



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.



REINHOLD LARSSON
STEFAN OLSSON

Inneklimat i skolor

R15: 1993

Åtgärder i skolor i Växjö

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129256

 BYGGFORSKNINGSRÅDET

R15:1993

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
VÄG- OCH VATTENBYGGNAD
BIBLIOTEKET

INNEKLIMAT I SKOLOR

Åtgärder i skolor i Växjö

Reinhold Larsson
Stefan Olsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 89 00 46-4 från Statens råd för byggnadsforskning till Växjö kommun.

REFERAT

Växjö kommun har med stöd från Byggforskningsrådet och med FLK AB i Växjö som projektledare drivit projektet "Inneklimat i skolor" under åren 1989-1992. Projektets syfte har varit att klarlägga installationssystemens inverkan på inneklimatet i lärosalar före och efter åtgärder.

Föreliggande rapport beskriver resultaten av mätningar och enkäter före och efter genomförda åtgärder samt de vidtagna åtgärderna. Dessutom ges rekommendationer för projektering av klimatsystem i lärosalar.

Byggforskningsrådets skrift T26:1992 är en vägledning för ny- och ombyggnad av skolor som delvis bygger på de erfarenheter som gjorts i detta projekt.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R15:1993

ISBN 91-540-5530-X
Byggforskningsrådet, Stockholm

Innehåll

Inledning	4	
Sammanfattning och slutsatser	5	
Rekommendationer	7	
1	Beskrivning av skolorna (före åtgärder)	8
2	Mätningar/enkäter före åtgärd - sammanfattning	10
3	Åtgärder	19
4	Mätningar/enkäter efter åtgärder	21
4.1	Fagrabäckskolan	21
4.1.1	Termiskt klimat	25
4.1.2	Luftkvalitet	32
4.2	Katedralskolan	43
4.2.1	Örebroenkäten	43
4.2.2	SMB-analys	49
4.2.3	Termiskt klimat/luftkvalitet	50
4.3	Bokelundskolan	53
5	Referenslista	54
Bilagor		
1	Mätinstrument och mätprogram	
2	SMB-analys av tre klassrum vid Katedralskolan (april 1990)	
3	Utvärdering (SMB-analys) efter ombyggnad vid Katedralskolan (april 1991)	

Inledning

Växjö Kommun har med stöd från Byggforskningsrådet och med FLK AB i Växjö som projektledare drivit projektet "Inneklimat i skolor" under åren 1989-1992. Statens Provninganstalt (SP) i Borås har varit ansvariga för mätningar och utvärdering i nära samarbete med FLK.

Syftet med projektet har varit att klarlägga installationssystemens inverkan på inneklimatet i lärosalar före och efter åtgärder.

Under läsåret 1989/1990 gjordes omfattande mätningar och enkäter för att fastlägga utgångsläget. Resultatet av denna inventering finns beskrivet i en separat rapport hos Byggforskningsrådet med projektnumret 89 00 46 - 4 "Inneklimat i skolor".

Sommaren och delar av hösten 1990 användes till att genomföra åtgärder i skolorna. I en av skolorna installerades ventilationsutrustning för att man skulle kunna utvärdera olika inblåsningssystem, luftflöden, temperaturer m m. I en annan skola satsade man på att skapa ett tilltalande visuellt klimat med bl.a. nya väggfärger, nya möbler och nya fönster.

Efter åtgärder gjordes förnyade mätningar och enkäter. Denna rapport beskriver resultaten av mätningar och enkäter före och efter genomförda åtgärder samt de vidtagna åtgärderna. Dessutom ges rekommendationer för projektering av klimatsystem i lärosalar.

Under hösten 1992 har Byggforskningsrådet givit ut en vägledning för ny- och ombyggnad av skolor som heter "Bra innemiljö i skolan" T26:1992. Denna vägledning bygger delvis på erfarenheter som gjorts i detta projekt.

Den referensgrupp som har följt projektet är följande:

Nina Dawidowicz, Byggforskningsrådet
 Tomas Nilsson, SP
 Hans Gulliksson, FLK AB
 Ulf Holmquist, Växjö Kommun
 Sven Andersson, Malmö Kommun
 Marie Hult, Stockholms kommun
 Ewa Rydén, Boverket
 Anders Svensson, Stifab
 Lennart Magnusson, Brüel & Kjaer
 Leif Norell, Fläkt Indoor Climate
 Per Andréén, Landstinget Kronoberg

Sammanfattning och slutsatser

Före åtgärder

De viktigaste resultaten från den inledande inventeringen var följande:

- **höga lufttemperaturer** inomhus (vinter +24 °C, vår och höst +30 °C).
- **låga lufthastigheter** i rummet (<0.1 m/s).
- **låga halter** av flyktiga organiska ämnen, VOC (<100 µg/m³).
- **relativt höga koldioxidhalter** (endast en av skolorna hade lägre koldioxidhalt än 1000 ppm).
- **låga halter av formaldehyd** (<40 µg/m³).
- **låga halter av radon** (<40 Bq/m³ dock en skola 140 Bq/m³).
- **ingen onormal förekomst av mögel.**
- **hög förekomst av katthår och damm.**

Mätningar och enkäter före åtgärder visar att det mest påtagliga problemet i de undersökta skolorna är en för hög lufttemperatur (ekvivalent temperatur = upplevd temperatur).

Detta beror framför allt på:

- **dåligt fungerande termostatventiler på radiatorer.**
- **brist på solavskärmning.**
- **låga tilluftsflöden med höga tilluftstemperaturer.**
- **låga lufthastigheter i rummet**

Åtgärder

I Fagrabäckskolan försågs ett klassrum med eget luftbehandlingsaggregat och med olika typer av inblåsningssystem. Med denna utrustning gavs möjligheter att studera effekten av olika luftflöden, tilluftstemperaturer, tilluftssystem m m i en verklig miljö där undervisning bedrivs i normal omfattning.

Strategin inför åtgärderna på Katedralskolan var att åtgärda den visuella miljön och att byta fönster och möbler men att inte göra något åt ventilationen, eftersom denna var acceptabel från början.

Huvuddelen av åtgärderna koncentrerades till Fagrabäck- och Katedralskolan. I den tredje skolan, Bokelundskolan, gjordes endast en begränsad insats i form av installation av solavskärmningar.

Efter åtgärder

Mätresultaten efter åtgärder visar att det inte finns ett entydigt svar på vilken typ av inblåsningssystem som alltid ger bäst ventilation av närzonen. Oavsett vilken inblåsningssystem som används visar våra mätningar att i en med människor normalbelastad lärosal blir ventilationen oftast omblandad, (luftutbyteseffektivitet ca 50%). Tendens till kolvströmning (deplacerande ventilation) har vi noterat både med takdon och lågimpulsdon.

Vi har kunnat konstatera att under vinterförhållanden (stängd radiatortermostat pga tillräckligt hög lufttemperatur och kalla fönster) fås en något högre koldioxidhalt i närzonen med lågimpulsdon och golvlinsespridare än med takdon (luftflöde ca 8 l/s och person). Vid varm väderlek då yttemperaturen på fönstren är högre än lufttemperaturen ger lågimpulsdon lägre koldioxidhalt i närzonen än vad takdon gör.

Egenkonvektion kring människorna liksom yttemperaturen på fönsterytorna har, enligt våra mätningar en stor inverkan på lufrörelserna i lärosalen. Eftersom fönsterytan i en lärosal normalt är stor (ofta $>10\text{m}^2$) har yttemperaturen på fönsterytan en stor betydelse för lufrörelserna i rummet på grund av den konvektion som upp-kommer. Det konvektiva luftflöde som fönstren orsakar kan uppgå till nästan samma storleksordning som det luftflöde som tillförs rummet med ventilationsanläggningen. Vi menar att typen av fönster (u-värde) bör beaktas vid val av tilluftssystem.

Betydligt viktigare än typen av tilluftssystem är tilluftflödets storlek och temperatur. Med ett luftflöde motsvarande 8 l/s och person och en tillufttemperatur 3-5 °C under lufttemperaturen i rummet klarar man en koldioxidhalt på 1000 ppm i närzonen.

En nödvändig åtgärd för att begränsa lufttemperaturen är att avskärma solinstrålningen. Likaså visar våra undersökningar att rätt fungerande maxbegränsade termos-taventiler på radiatorer, låg tilluftstemperatur samt utnyttjande av sval nattluft för att kyla ner byggnaden är nödvändigt för att inte lufttemperaturen skall bli för hög. En åtgärd som också har visat sig vara effektiv och populär är att installera en cirkulationsfläkt i taket som styrs av elevena/läraren själva och som ser till att lufthastigheten inte blir för låg.

