslag till ISO-standard.

Nedan redovisas några utvalda data från intensivmätning Tekniska Skolan gällande de fyra utvalda klassrummen. Redovisat data gäller vardagar kl 09.00-15.00, d v s när klassrummen utnyttjas.

	Mätning		Differens +=ökad -=minsk
	Före energiomb	Efter energiomb	
<u>Klassrum 1 (C5)</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	- 4,4 ^o C	-0,7 ^o C	-
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+18,8 ^o C	+21,7 ^o C	+2,9 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+16,8 ^o C	+20,2 ^o C	+3,4 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+20,4 ^o C	+22,5 ^o C	+2,1 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	0,8 ^o C	1,6 ^o C	+0,8 ^o C
Operativ temperatur (g-snitt)	+16,3 ^o C	+21,9 ^o C	+5,6 ^o C
PMV	- 1,4	-0,2	+1,2
Elevernas och lärarnas utlåtande	lite kyligt lagom	lagom Ej besvarad enkät	bättre
<u>Klassrum 2 (C1)</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	- 4,4 ^o C	+2,8	-
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+20,5 ^o C	+22,3 ^o C	+1,8 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+20,0 ^o C	+21,5 ^o C	+1,5 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+22,5 ^o C	+23,6 ^o C	+1,1 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	0,8 ^o C	1,4 ^o C	-0,6 ^o C
Operativ temperatur (g-snitt)	+21,5 ^o C	+22,5 ^o C	+1,0 ^o C
PMV	- 0,4	+0,1	+0,5
Elevernas och lärarnas utlåtande	lagom lagom	lagom lite för varmt	bättre sämre
<u>Klassrum 3 (F4)</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	- 3,0 ^o C	+2,8 ^o C	-
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+19,5 ^o C	+21,0 ^o C	+1,5 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+18,5 ^o C	+20,0 ^o C	+1,5 ^o C
Temperatur vistelsezon högsta	+21,0 ^o C	+23,5 ^o C	+2,5 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	1,6	0 ^o C	-1,6 ^o C
Operativ temperatur (g-snitt)	+18,5 ^o C	+20,3 ^o C	+1,8 ^o C
PMV	-0,6	Ur funktion	-
Elevernas och lärarnas utlåtande	lagom lagom	- lite för varmt	- sämre
<u>Klassrum 4 (D6)</u>			
Utetemperatur (g-snitt)	- 3,0 ^o C	-0,7 ^o C	-
Temperatur vistelsezon (g-snitt)	+21,5 ^o C	+21,3 ^o C	-0,2 ^o C
Temperatur vistelsezon lägsta	+20,5 ^o C	+20,5 ^o C	-
Temperatur vistelsezon högsta	+23,3 ^o C	+21,8 ^o C	-1,5 ^o C
Temp skillnad vistelsezon, golv (g-snitt)	1,5 ^o C	0,2 ^o C	-1,3 ^o C
Operativ temperatur (g-snitt)	+22,0 ^o C	+22,0 ^o C	-
PMV	- 0,3	-0,1	+0,2
Elevernas och lärarnas utlåtande	lagom lagom	lagom lite för varmt	lika sämre

Sammanfattande kommentarer från intensivmätningarna

- Inregleringen har medfört att temperaturen har utjämnats i skolan.
- PMV-värdet har blivit bättre i samtliga klassrum
- Elevernas och lärarnas bedömning efter energiåtgärdernas genomförande är att situationen komfortmässigt är oförändrad eller att det blivit lite för varmt. Orsaken till det senare är att vädringsmöjligheten efter energiombyggnaden är begränsad, eftersom de övre bågarna i fönstren sattes igen.

7 EKONOMISKT RESULTAT AV ENERGIBESPARANDE ÅTGÄRDER

7.1 Allmänt

Det ekonomiska resultatet av de utförda energibesparande åtgärderna har beräknats dels ur den faktiska kostnaden för respektive åtgärd, dels den uppmätta och registrerade energibesparingen. Besparingen erhålls genom att jämföra den förbrukning av energi som byggnaden krävde före resp efter energiombyggnad.

I befintlig statistik och genom att mäta energiåtgång dec -82 - maj -83 finns huvudsakligen tillräckliga uppgifter beträffande energiförbrukning före åtgärderna.

Av praktiska skäl (vissa åtgärder har inte kunnat genomföras i enlighet med tidplan) finns i två fall inte erfarenheter kring besparingsresultatet från en hel eldningssäsong. I dessa fall har jämförelse gjorts under en kortare period och med hjälp av graddagsberäkning "skalats upp" att gälla en hel eldningssäsong.

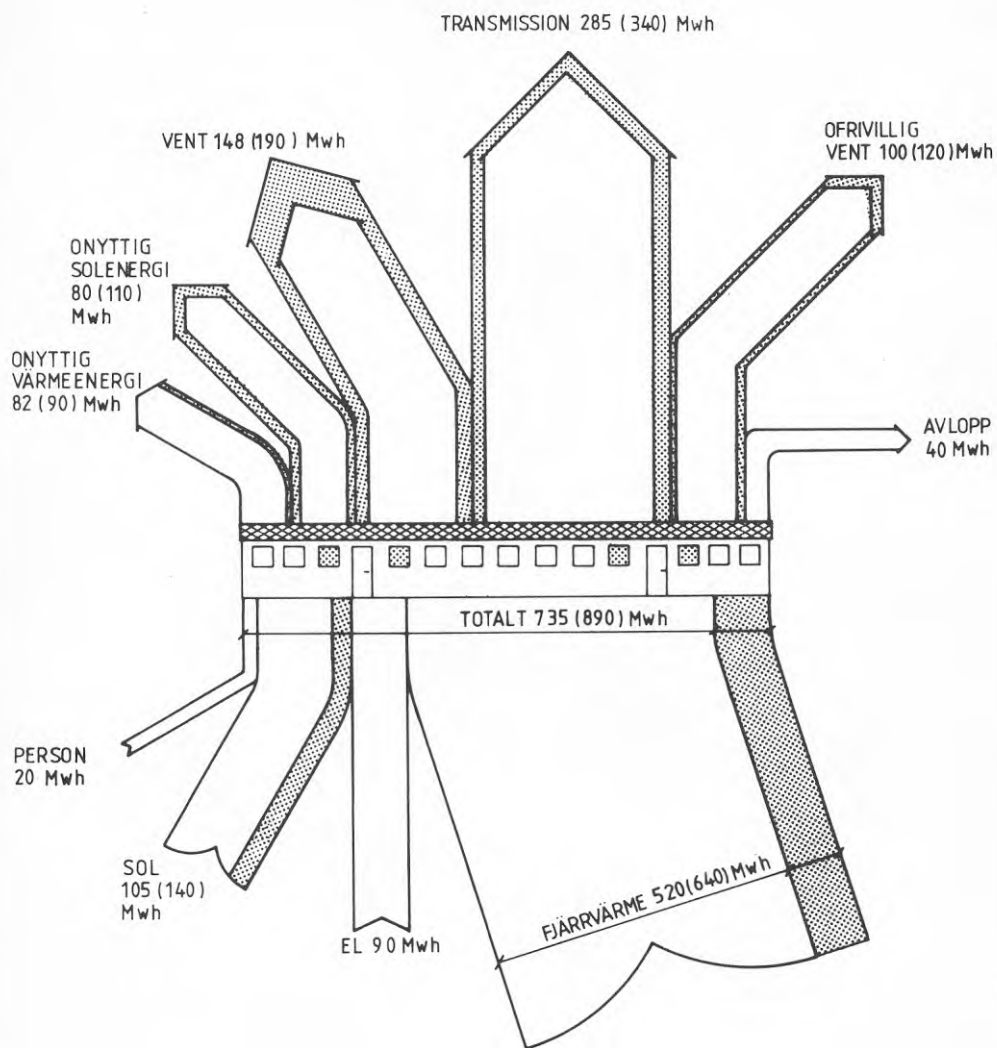
7.2 Projekt Hagabergsskolan

7.2.1 Energibalans efter åtgärdernas genomförande

Den teoretiska energibalansen för Hagabergsskolan har upprättats utifrån uppmätt, konsumerad energi och beräknad person- och solvärme samt beräkning av de olika förlustposterna. Beräkningar av förlusterna baseras på registrerade luftflöden, täthet och temperaturer samt beräknade k-värden. Tidpunkten för åtgärdernas färdigställande har medgett uppföljning av besparing under 15 månader (feb -84 - april -85). Energibalansen redovisas i figur 7:1, sid 94.

Tillförd energi:	Fjärrvärme	520 MWh/år	*)
	El	90 "	
	Sol	105 "	
	Personvärme	20 "	
		<u>735</u> MWh/år	
Avgiven energi:	Transmission	285 MWh/år	
	Ventilation	148 "	
	Avloppsvatten	40 "	
	Onyttig solenergi	80 "	
	Onyttig värmeenergi	82 "	
	Ofrivillig vent m m	100 "	
		<u>735</u> MWh/år	

*) Energi är avdragen för nyinstallerad ventilationsanläggning i byggnad F.



SIFFROR INOM PARENTES OCH DE SKUGGADE PILARNA
REPRESENTERAR FÖRBRUKNING INNAN ÅTGÄRDerna GENOMFÖRTS.

Fig 7:1

Sankey-diagram över energiflöde och besparingar,
Hagabergsskolan

7.2.2 Lönsamhet

I den inom projektet utförda energiutredningen har ett antal teoretiskt sett lönsamma energiåtgärder föreslagits. Med ledning av faktiska kostnadern, uppmätt energiförbrukning och utförda mätningar för fördelning av förbrukningen på olika avsnitt kan teori och verklighet jämföras.

I tabell 7:2 finns de föreslagna åtgärderna med bedömda och verkliga kostnader respektive besparingar.

TABELL 7:2

Förslagen åtgärd	Bedömd kostnad Kr	Verklig kostnad	Bedömd besparing MWh/år	Verklig besparing MWh/år	förväntad energibesparing %	Bedömd pay-off tid år	Verklig pay-off tid år
<u>Ventilationsanläggning</u>							
Injustering av luftmängderna, fönsterapparaterna samt en funktionsöversyn	40.000:-	39.800:-	ca 72	40	56%	2,1	3,7
Väggfläktar i skyddrum tidstyres	3.500:-	7.330:-					
Tillfugsgregatet för gymnastiken nedvarvas resp strypps 1600 m ² /h	5.000:-						
Summa:	48.000:-	47.330:-	ca 72	40	56%	2,1	3,7
<u>Värmeanläggning</u>							
Injustering av värmesystemet, installation av termostatter till byggnad F	55.000:-	46.000:-	48	35	73%	4,0	4,5
Montage av stamstryp- och överströmningsventiler							
Byte av reglerautomatik i undercentral Byggnad B	5.000:-	4.500:-					
Summa:	60.000:-	50.500:-	ca 48	35	73%	4,0	4,5
<u>Sanitearläggning</u>							
Tappvarmvattencirkulationspumparna i undercentralerna i Byggnad B och C tidurstyrs	5.500:-	3.300:-	8	8	100%	2,0	1,3
Summa:	5.500:-	3.300:-	ca 8	8	100%	2,0	1,3
<u>Byggnadskonstruktion</u>							
Tätning av fönster och dörrar, ca 1000 m	15.000:-	139.100:-					
Igenställning av fönster, ca 125 m ²	64.000:-	+ 2.500:-	41	37	90	10	12
Tätning av takvinkel (byggnad A, C, D, E och F), ca 980 m	50.000:-	(fönsterputs)					
Summa:	129.000:-	141.600:-	ca 41	37	90%	10	12
Totalt samtliga åtgärder	243.000:-	242.650:-	ca 170	120	70%	4,5	6,4