Rekommendationer

Genom de omfattande mätningar som genomförts och de resultat som erhållits på främst Fagrabäckskolan i Växjö kan vi summera projektet med följande rekommendationer inför både ny- och ombyggnad av lärosalar.

- Använd både enkäter och mätningar vid inventeringar av innemiljön.
- Tilluftsflödet skall vara minst 8 l/s och person för att erhålla acceptabla koldioxidnivåer (1000 ppm). För att komma ner till 800 ppm koldioxidhalt behöver luftflödet ökas ca 50 % till ca 12 l/s och person. Detta förutsätter att koldioxidhalten i tilluften är max 375 ppm.

Vid läckage i ventilationsaggregatet kan frånluften "smutsa" ner tilluften så mycket att koldioxidhalten i tilluften blir betydligt högre, vilket då erfordrar ännu större tilluftsflöden.

- Tilluftstemperaturen begränsas till lägsta möjliga för att erhålla högsta möjliga luftutbyteseffektivitet och kyleffekt max +18 °C, så länge detta är möjligt med tanke på uttemperaturen.
- Takdonsbaserat tilluftssystem tycks fungera bäst med fönster med högt U-värde (2-glas). Golvplacerade lågimpulsdon tycks fungera bäst med fönster med lågt U-värde (3-glas)
- Antalet tilluftsdon bör vara minst 2 st för att erhålla en tillräckligt bra spridning.
- Termostatventiler maxbegränsas, skall ej kunna ge över 20 °C lufttemperatur.
- Solavskärmning nödvändig för att kunna begränsa lufttemperaturen (yttre solavskärmning, automatisk mot öster)
- Utnyttja sval nattluft till att kyla ner byggnadsstommen (nattkyla).
- Använd takmonterad cirkulationsfläkt för att påverka lufthastigheten i rummet. Fläkten skall kunna styras av elever och lärare.

1 Beskrivning av skolorna (före åtgärder)

Vi valde ut tre skolor med olika byggnadskonstruktion, olika ventilations- och värmesystem och olika ålder på eleverna (låg- och mellanstadium, högstadium samt gymnasium). Eftersom studien var tänkt att studera inneklimat i skolor ur ett generellt perspektiv i lärosalar valdes inte skolorna p.g.a. eventuella egna specifika problem. I detta kapitel presenteras de valda skolorna.

Fagrabäckskolan

Denna högstadieskola med lätt tegelklädd stomme i två plan byggdes 1966. Mellanväggarna och korridorväggen är byggda i tegel. Bjälklagen är av betong.

Lärosalarnas golvyta är 59 m^2 . Takhöjden är 3.2 m vilket ger volymen 190 m^3 per sal. Antalet elever i lärosalarna är ca 15 vid halvklass och 25-30 vid helklass.

Uppvärmning sker med ett vattenburet system med termostatstyrda radiatorer. Ventilationen är balanserad med en central tilluftsfläkt med inblåsning bakom radiatorerna och separata frånluftsfläktar med en frånluftsventil i varje lärosal. Värmeåtervinning finns inte.

Styrprincipen för ventilationen är konstant tilluftstemperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Vaktmästaren sätter manuellt på fläktarna 07.00 och stänger av dem 16.00 på vardagar. Övrig tid är ventilationen avstängd. Tilluftssidan är försedd med ett grundfilter.

I Fagrabäckskolan valdes två klassrum ut för studien. Bägge klassrummen ligger på plan 1 i en flygel som ligger nära en mycket trafikerad väg och rondell. Det ena klassrummet har fönstren mot öster och det andra mot väster. Fönstren är av 2-glastyp och har en yta på ca 12 m^2 .

Katedralskolan

Katedralskolan är en gymnasieskola, med tung stomme i två plan, som byggdes 1958. Golvytan i lärosalarna är 59 m^2 och takhöjden 3,2 m. Detta ger en rumsvolym på 190 m^3 . Antalet elever i lärosalen är ca 30 st.

Uppvärmning sker med ett vattenburet värmesystem med termostatstyrda radiatorer. Skolan ventileras med ett till- och frånluftssystem med ett takplacerat luftbehandlingsaggregat. Värmeåtervinning sker med en roterande värmeväxlare och på tilluftsidan finns ett filter med klassen F45. I varje klassrum tillförs tilluften med två takdon och frånluften sugts ut via frånluftsdon placerade i takvinkeln. Ventilationssystemet installerades 1977 i samband med ett tillbygge av skolan.

Ventilationen styrs enligt principen konstant tilluftstemperatur ca $20 \text{ }^\circ\text{C}$ och med tidur. Fläktarna är i drift vardagar 04.00 till 21.00. Övrig tid är ventilationen avstängd.

I Katedralskolan valdes tre klassrum som finns på plan 1 i en flygel mot söder. Klassrummen har fönster mot resp. öster, söder och väster. Fönstren var av 2-glastyp och hade en yta på ca 10 m^2 per klass före ombyggnad.

Bokelundskolan

Detta är en låg- och mellanstadieskola byggd i ett plan enligt Skolöverstyrelsens direktiv 1968 en s.k. BASK-skola. Byggnadsstommen är av lätt typ med platt tak.

Lärosalarna för mellanstadiet har en golvyta på 75 m². Takhöjden är 2,9 m vilket ger volymen 218 m³ per lärosal. Varje lärosal används av 20 - 25 elever. Lågstadiets lärosalar är ca.170 m³. Fönstren är av 2-glaskonstruktion. Den totala fönsterytan är ca 12 m² per lärosal.

Uppvärmning sker med luft som värmebärare. Luften distribueras via ett aggregat med återluftsdel. Ventilation sker genom att tillföra uteluft i återluftsdelen. Till för några år sedan användes återluft (ca 70 %). Numera används återluft endast under de kallaste vinterperioderna när värmebatterierna i aggregatet inte räcker till.

Luftbehandlingsaggregaten är placerade i källaren med knapp ståhöjd! Detta är en mycket dålig placering ur drift- och underhållssynpunkt. Varje aggregat försörjer fyra lärosalar. Inblåsning sker med ett takdon placerat mitt i rummet. Frånluften sugts ut genom en spalt en meter ovan golv vid fönstret, vidare ner i källaren (grunden) och ut till aggregatet där en frisugande fläkt distribuerar frånluften ut över yttertak (återluftsspjället är stängt). Via överluft från lärosalarna ut till kapprummet ventileras toaletterna med separat frånluftsfläkt.

Ventilationen/uppvärmningen styrs med rumstermostat och tidur. Mellan 05.00 och 22.00 går fläktarna på helfart och övriga tider på halvfart.

På Bokelundskolan valdes två klassrum placerade vid en gavel. Klassrummen har fönster mot öster resp. väster.

2 Mätningar/enkäter före åtgärd - sammanfattning

Under läsåret 1989/90 gjordes mätningar och enkäter för att klarlägga inneklimatets status. En sammanfattning av de viktigaste resultaten från denna inventering framgår av följande (en mer detaljerad rapport finns tillgänglig hos BFR projektnummer 89 00 46 - 4 "Inneklimat i skolor").

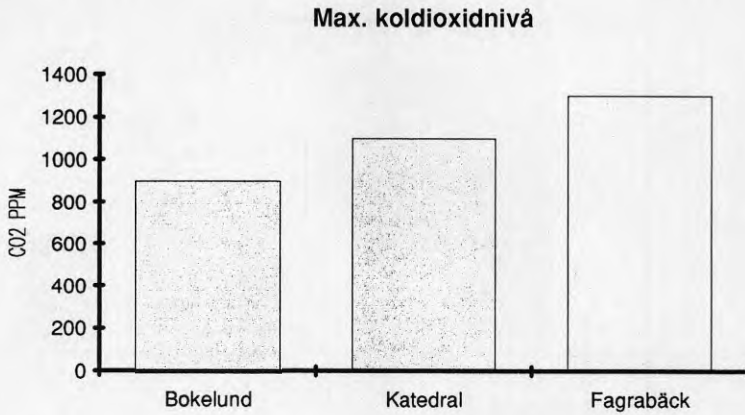
Mätningar

Samtliga mätningar är gjorda med normalt antal lärare och elever i salen under normala lektioner. Mätningarna genomfördes under höst, vinter och vår. De mätningar som utfördes är följande:

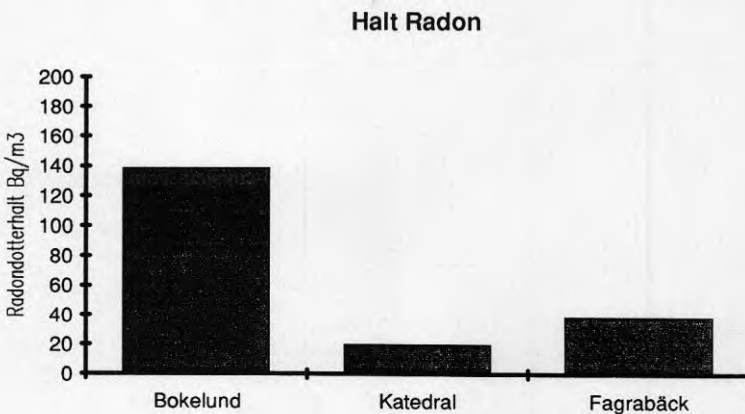
- Termiskt klimat (lufttemperatur, yttemperaturer, luftfuktighet, lufthastighet)
- Luftkvalitet VOC (flyktiga organiska ämnen), koldioxid, formaldehyd, radon, mögel)
- Luftutbyteseffektivitet
- Luftflöde
- Belysning
- Ljud
- Elektrostatisk uppladdning
- Dammanalys (kontroll av förekomst av kvalster m m)

Nedan presenteras de viktigaste resultaten av mätningarna före åtgärder.

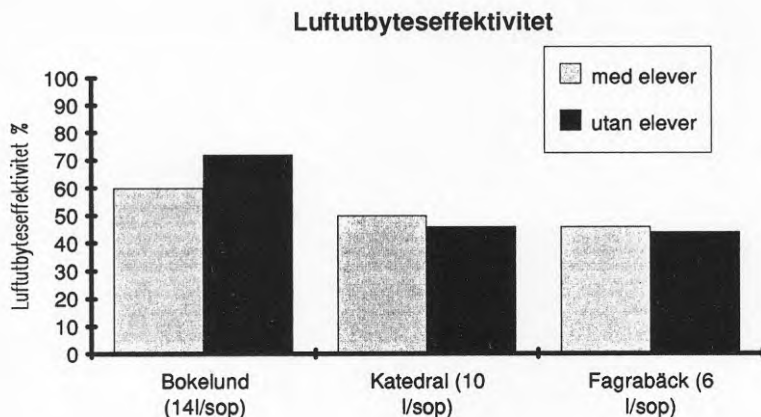
- Termiskt klimat: **höga lufttemperaturer** (vinter +24 °C, vår, höst +30 °C)
- låga lufthastigheter** (≤ 0.10 m/s)
- Luftkvalitet: **låga totalhalter av VOC** ($\leq 100\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 Rek. högsta totalhalt är $200\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- låga halter av formaldehyd** ($< 40\mu\text{g}/\text{m}^3$). Gränsen för sanitär olägenhet är $250\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- ingen onormal förekomst av mögel**



Figur 2.1. Höga halter av CO₂, dock inte katastrofalt höga. Socialstyrelsen har satt en gräns för sanitär olägenhet till 1000 ppm CO₂.

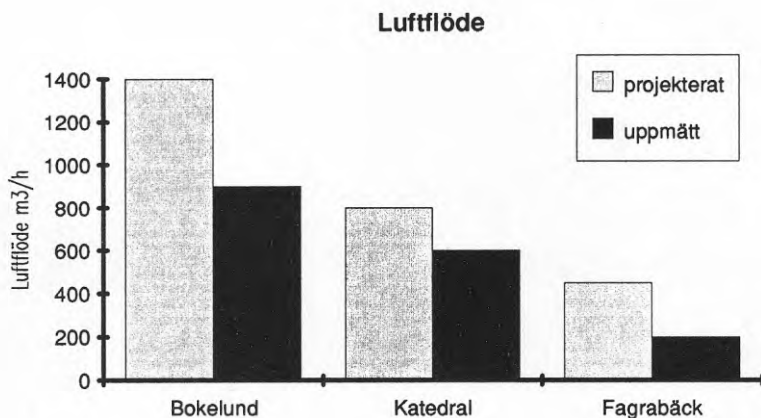


Figur 2.2. Uppmätt radonhalt i resp. skola. Socialstyrelsens gränsvärde i befintliga byggnader är 200 Bq/m³.



Figur 2.3. Luftutbyteseffektiviteten före åtgärder i resp. skola.
Inblåsningstemperatur 2 -3 °C lägre än lufttemperaturen i rummet.

Resultaten från mätningarna av luftutbyteseffektiviteten tyder på att det blir mer omblandning av luften vid belastad än vid obelastad skolsal oberoende av typ av ventilationssystem.



Figur 2.4. Uppmätt luftflöde i resp. skola. Kravet i SBN80 var 5,5 l/s och person och de nuvarande kraven enligt Nybyggnadsreglerna är 5 l/s och person. Att notera är att de uppmätta luftflödena är klart lägre än de projekterade.

- Belysning:** Samtliga tre skolor har lysrör med för lågt färgåtergivningstal. Mörka bänkytor och mörk golvmatta ger för hög luminansfördelning i Bokelund resp. Katedral. I övrigt acceptabla värden.
- Ljud:** Efterklangtid 0,8 - 1,0 sekunder vilket är något högt. Ljudnivån acceptabel förutom på Fagrabäckdär 44 dB(A) har mätts upp. Orsaken är störande trafik. Ljud från ventilationsanläggningar: (infraljud dB(C)) ligger på en acceptabel nivå i samtliga tre skolor.
- Elektrostatisk uppladdning:** ej besvärade
- Dammanalys:** kvalster - **mycket låg** förekomst
hundhår - **ingen** förekomst
kathår - **hög** förekomst

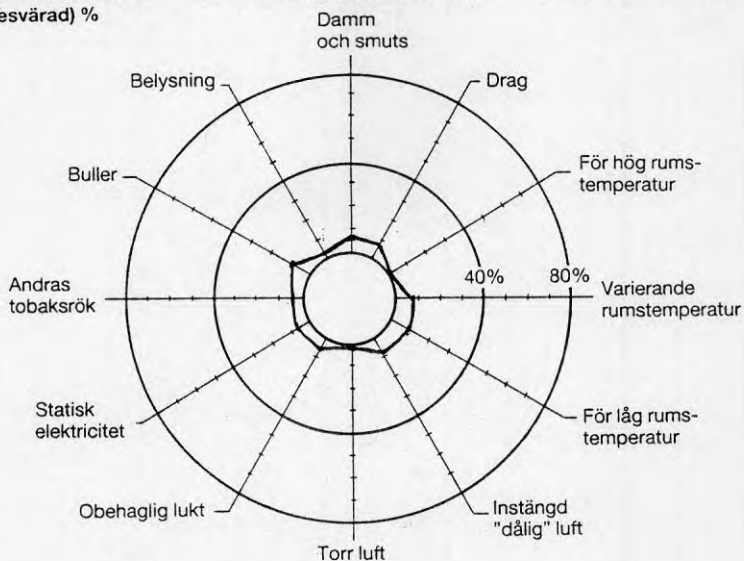
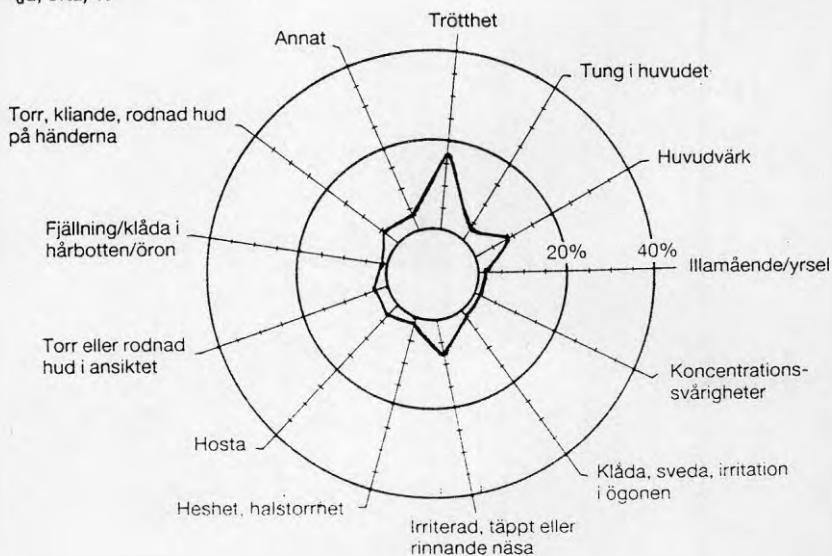
Enkäter

På Fagrabäck- och Katedalskolan genomfördes "Örebro-enkäten" som visar elever och lärares subjektiva upplevelser av olika miljöfaktorer i skolmiljön. På Katedralskolan genomfördes även en enkät om det visuella klimatet en s.k. SMB-analys (Schematisk MiljöBeskrivning) som har utvecklats vid Miljöpsykologiska Avdelningen vid Lunds Tekniska Högskola.