*) Hånsyn är ej tagen till energiprisökningar

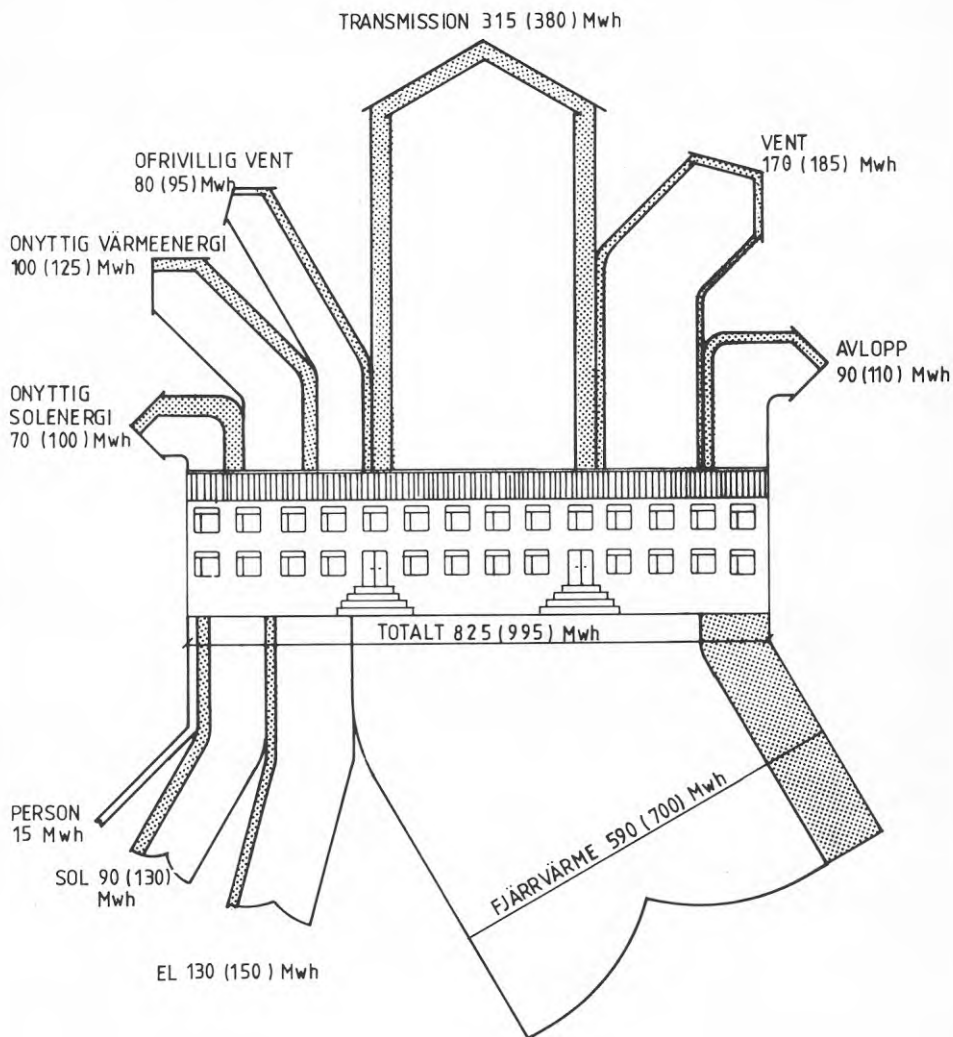
7.3 Projekt Malmens skola

7.3.1 Energibalans efter åtgärdernas genomförande

Den teoretiska energibalansen för Malmens skola har upprättats utifrån uppmätt, konsumerad energi och beräknad person- och solvärme samt beräkning av de olika förlustposterna. Beräkningarna av förlusterna baseras på registrerade luftflöden, täthet och temperaturer samt beräknade k-värden. Energibalansen redovisas i figur 7:3, sid 98.

Tidpunkten för åtgärdernas färdigställande har medgett uppföljning av besparing under 12 månader (jan -84 - jan -85).

Tillförd energi:	Fjärrvärme	590 MWh/år
	El	130 "
	Sol	90 "
	Personvärme	15 "
		<u>825 MWh/år</u>
Avgiven energi:	Transmission	315 MWh/år
	Ventilation	170 "
	Avloppsvatten	90 "
	Onyttig solenergi	70 "
	Onyttig värmeenergi	100 "
	Ofrivillig vent m m	80 "
		<u>825 MWh/år</u>



SIFFROR INOM PARENTES OCH DE SKUGGADE PILARNA
REPRESENTERAR FÖRBRUKNING INNAN ÅTGÄRDERNA GENOMFÖRTS.

Fig 7:3

Sankey-diagram över energiflöde och besparingar, Malmens skola

7.3.2 Lönsamhet

I den inom projektet utförda energiutredningen har ett antal teoretiskt sett lönsamma energiåtgärder föreslagits. Med ledning av faktiska kostnader, uppmätt energiförbrukning och utförda mätningar för fördelning av förbrukningen på olika avsnitt kan teori och verklighet jämföras.

I tabell 7:4 finns de föreslagna åtgärderna med bedömda och verkliga kostnader respektive besparingar.