INOMHUSKLIMAT Elevenkät MM 060 NA

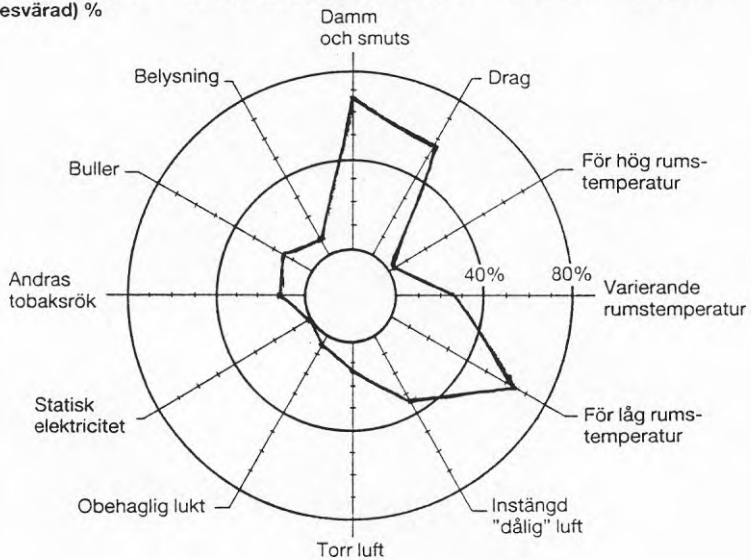
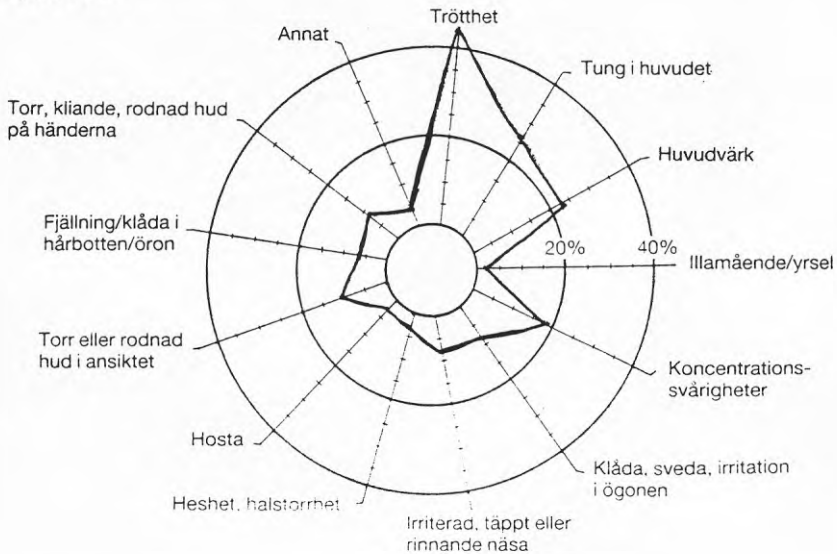
MILJÖFAKTORER
(ofta besvärad) %

FAGRABÄCKSKOLAN elever n = 77

BESVÄR/SYMTOM
(ja, ofta) %

Figur 2.5. Resultat av Örebroenkäten i Fagrabäckskolan (nov. 1989).

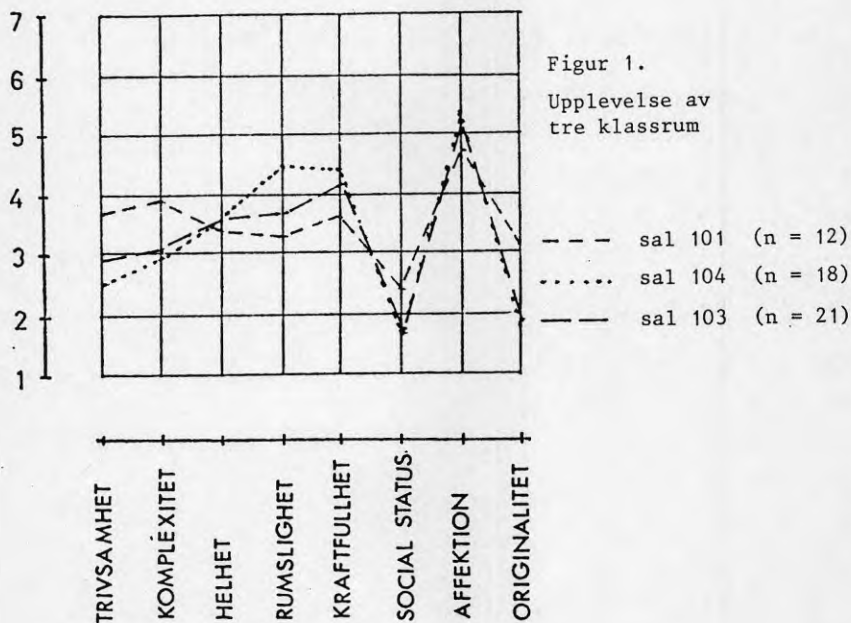
INOMHUSKLIMAT Elevenkät MM 060 NA

MILJÖFAKTORER KATEDRALSKOLAN elever n = 65
(ofta besvärad) %BESVÄR/SYMTOM
(ja, ofta) %

Figur 2.6. Resultat av Örebroenkäten i Katedralskolan (nov. 1989).

Örebroenkäten tyder på att det är mer miljöproblem på Katedralskolan än på Fagrabäckskolan. Mätningar av inneklimatet visar dock att Fagrabäckskolan har sämre miljö än Katedralskolan. Mätningarna och Örebroenkäten motsäger alltså varandra.

På Katedralskolan genomfördes även en s.k. SMB-analys som beskriver hur en grupp personer upplever en viss plats i detta fall ett klassrum. Resultatet av denna enkät pekade på att den visuella miljön borde åtgärdas bl.a. därför att trivsamtalen var låga.



Figur 2.7. Resultat av SMB-analys i Katedralskolan före åtgärd.

Mätningar i laboratoriemiljö

I STIFAB's laboratorium i Tomelilla i Skåne byggdes ett rum som motsvarar ett ordinarie klassrum. I detta rum provades tre olika sätt att tillföra luft vid olika flöden. Genom att ändra ytemperaturen på en vägg kunde både sommar- och vinterfallet studeras. Människor simulerades med spirokanal och glödlampa. Mätningar genomfördes även med en skolklass som hade ordinarie lektioner i provrummet.

STIFAB drar bl.a. följande slutsatser av laboratorieförsöken:

- Endast omblandande system (takdon) kan under de provade betingelserna uppfylla kravet på såväl termisk komfort som luftkvalitet.
- Ett deplacerande system (lågimpulsdon vid golv) kan i större utsträckning uppfylla kravet på luftkvalitet.
- Ett deplacerande system med kyld tilluft uppfyller ej kravet på termisk komfort.

Se vidare artikel i Energi & Miljö nr 12 1990.

3 Åtgärder

Med resultatet från genomförda mätningar och enkäter som grund blev den övergripande strategin inför ombyggnaden att förhindra för höga lufttemperaturer (ekvivalent temperatur = upplevd temperatur). Det mest påtagliga problemet i skolorna visade sig ju vara just för höga lufttemperaturer.

I Katedralskolan visade mätningar och enkäter inte överensstämmelse. Mätningarna visade att det inte borde vara något problem med inneklimatet, vilket i stället framkom i Örebroenkäten. SMB-analysen pekade på att det visuella klimatet var undermåligt.

Fagrabäckskolan

Inneklimatet i Fagrabäckskolan var inte acceptabelt enligt mätningarna, dock visade enkäten att eleverna inte upplevde några stora problem. Det fåtal lärare som fick enkäten hade dock påtalat vissa problem som överensstämde med mätresultatet t.ex. höga lufttemperaturer.

Den ursprungliga tanken i projektet var att någon eller några av de i STIFAB's laboratorium testade systemen skulle byggas in i en befintlig skola så att testning skulle kunna ske "på fältet". Med detta som bakgrund genomfördes följande åtgärder på Fagrabäckskolan i ett klassrum:

- Eget luftbehandlingsaggregat (med steglös flödesreglering)
- Tre inblåsningssystem (takdon, lågimpulsdon vid golv samt golvlinjespridare)
- Yttre solskydd (markis med automatik för styrning med hänsyn till sol och vind)
- Nattkyla (styrfunktion för ventilationen som innebär att rummet kyls med sval nattluft)
- Cirkulationsfläkt i taket (manuellt styrbar i klassrummet)
- Möjlighet till forcering av luftflödet (i klassrummet)
- Kontroll av termostatventiler på radiatorer

Tre olika inblåsningssystem med möjlighet att steglöst ändra luftflödet innebär att jämförande mätningar på inneklimatet kan genomföras. Golvlinjespridare är ett utdraget lågimpulsdon utefter en långvägg i klassrummet med cirka 50 cm höjd.

Yttre solskydd och nattkyla innebär att effekten på rumstemperaturen kan mätas. Likaså innebär den manuellt manövrerbara cirkulationsfläkten att den ökade lufthastighetens effekt på avkylning av människan kan studeras.

Katedralskolan

Innemiljön på Katedralskolan upplevs inte som tillfredsställande, dock visar mätningarna på acceptabla luftflöden, koldioxidhalt och temperatur. Det som präglar den dåliga miljön är, enligt vår uppfattning, det bristande underhållet, att städningen inte räcker till samt dåliga otäta fönster som orsakar drag.

De tre klassrum och ett grupprum som ingår i denna studie försågs med följande:

- nya täta öppningsbara fönster med minskad glasarea (reduktion av fönsterytan med ca 30 % för att minska solinstrålning, vilket ger tillräckligt med dagsljus ändå)
- ny ljus golvbeläggning (i stället för mörk befintlig matta)
- nymålade väggar och tak
- nya ergonomiskt utformade möbler

I samband med ovan presenterade åtgärder lades speciell vikt vid att belysning, färgsättning och akustik skulle bli bra.

På Katedralskolan gjordes alltså i huvudsak åtgärder för att förbättra den visuella miljön. Det 12 år gamla ventilationssystemet behölls intakt, dock genomfördes följande åtgärder:

Kontroll av luftflöden (samma luftflöde som före åtgärder ca 600 m³/h), rensning av tilluftskanaler och aggregat (det var endast lite smuts), installation av rensluckor på tilluftskanaler samt installation av styrfunktionen nattkyla. Dessutom utfördes följande åtgärder (lika Fagrabäckskolan): installation av takmonterad cirkulationsfläkt, installation av golvlinspridare, yttre automatisk solavskärmning samt kontroll av termostatventiler på radiatorer.

Bokelundskolan

Bokelundskolan har ett acceptabelt inneklimat att döma av mätresultaten. Örebroenkäten användes ej på grund av att eleverna är för unga (låg- och mellanstadium).

För att begränsa temperaturen inomhus har följande åtgärder vidtagits:

- Yttre automatiskt solskydd (ett klassrum)
- Installation av styrfunktionen nattkyla (fyra klassrum)

4 Mätningar/enkäter efter åtgärder

4.1 Fagrabäckskolan

Förutsättningar

Genom den ombyggnad av ventilationssystemet som gjorts i sal F14, Fagrabäckskolan, har stora möjligheter öppnats för att finna ett lämpligt ventilationssystem till denna typ av lokal och verksamhet. Förutom att man haft möjlighet att välja den inblåsningsprincip som kan vara lämplig för klassrummet har man också haft möjlighet att styra till- och frånluftsflödets storlek liksom tilluftens temperatur. Användandet av solavskärmningen och den friblåsande takfläkten förstärker också möjligheterna att styra klimatet i det aktuella klassrummet.

Tankarna bakom de möjligheter som de olika driftfallen skapat, har varit att finna ett lämpligt inblåsningssystem till en skollokal där kraven på det termiska och lufthygieniska inneklimatet uppfylls.

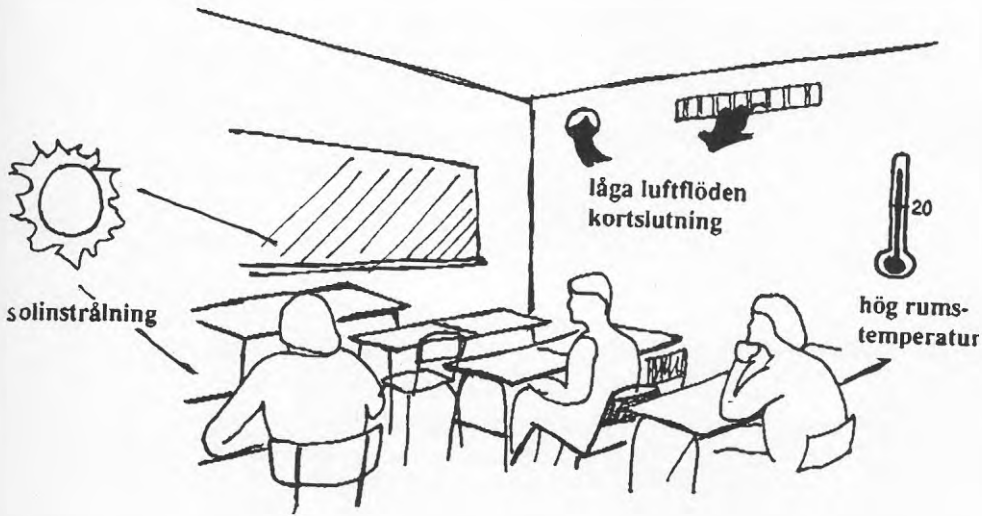
För att kunna utvärdera möjligheterna med olika inblåsningsprinciper, olika luftflöden, temperaturnivåer, solavskärmning och takfläkt, måste vissa begränsningar göras både av tidsskäl och kostnadsskäl.

Det finns också andra orsaker som automatiskt begränsar valfriheten av systemtyp. Samtliga mätningar efter ombyggnaden har skett med belastad lokal, dvs alla elever och lärare har befunnit sig i lokalen och bedrivit normal verksamhet. I och med att lokalen varit belastad, begränsar man automatiskt temperaturområdet på inblåsningssluf-ten och även till viss del det maximala luftflödet.

Ett enormt lågt luftflöde till lokalen är i dessa sammanhang ointressant, eftersom man redan tidigare har erfarenheterna att luftflödet bör vara minst 5-6 l/s och person. Likaså gäller att ett allt för högt luftflöde inte är möjligt på grund av bland annat dragproblem och större kostnader.

När det gäller temperaturerna är det svårare att avgöra på vilken nivå dessa skall ligga, dvs både inblåsningstemperatur och temperaturnivån i klassrummet. Det är tidigare känt genom olika forskningsrapporter, (bla av D. Wyon på SIB) hur människans aktivitet och mentala prestation påverkas av temperaturnivåerna.

Dessa undersökningar visar att redan en temperaturhöjning i en lokal på 2 - 3 °C över optimal rumstemperatur ger en försämrad arbetstakt på upp till 25 %. Den mentala prestationen minskar vid motsvarande temperaturhöjning med ca 10 %. Det är också känt att människan fungerar bäst inom temperaturintervallet 20-24 °C (David Wyon). Målet har därför varit att skapa en jämn temperaturfördelning i rummet kring dessa temperaturer. Individuella skillnader hos människan måste kompenseras med egna kläder som man själv "styr".



Figur 4.1. Inneklimattekniska problem i klassrummen.

Det har också varit känt under en lång tid, att övertemperaturer är ett stort problem i denna typ av lokal och med den belastning som förekommer.

Målsättningen med åtgärderna har inte varit att visa hur man optimalt kan ventilera en lokal, utan hur man på ett optimalt sätt kan bibehålla det termiska och lufthygieniska inneklimatet i en belastad lokal. Hur klassrummet ventileras utan belastning är i stort sett ointressant. I vissa fall kan det vara intressant att notera hur effektivt klassrummet ventileras utan belastning. Detta är aktuellt vid bland annat raster, då man vill vädra ut lokalen så effektivt som möjligt med minimal energiförlust.