TABELL 7:4

	Bedömd kostnad kr	Verklig kostnad MWh/år	Bedömd MWh/år	Verklig besparing MWh/år	förväntad energibesparing %	Bedömd pay-off tid år	Verklig pay-off tid år
Föreslagen åtgärd	20.000:-	18.000:-	50	15	0	1,3	3,9
Ventilationsanläggning							
Installation av tidstyrning av samtliga fläktar	20.000:-	18.000:-	50	15	0	1,3	3,9
Summa:	20.000:-	18.000:-	50	15	0	1,3	3,9
Värmeanläggning							
Inställning av värmesystemet samt installa- tion av termostatterventiler	75.000:-	75.000:-	35	30	86	6,9	8,1
Montage av stamstryventiler							
Summa:	75.000:-	75.000:-	35	30	86	6,9	8,1
Sanitetsanläggning							
Tappvarmvattencirkulationspumparna (2 st) i undercentralerna tidurstyres	4.000:-	4.000:-	5	5	100	2,5	2,5
Summa:	4.000:-	4.000:-	5	5	100	2,5	2,5
Byggnadskonstruktion							
Tätning av fönster och dörrar, ca 1200 lpm	25.000:-	27.000:-	14			5,5	
Drevning (150 lpm)	9.000:-	11.000:-	4			7,3	
Igensättning av fönster, ca 176 m ²	79.000:-	132.000:-	36	65	67	7,1	12,2
Tilläggsisolering av vindbjälklag ca 1270 m ²	113.000:-	74.000:-	44			8,1	
Tätning av takvinkel (40 lpm)	2.000:-	1.000:-	*			-	
Summa:	228.000:-	245.000:-	98	65	67	7,5	12,2
Totalt samtliga åtgärder	327.000:-	342.000:-	188	115	61	5,6	9,6

*) Åtgärden är svår att bedöma energibesparing på.

7.4 Projekt Trojenborgsskolan

7.4.1 Energibalans efter åtgärdernas genomförande

Den teoretiska energibalansen för Trojenborgsskolan har upprättats utifrån uppmätt, konsumerad energi och beräknad person- och solvärme samt beräkning av de olika förlustposterna. Beräkningar av förlusterna baseras på registrerade luftflöden, täthet och temperaturer samt beräknade k-värden. Energibalansen redovisas i figur 7:5, sid 102.

Tidpunkten för åtgärdernas färdigställande har medgett uppföljning av besparing under 5 månader (sept -84 - jan -85).

Tillförd energi:	Olja	680 MWh/år
	El	275 "
	Sol	225 "
	Personvärme	25 "
		<u>1205</u> MWh/år
Avgiven energi:	Transmission	590 MWh/år
	Ventilation	205 "
	Avloppsvatten	85 "
	Onyttig solenergi	175 "
	Onyttig värmeenergi	50 "
	Ofrivillig vent m m	100 "
		<u>1205</u> MWh/år

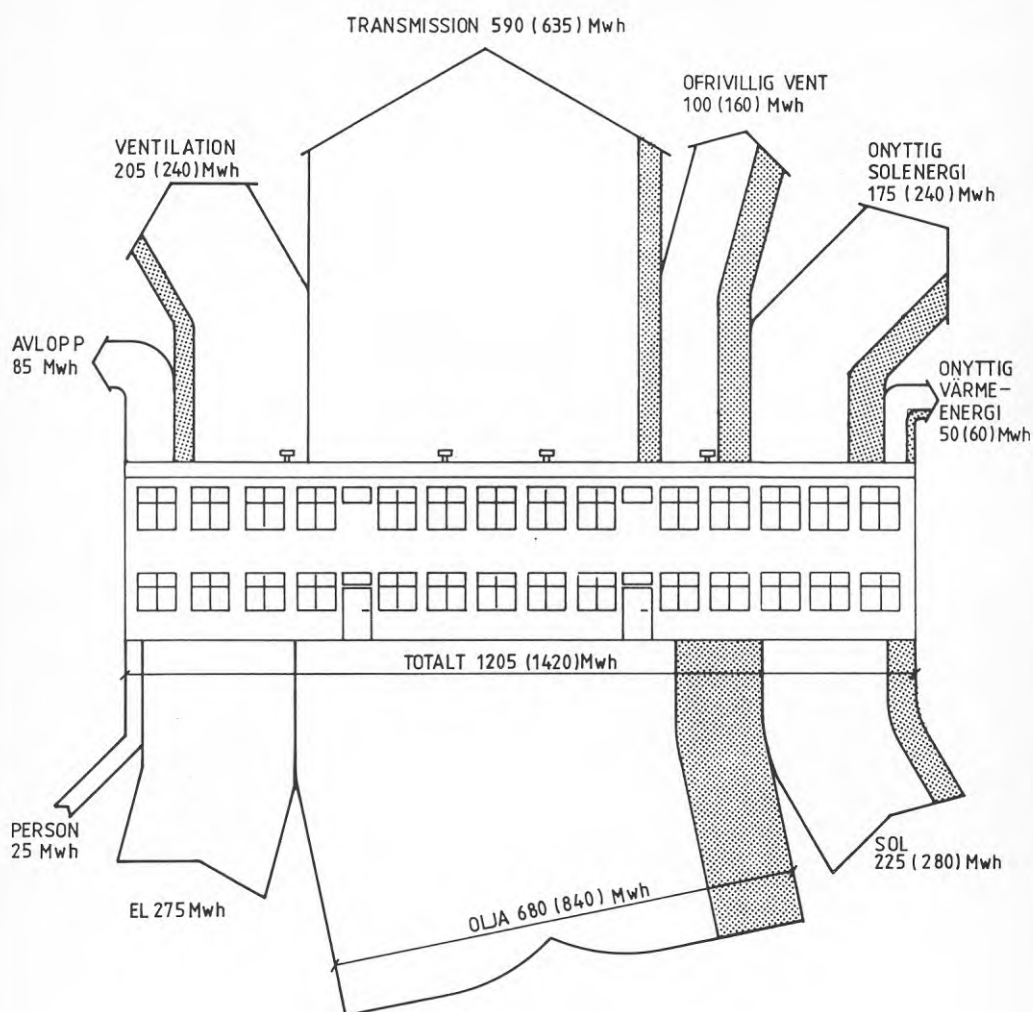


Fig 7:5

Sankey-diagram över energiflöde och besparingar,
Trojenborgsskolan

7.4.2 Lönsamhet

I den inom projektet utförda energiutredningen har ett antal teoretiskt sett lönsamma energiåtgärder föreslagits. Med ledning av faktiska kostnader, uppmätt energiförbrukning och utförda mätningar för fördelning av förbrukningen på olika avsnitt kan teori och verklighet jämföras.