De driftfall (luftflöden och temperaturnivåer), som valts för de olika inblåsningsprinciperna ligger inom det område som kan anses vara rimligt med avseende på den belastning som maximalt förekommer i lokalen.

Luftflödesområdet har i hållits inom 450 - 1350 m³/h, vilket motsvarar mellan 5 och 20 l/s och person beroende av belastningen. Inblåsningstemperaturen har varierats inom område +18 °C och +21 °C, vilket inneburit undertempererad tilluft i samtliga fall. Avvikande mätningar har också gjorts vid högre inblåsningstemperaturer, dvs tilluftstemperaturen blåses in som en övertemperatur (tilluftstemperaturer på ca +25 °C).

För att kunna utvärdera systemeffekterna på inneklimatet har mätningar utförts under flera tidsperioder, dels under vinterdriftfall (januari och februari) och dels sommar-driftfall (april, maj). Vinterdriftfallen avsåg att spegla problemen i lokalen vid kall utetemperatur, liten solinstrålning, låga yttemperaturer på väggar och fönster, normal belastning och vinterklädsel. Sommar-driftfallen avsåg att spegla problemen vid varm väderlek, mycket solinstrålning, inget värmebehov dvs radiatorsystem avstängt, normal belastning och sommarklädsel.

Mätningarna har koncentrerats kring just det termiska inneklimatet, med kontinuerliga temperaturmätningar, luft rörelser och lufthastigheter, strålningstemperatursymmetri och det lufthygieniska klimatet med koldioxid och luftutbyteseffektivitet, (se bilaga 1)

Genom att mätningarna utförts under tid då lokalen varit belastad och verksamhet pågått, har också andra förutsättningar kommit med i bilden som ibland skapat vissa mättekniska problem. Det förekommer ofta förändringar i lokalen under lektionerna, förflyttning av elever inom klassrummet, men även att dörren till klassrummet kan öppnas flertal gånger under en lektion för förflyttning till andra rum etc. Detta påverkar naturligtvis mätningarna en del. I vissa fall har en allt för stor verksamhet av detta slag förekommit, varför mätningarna just i dessa fall inte kunnat anses vara helt representativa. Under en vanlig lektion förekommer rörelser inom klassrummet och någon enstaka gång öppnas dörren av olika anledningar. Detta har därför ansetts som normalt förekommande i dagens skolverksamhet, varför mätningarna även innefattas av detta.

Det hade för övrigt varit mycket svårt att genomföra alla dessa mätningar med restriktioner på hur eleverna skulle bete sig under en lektion. Verksamheten i dagens skola innebär mycket rörelse och förflyttningar, det är i stort sett bara vid tentamen det har varit helt stillsamt i klassrummet.

För att klara av att analysera mätresultaten från mätningarna, har vi också haft en omfattande kontroll på den verksamhet som förekommit i lokalen. Vid samtliga mätningar finns noterade elevantal, rörelseverksamhet, om dörr öppnas och hur länge etc. Dessutom har både elever och lärare interjuvats under de lektioner då mer omfattande mätningar har skett, om hur man upplever klimatet i lokalen. Detta har inneburit att man oftast kunnat förklara varför vissa mätresultat har varit avvikande och givit möjlighet att analysera varför t ex en rumstemperatur känns varm eller kall vid specifika mättillfällen.

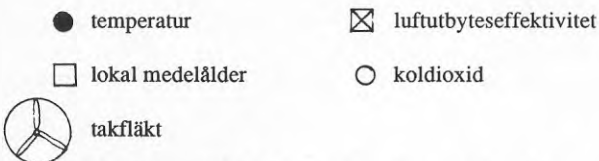
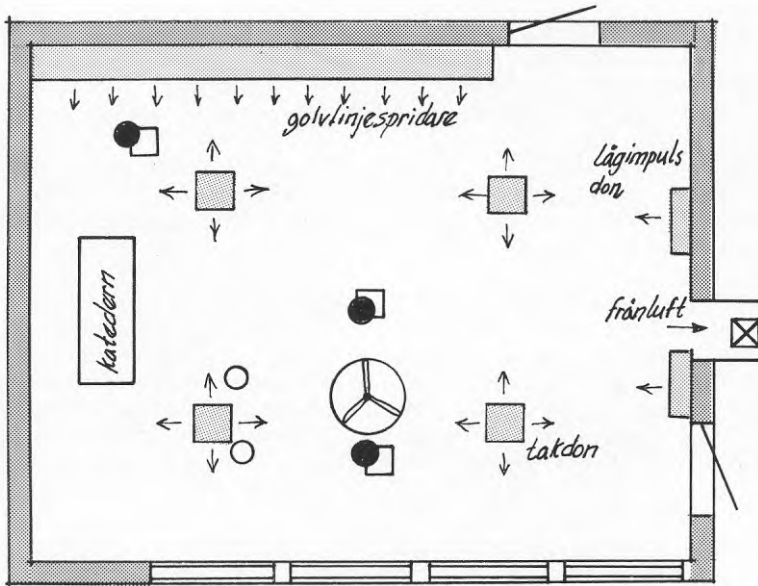
För att strukturera upp vad som händer med temperaturerna vid de olika inblåsningsprinciperna redovisas i detta kapitel varje system och driftfall var för sig. Dessutom delas de s. k. vinterdriftfallen och sommar-driftfallen upp. Tyvärr har det inte förekommit några extrema vare sig vinter- eller sommar-driftfall någon gång under mätperioden. Både under vinter- och sommarperioden har samma förutsättningar legat till grund för mätningarna vad gäller inblåsningsprincip, luftflöden och tilluftstemperaturer.

Det har redan framgått att det i princip förekommer två olika klimatperioder under ett skolår, vintertid som kräver viss uppvärmning och sommartid då ingen värme behövs. Frågan uppkommer om man skall försöka dimensionera ett ventilationssystem för ett sommar-driftfall, som innebär en relativt kort period på året, eller vinterdriftfallet som motsvarar den största delen av ett skolår.

Det är oftast under den korta sommarperioden problemen förekommer med t ex övertemperaturer, varma lokaler och dålig instängd luft. Under vinterdriftfallet kan oftast

en övertemperatur snabbt vädras bort, varför luften känns bättre, även om den kanske inte alltid blir det. Under vintern är dessutom infiltrationen störst, vilket ger en ökad tillförsel av uteluft.

I de följande kapitlen (4.1.1 och 4.1.2), presenteras utdrag ur mätresultaten från ett stort antal mätningar. Dessa utdrag visar generella och typiska resultat från mätningarna.

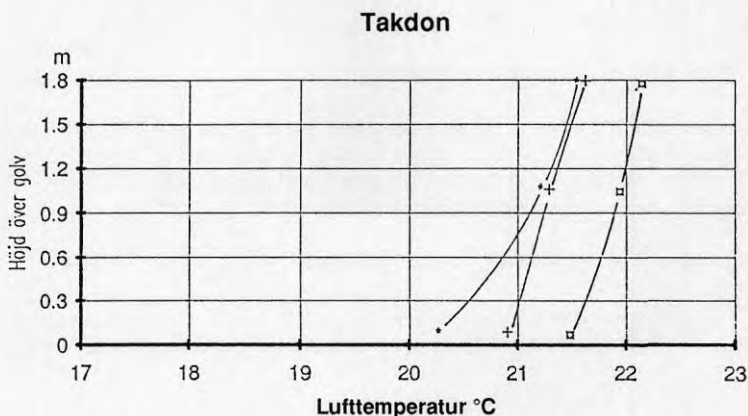


Figur 4.2 . Schematisk bild över mätpunkternas placering.

4.1.1 Termiskt klimat

Lufttemperatur - inblåsning via takdon

För ett representativt vinterdriftfall har temperaturnivåerna jämförts för olika luftmängder i klassrummet. Jämförelsen sker över mätpunkt 2, som varit placerad mitt i klassrummet, (se figur 4.2). Exakt lika förutsättningar är naturligtvis svårt att erhålla, men det finns tillräckligt med underlag för att styrka de resonemang som görs.



- * luftflöde 6.3 l/s och person
- + luftflöde 12.0 l/s och person
- luftflöde 16.5 l/s och person

Figur 4.3. Temperaturgradienterna vid olika specifika luftflöden med inblåsning via takdon, (slutet av lektionen). Inblåsningstemperaturen har varit 18°C. (Vinterdriftfall)

Att det blir högre temperatur med större luftflöde beror på att temperaturen var högre vid lektionens början.

Mätningarna med takdonssystemet visar generellt att de erhållna temperaturgradienterna inte har någon avgörande inverkan på det termiska klimatet. Även vid relativt låga luftflöden är temperaturgradienten liten, maximalt 1 - 2 °C. Det framgår dock en viss skillnad i temperaturgradient mellan ett lågt luftflöde (< 7 l/s och person) och högre luftflöden. Skillnaden i temperaturgradienten ligger mellan nivån 0,1 m och 1,1 m över golv, medan den är marginell mellan 1,1 och 1,8 m över golv.

Vid ett lågt luftflöde erhålls en temperaturgradient på 1-2 °C mellan nivån 0,1 m och 1,1 m över golv. Vid högre luftflöden, ca 10 l/s och person överstiger temperaturgradienten sällan 0,5 °C och är mer jämt fördelad i hela gradienten. Temperaturgradienterna skiljer sig något beroende var i klassrummet man mäter, vid tex mätpunkter nära radiatorerna och fönsterpartiet kan man erhålla betydligt större skillnad i temperaturgradienten.

Det är trots en låg tilluftstemperatur (undertemperatur i förhållande till rumsluften), inte möjligt att hålla nere rumstemperaturen ens med ett högt luftflöde som 15 l/s och

person. Det sker en successiv temperaturhöjning motsvarande 0,5-1,5 °C under en lektion, en temperaturhöjning som man inte klarar av att ventilerat bort under rasterna. Här skulle man kunna säga att det i princip gäller att redan från första lektionen på morgonen försöka hålla nere temperaturen så mycket som möjligt.

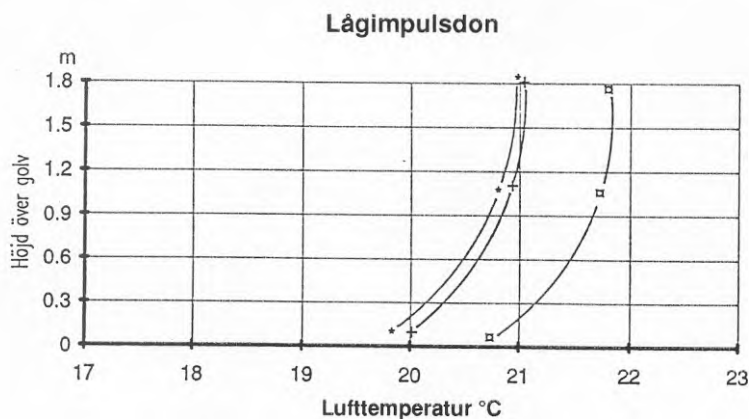
Vid sommar driftfallen (maj) ligger temperaturnivån på 0,1 m ca 0,5 °C lägre än temperaturerna på 1,1 och 1,8 m över golv. Skillnaden mellan 1,1 m och 1,8 m är i samtliga fall obetydliga. Det skall också noteras att detta gäller då solen avskärmats med hjälp av markis.

Vid mät punkt nära fönster är skillnaden mellan 0,1 och 1,1 m något högre. Skillnaden uppgår till 0,5 - 1,5 °C. Däremot är också här skillnaden mellan 1,1 och 1,8 m obetydlig. Orsaken till den något högre temperaturgradienten vid mätpunkten nära fönster beror på strålning från varmare fönsteryta.

Utan solavskärmningen blir temperaturgradienten vid fönster betydligt större på grund av solinstrålningen, skillnaden mellan 0,1 och 1,1 m har i vissa fall uppgått till 6-7 °C. Vid mätpunkter längre in i rummet blir temperaturgradienten mer måttlig med skillnader på ca 2 °C mellan 0,1 och 1,1 m över golv.

Lufttemperatur - inblåsning via lågimpulsdon

Vi gör samma jämförelse som med takdonssystemet. De golvplacerade lågimpulsdonen är av en typ som kastar in luften i en liten båge längst bak i klassrummet.



- * luftflöde 5.7 l/s och person
- + luftflöde 11.9 l/s och person
- luftflöde 19.7 l/s och person

Figur 4.4. Temperaturgradienterna vid olika specifika luftflöden med inblåsning via lågimpulsdon, (slutet av lektionen). Inblåsningstemperatur har varit 18 °C. (Vinterdriftfall).

Inblåsning via lågimpulsdonet visar att trots den relativt låga inblåsningstemperaturen erhålls snabbt en ombländning av luften i rummet. Temperaturskillnaden mellan 1,1

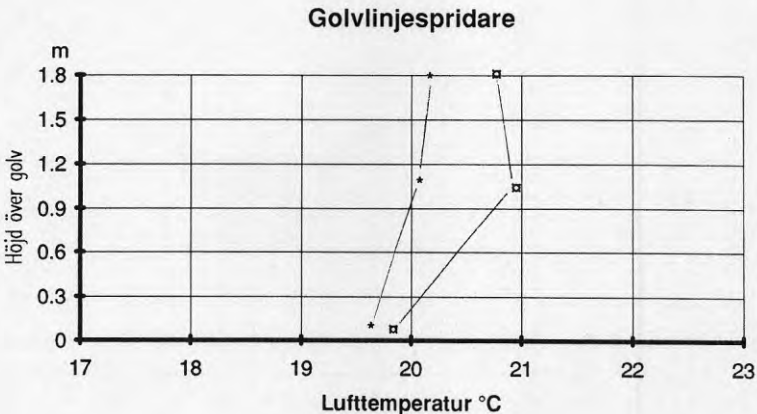
m:s höjd och 1,8 m:s höjd är i stort sett 0 °C. Temperaturskillnaderna mellan olika mätpunkter och olika luftflöden liknar dem som erhöles vid inblåsning med takdon. Dvs vi får inte heller här några markanta temperaturgradienter.

Temperaturskillnaden mellan 0,1 och 1,1m ligger i de flesta fall på 1 - 1,5 °C, dvs en något större gradient än för takdonen, vilket också är logiskt eftersom sval tilluft tas in på premisserna att flyta ut över golvet för att sedan stiga uppåt.

Vid sommardriftfallen kan ses en tendens till en större skillnad mellan mätpunkt vid 0,1 och 1,1 m. Skillnaden uppgår till i vissa fall till mellan 1,5 och 2,5 °C. Skillnaden mellan 1,1 och 1,8 m är dock fortfarande obetydlig.

Lufttemperatur - inblåsning via golvlinjespridaren

Inblåsningen via golvlinjespridaren visar också ett resultat som liknar det för lågimpulsdonen. Den största temperaturgradienten erhålls mellan 0,1 och 1,1 m:s höjd över golv, medan den mellan 1,1 och 1,8 m knappast är märkbar. Temperaturgradienten mellan 0,1 och 1,1 m är oftast < 1.5 °C.



- luftflöde 5.5 l/s och person
- * luftflöde 16.5 l/s och person

Figur 4.5. Temperaturgradienterna vid olika specifika luftflöden vid inblåsning via golvlinjespridare, (slutet av lektionen). Inblåsningstemperaturen har varit 18 °C. (Vinterdriftfall).

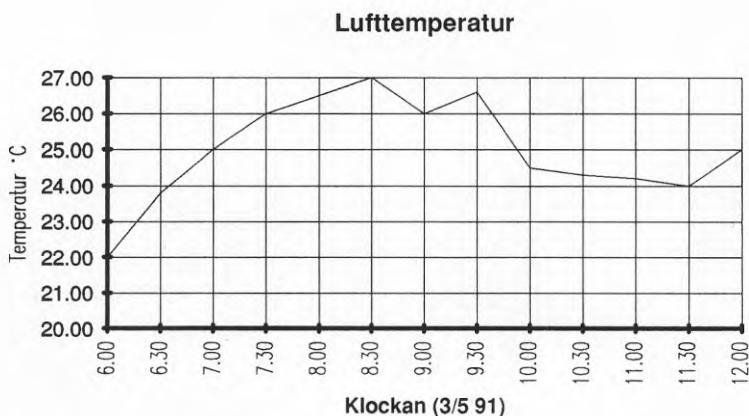
Kommentarer till mätning av lufttemperatur

Genom ett flertal olika mätningar med dels över- och dels undertemperaturer samt varierande luftflöden har vi kunnat konstatera att det inte föreligger några problem med för stora temperaturgradienter vid något driftfall. Det spelar alltså ingen avgörande roll vilket inblåsningssystem som används i ventilationssystemet när det gäller att klara ett krav (ISO 7730) på < 3 °C i vertikal temperaturskillnad mellan 0,1m och 1,1m:s över golv. Förutsättningarna är dock att undertemperaturen på tilluften inte är alltför stor och att ingen direkt solinstrålning förekommer in i lokalen.