I tabell 7:6 finns de föreslagna åtgärderna med bedömda och verkliga kostnader respektive besparingar.

TABELL 7:6

Föreslagen åtgärd

Ventilationsanläggning

Samtliga tillufts- och fränluftsfläktar ersätts till ett huvudsläktfläktar för massalen försägs även med timer

Fränluftsfläktarna i hus A förses med stängande spjäll

Fränluftsfläkt köksåpa nedvarvas samt att diskmaskin förses med separat fränluftsfläkt

Summa:

Värmeanläggning

Injustering av värmeanläggningen hus A, B och C

Byte av radiatorventiler och komplettering av strypventiler.

Installation av ny shuntgrupp med styrutrustning för hus A

Automatiken på huvudshuntgrupp utbytes

Automatiken på shuntgrupp för värme hus C utbytes

Summa:

Sanitetsanläggning

VVC-pumparna försägs med tidstyrning

Summa:

Byggnadskonstruktion

Tätning av fönster och dörrar ca 1500 m

Igensättning av fönster ca 190 m²

Tätning av takvinkel hus A, B, C (ca 160 m² *)

Summa:

Totalt samtliga åtgärder

	Bedömd kostnad	Verklig kostnad	Bedömd besparing kWh/år	Verklig besparing kWh/år	försväntad energibesparing %	Bedömd pay-off tid år	Verklig pay-off tid år
	8.000:-	8.800:-	15				
	15.000:-	22.200:-	30	70	118	2,1	2,4
	15.000:-	21.300:-	14				
Summa:	38.000:-	52.300:-	59	70	118	2,1	2,4
	25.000:-						
	30.000:-	46.800:-					
	35.000:-	35.400:-	61	15	25	5,3	20
	5.000:-	5.140:-					
	5.000:-	6.170:-					
Summa:	100.000:-	93.510:-	61	15	25	5,3	20
	5.000:-	2.000:-	10	10	100	1,6	<1,0
Summa:	5.000:-	2.000:-	10	10	100	1,6	<1,0
	27.000:-	196.500:-	19	65	107	5,9	9,7
	76.000:-		42				
	4.000:-						
Summa:	112.000:-	196.500:-	61	65	107	5,9	9,7
Summa:	255.000:-	344.310:-	191	160	55	4,3	6,9

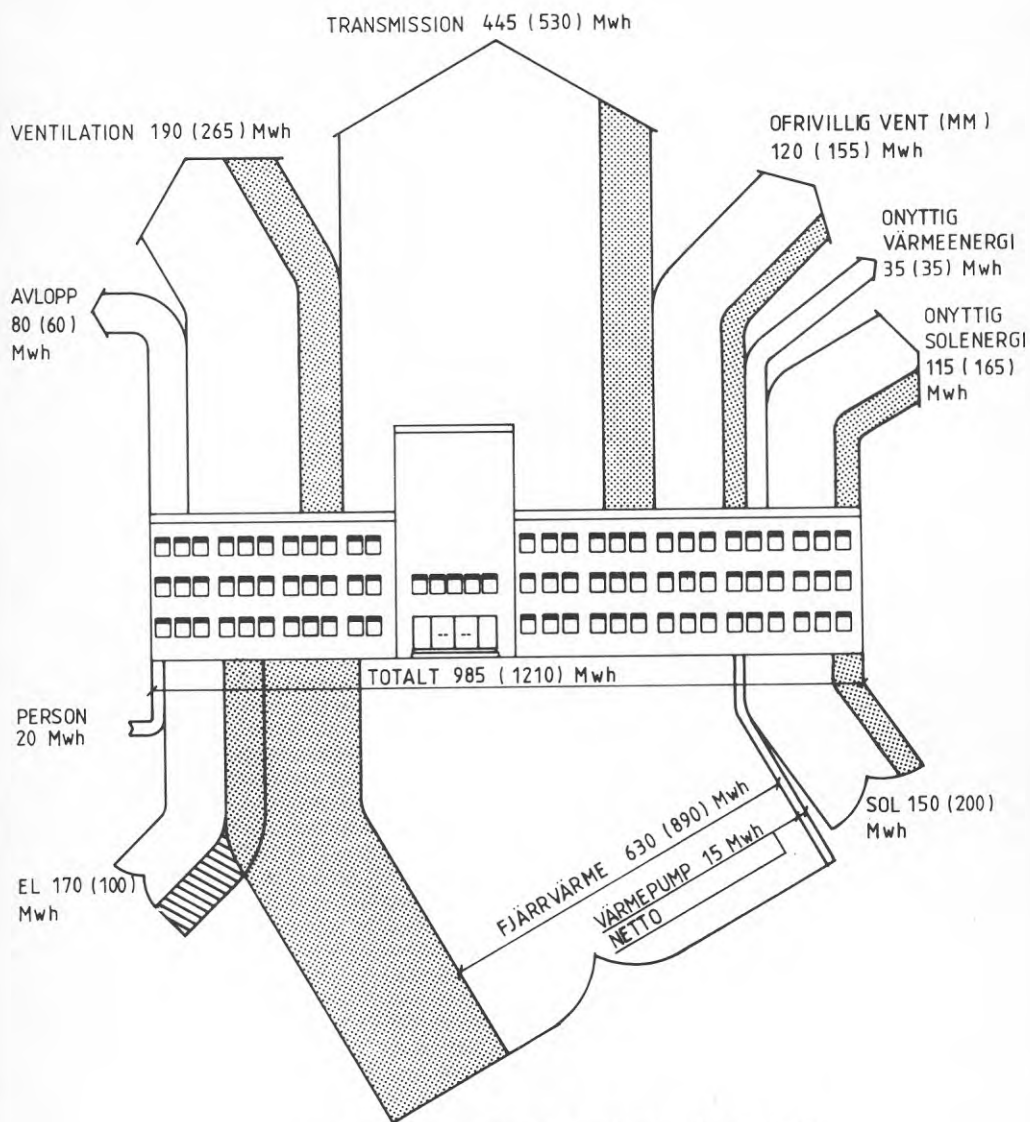
7.5 Projekt Tekniska skolan

7.5.1 Teoretisk energibalans efter åtgärdernas genomförande (83-84)

Den teoretiska energibalansen för Tekniska skolan har upprättats utifrån uppmätt, konsumerad energi och beräkning person- och solvärme samt beräkning av de olika förlustposterna. Beräkningar av förlusterna baseras på registrerade luftflöden, täthet och temperaturer samt beräknade k-värden. Energibalansen redovisas i figur 7:7, sid 106.

Tillförd energi:	Fjärrvärme	630 MWh
	El	170 "
	Sol	150 "
	Personvärme	20 "
	Värmepump (se 5.2) netto-	
	tillskott	15 "
		<u>985 MWh</u>
Avgiven energi:	Transmission	445 MWh
	Ventilation	190 "
	Avloppsvatten	80 "
	Onyttig solenergi	115 "
	Onyttig värmeenergi	35 "
	Ofrivillig vent m m	120 "
		<u>985 MWh</u>

Tidpunkten för åtgärdernas färdigställande har medgett uppföljning av besparing under 8 månader (sept -84 - april -85).



SIFFROR INOM PARENTES OCH DE SKUGGADE PILARNA
REPRESENTERAR FÖRBRUKNING INNAN ÅTGÄRDerna
GENOMFÖRTS.

Fig 7:7

Sankey-diagram över energiflöde och besparingar,
Tekniska Skolan

7.5.2 Lönsamhet

I den inom projektet utförda energiutredningen har ett antal teoretiskt sett lönsamma energiåtgärder föreslagits. Med ledning av faktiska kostnader, uppmätt energiförbrukning och utförda mätningar för fördelning av förbrukningen på olika avsnitt kan teori och verklighet jämföras.

I tabell 7.8 finns de föreslagna åtgärderna med bedömda och verkliga kostnader respektive besparingar.

TABELL 7:8

Föreslagen åtgärd	Bedömd kostnad kr	Verklig kostnad	Bedömd besparing MWh/år	Verklig besparing MWh/år	förväntad energibesparing %	Bedömd pay-off tid år	Verklig pay-off tid år
<u>Ventilationsanläggning</u>							
Injustering av ventilationsanläggning	35.000:--	45.300:--	70	75	107	2,9	3,5
Byte av två shuntgrupper med styrutrustning	se värme	-					
Tidurstyrning av tilluftsaggregaten (2 st) med tillhörande fränluftsfläktar	6.000:--	6.500:--					
<u>Värmeanläggning</u>							
Byte av två shuntgrupper med styrutrustning, ventilationsaggregat samt anslutning av tilluft till hörsalar	109.000:--	71.000:-- 45.200:-- 16.900:--	110	30*	27	6,4	25,9*
Installation av termostatter (255 st) samt montage av stamstryptviler (18 st)							
Injustering av värmesystemet	32.000:--	22.500:--					
<u>Sanitetsanläggning</u>							
Tappvarmvattencirkulationspump i undercentralerna försågs med tidurstyrning	141.000:--	155.600:--	110	30*	27	4,2	25,9*
<u>Byggnadskonstruktion</u>							
Rätning av fönster och dörrar	2.500:--	2.300:--	5	5	100	2,5	2,3
Igensättning av fönster 230 m ²	2.500:--	2.300:--	5	5	100	2,5	2,3
	27.000:--	28.300:--	70	85	121	10	12,5
	104.000:--	183.700:--					
	141.000:--	212.000:--	70	85	121	10	12,5
Totalt samtliga åtgärder	315.000:--	421.700:--	255	195**)	76	6,2	10,8

*) Energibesparing för åtgärder på värmeanläggningen har beräknats i nägoträkta omräkning, såsom uppgifterna för de följande åtgärderna. Gården som omfattas av åtgärderna endast kunnat göras under 5 månader på vintern och åtgärderna på värmeanläggningen främst syftar till att ta till vara exempelvis solenergi vår och höst.

**) Den totala energibesparingen är här ökad med 20 MWh i jämförelse med energibalansen under 7.5.1, eftersom energibesparingen för varmvatten efter ombyggnaden ökat med 20 MWh.

8 SAMMANFATTNING

Projektet avser att belysa förändringar i komfort tillsammans med tekniska/ekonomiska konsekvenser i samband med en konventionellt utförd energibyggnad i fyra olika skolfastigheter. Skolorna, som är belägna inom olika kommuner, är valda så att de byggnadstekniskt kan sägas representera olika kategorier.

8.1 Åtgärder, kostnader och lönsamhet

Energibyggnaden har utförts i stort sett på samma sätt och omfattar i stort sett samma åtgärder i de olika skolorna. Anpassning av de enskilda åtgärderna har givetvis gjorts till de lokala förutsättningarna. Energibyggnaden kan delas in i

- byggnadstekniska åtgärder (tätning, fönsterigensättning)
- ventilationstekniska åtgärder (styrning, injustering)
- värmetekniska åtgärder (styrning, injustering)
- sanitetstekniska åtgärder (styrning)

Förslag till specifika åtgärder upprättades i ett tidigt skede, varefter provningar och mätningar genomfördes. Dessa resulterade i korrigeringar av åtgärdsprogrammet. Genomgående för alla skolor kunde konstateras för resultat av genomförda mätningar

- att termografering lokaliserade otätheter, som annars inte skulle kunna upptäckas, exempelvis i skarv mellan tak och vägg.
- att ventilationsflöden generellt sett var ojämt fördelade och skilda sig kraftigt från de på ritningar angivna. Differenser på över 50% var ej ovanliga.

Kostnaderna för genomförandet av åtgärdspaketet stämde som helhet väl med de på förhand bedömda. I två fall blev dock fönsterigensättningen klart dyrare än förutsett. Detta berodde bl a på ändrat materialval. Åtgärder utfördes 1-3 år efter kostnadsbedömningen.

De kalkylerade besparingarna har inte helt uppnåtts. I genomsnitt har 75% av besparingsmålet uppnåtts till och med mars 1985.

Då resultatet från några åtgärder (fönsterigensättning i en skola, inreglering) inte ännu slagit fullt ut förväntas att besparingen kommer att öka ytterligare något.

Den genomsnittliga pay-off-tiden för åtgärderna har blivit 8,4 år mot kalkylerat 5,2 år. Det bör dock noteras att alla åtgärder - med ett undantag - skulle av energi-ekonomiska skäl genomförts om de verkliga pay-off-tiderna varit kända vid beslutstillfället. Den undantagna åtgärden skulle av komfortmässiga skäl ha genomförts.

Vid beräkning av pay-off-tid är hänsyn ej tagen till energiprisökning från 1982 fram till tiden för åtgärdens utförande.

Täthetsprovning har visat att den ofrivilliga ventilationen har minskat med värden i intervallet 15-30%. Denna täthetsförbättring skall tillgodoräknas fönsterigensättning och tätning.

Enligt genomförda enkäter säger 85% av skolans personal att åtgärderna inklusive fönsterigensättning kunnat genomföras utan att problem skapats i skolarbetet.

Enbart 4% av personalen anser att den minskade fönsterarean förändrat klassrummet till det sämre.

	Hagabergs- skolan Lindesberg	Malmens skola Kumla	Trojenborgs- skolan Skänninge	Tekniska skolan Katrineh
Byggnadsår	-68, -73	-57	-64, -75	-60
Byggnadskonstruktion	Lätt	Tung	Tung	Tung
Antal plan	1	1-3	1-2	3
Glasyta före åtgärd	Normal	Normal	Stor	Stor
Uppvärmad yta m ²	2.640	3.640	5.000	4.900
Energiförbrukning (inkl el) före åtgärder				
MWh	730	850	1.115	990
kWh/m ²	277	234	223	202
Energiförbrukning (inkl el) efter åtgärder				
MWh	610	735 ^{*)}	955	770
kWh/m ² (inkl el)	231	198	191	166
Besparing	<u>16%</u>	<u>15%</u>	<u>14%</u>	<u>20%</u>
Åtgärdskostnad				
Verklig	243.000	342.000	344.000	421.000
Bedömd	243.000	327.000	255.000	315.000
Besparing				
Byggnadsåtg MWh	37	65	65	85
Vent åtg MWh	40	15	70	75
Värmeåtg MWh	35	30	15	30
Sanitetåtg MWh	8	5	10	5
Pay-off-tid				
Verklig	6,4	9,6	6,9	10,8
Bedömd	4,5	5,6	4,3	6,2

*) Energiförbrukningen är här uppräknad med 15 MWh för att en jämförelse skall vara möjlig med energiförbrukningen före åtgärder. (Antal matportioner är reducerat efter åtgärder)

8.2 Komfort

Termisk komfort är ett uttryck för den samlade upplevelsen av temperatur, fukt, drag och strålning i ett temperaturreglerat utrymme. Den termiska komforten bestäms förutom av nämnda yttre betingelser även av klädsel och människans aktivitet (egen värmeutveckling). Den termiska komforten kan dels mätas med instrument, dels fångas upp som resultat av den berörda personalens subjektiva uppfattning.

Nedan redovisas i tabellform förändringen i komfort i samband med energiombyggnad. Det bör noteras att den subjektiva bedömningen före och efter åtgärderna är gjord med 1 års intervall och att det inte är samma individer som bedömt komforten i de båda fallen.

För det uppmätta värdet för komfort (PMV) kan sägas att ett acceptabelt värde ligger i intervallet $-0,5 < PMV < 0,5$.

	Hagabergsskolan Lindesberg		Malmens Skola Kumla	
	Före åtgärder	Efter åtgärder	Före åtgärder	Efter åtgärder
Inomhustemp (snitt)	22°C	20,7°C	19,4°C	21,6°C
PMV (snitt)	-0,1	0	-0,7	-0,2
Subjektiv bedömning av lärare och elever		Bättre		Bättre
	Trojenborgsskolan Skänninge		Tekniska Skolan Katrineholm	
	Före åtgärder	Efter åtgärder	Före åtgärder	Efter åtgärder
Inomhustemp (snitt)	18,8°C	21,1°C	20,1°C	21,6°C
PMV (snitt)	-0,8	-0,3	-0,7	-0,1
Subjektiv bedömning av lärare och elever		Bättre		Lika

Av ovanstående framgår att genomsnittstemperaturen vardagar 09-15 har i tre fall av fyra höjts efter energiombyggnad.

Den uppmätta komforten har i samtliga fall blivit bättre.

Den subjektivt upplevda komforten har genomsnittligt förbättrats.

För samtliga skolor har konstaterats att komforten kunnat förbättras när lönsamma energibesparande åtgärder utförts.

LITTERATUR

Källblad K, Adamson B, BKL-metoden, Byggnaders energibalans - en handberäkningsmetod, Byggeforskningen, Rapport R19:1984

Nylund, P O, Tjyvdrag och ventilation, Byggeforskningen, Rapport T4:1979

Fanger P O, 1973, "Thermal Comfort", McGraw-Hill Book Company, New York

BILAGA 1

BILDER FRÅN FÖNSTERIGENSÄTTNING

Skola: Hagabergsskolan, Lindesberg
Byggnad: Å
Fasad: Ost



Före ombyggnad



Efter ombyggnad

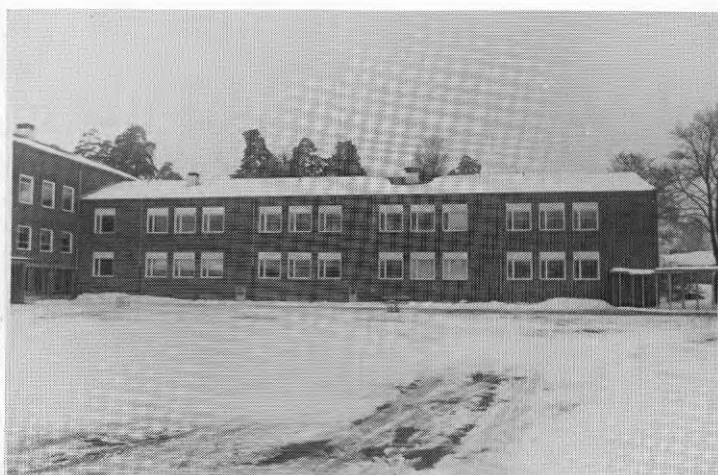
BILAGA 2

BILDER FRÅN FÖNSTERIGENSÄTTNING

Skola: Malmens Skola, Kumla



Före ombyggnad



Efter ombyggnad

BILAGA 3

BILDER FRÅN FÖNSTERIGENSÄTTNING

Skola: Trojenborgsskolan, Skänninge



Före ombyggnad



Efter ombyggnad

BILAGA 4

BILDER FRÅN FÖNSTERIGENSÄTTNING

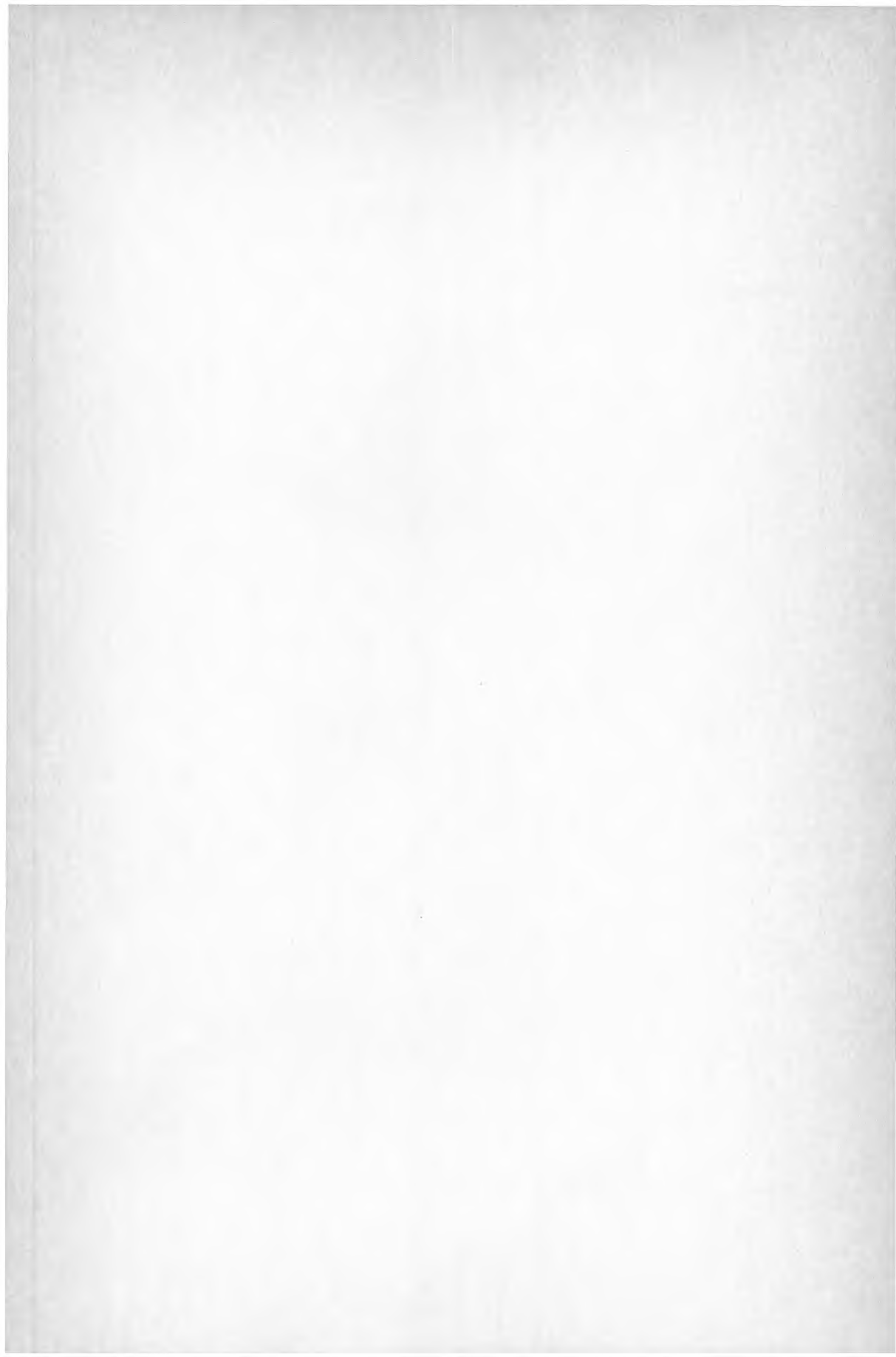
Skola: Tekniska Skolan, Katrineholm



Före ombyggnad



Efter ombyggnad



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820489-4, 821127-2, 820552-6 och 821227-4 från Statens råd för byggnadsforskning till fastighetskontoren i Katrineholm, Mjölby, Lindesberg och Kumla kommuner.

Art.nr: 6706048

Abonnemangsgrupp:
T. Fastighetsförvaltning
W. Installationer

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

R48: 1986

ISBN 91-540-4561-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Cirkapris: 40 kr exkl moms