Anledningen till att temperaturgradienten blir liten i samtliga driftfall vid normalt belastad lokal (20-25 elever) beror på egenkonvektionen från eleverna som blandar om rumsluften. Enligt E. Mundt, KTH uppgår egenkonvektionen till i storleksordningen 30 -60 l/s för en stående person. Detta motsvarar ett totalt luftflöde pga egenkonvektionen på 750 - 1500 l/s i en normalbelastat klassrum eller 4 -7 ggr större än det totala tilluftflödet i lokalen. Förmodligen skulle en lägre inblåsnings-temperatur, (kanske 1-2 °C än nu använda 18°C), kunna användas utan att någon negativ reaktion erhålls på grund av att man får för stor temperaturgradient.

Mätningarna visar däremot att det föreligger problem med allt för höga temperaturer i klassrummet, trots att man använder undertempererad tilluft. Redan efter första lektionen har ofta temperaturen i klassrummet stigit ett par grader även vid mulna dagar. Övertemperaturerna blir ännu högre en solig vår- eller höstdag, eftersom fasaden vetter mot öster.

Fönsterytan måste kunna skärmas av för att man över huvud taget skall kunna hålla nere rumstemperaturen. Mätningarna i maj visar att man redan klockan 8 på morgonen en solig dag, innan eleverna kommer in och belastar lokalen, erhåller rumstemperaturer som går upp till 25 °C, (yttre avskärmning saknas).



Figur 4.6. Figuren visar temperaturhöjningen i klassrummet (fönster mot öster) under morgontimmarna när solavskärmning ej används. Temperaturen mäts 1.2 m över golv mitt i rummet. Tilluftstemperatur +18°C och luftflöde ca 600 m³/h. (Inblåsning via takdon).

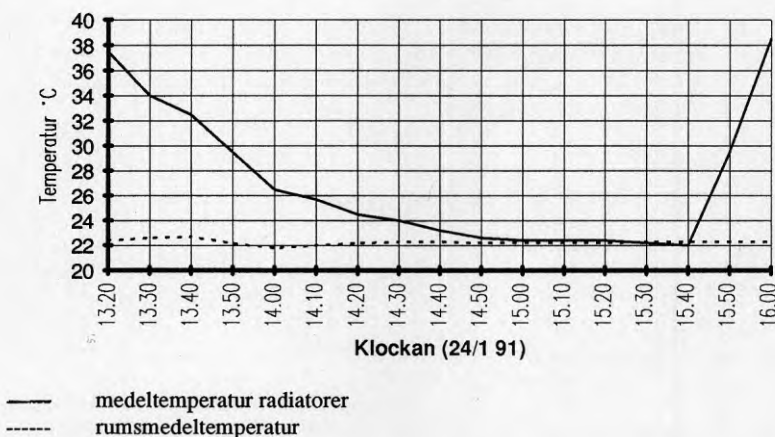
Belastas dessutom lokalen med 25 elever, dvs ytterligare ett effekttillskott på ca 3.5 kW kontinuerligt, krävs en mycket stor ökning av luftflödet in i lokalen eller en betydligt lägre undertemperatur för att hålla nere inomhustemperaturen på komfortabel nivå. Problemet med en allt för hög temperatur redan tidigt på morgonen är att värmen ackumuleras i klassrummet under resten av dagen. Det hjälper alltså inte att försöka vädra bort den höga temperaturen, man hinner aldrig få ner temperaturen mellan lektionerna (inte ens under längre raster).

Solinstrålningens inverkan på inomhusklimatet måste alltså begränsas. Detta kan göras genom en solavskärmning (utvändig), som automatiskt styrs av en solinstrålningssgivare. Det är viktigt att solavskärmningen fungerar även när det inte finns elever i klassrummet i och med att man redan före första lektionen kan få för hög inomhus-temperatur. Solen måste alltså kunna avskärmas redan innan första lektionen påbörjas.

En förhöjd temperaturnivå i klassrummen vintertid beror till stor del av okontrollerad drift, dvs en allt för hög inblåsningstemperatur används, ingen samordnad kontroll på ventilations-system och radiatorsystem. Öppnas dessutom ett fönster vid en rast, påverkas kanske termostatventilerna på radiatorerna vilka öppnar för fullt, detta innebär en större energiförlust. Ett annat problem är att man inte erhåller någon direkt sval luft i lokalen utan kan till och med få en liten förhöjd temperatur omedelbart efter det att fönstren stängs på grund av högre temperatur på radiatorn.

Radiatorsystemets funktion är viktig i detta sammanhang. Även om man har en måttlig framledningstemperatur på ca 40 °C, erhålls problem med temperaturnivåerna i klassrummet. Om termostatventilerna stänger för radiatorvärme samtidigt som eleverna kommer in i klassrummet, erhålls ändå en värmeavgivning motsvarande 2-5 extra personer från radiatorerna under den närmaste timmen.

Radiator- och rumstemperatur

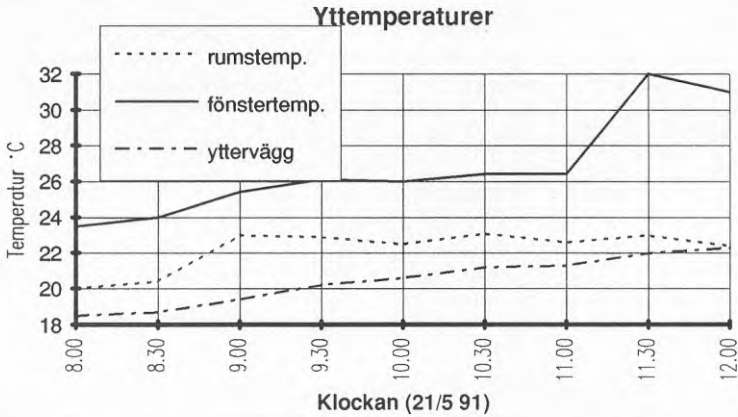


Figur 4.7. Radiortemperaturens fördröjning när termostatventilen stängt för värme. Radiatorn avger värme under hela lektionstimmen.

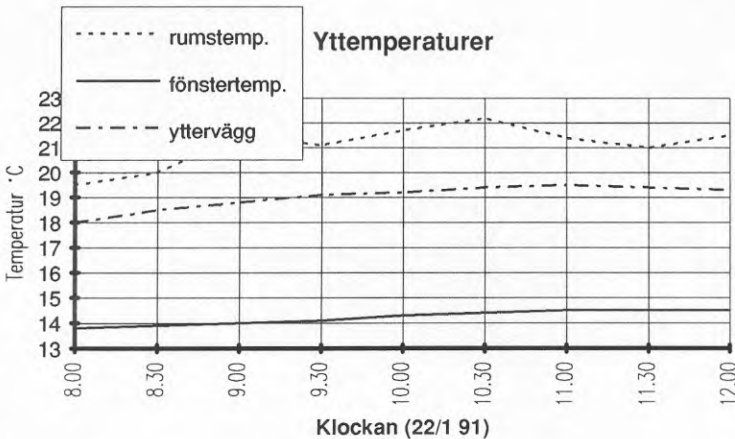
Av figur 4.7 framgår att det tar mellan 1-1½ timma innan radiatorerna svalnat till rumstemperatur. Det är därför viktigt att se till att inte termostatventilerna öppnar t ex vid en snabb vädring. Temperaturen på radiatorsystemet ökar nämligen mycket snabbt om termostatventilerna öppnar. Det tar ca 10 min att nå maximal effektavgivning från radiatorerna, men alltså mycket längre tid att stänga tillförseln av värme till rummet på grund av radiatorernas termiska tröghet. En snabb vädring kan därför få till följd att ett extra oönskat tillskott av värme erhålls under hela kommande lektionen och även under nästkommande lektion.

Yttemperaturer

En annan parameter som påverkar upplevd temperatur är yttemperaturerna på väggar, tak och golv. Yttemperaturen påverkar människans upplevda temperatur lika mycket som lufttemperaturen i lokalen. Det är därför viktigt att även yttemperaturerna inte är allt för höga, särskilt under sommartiden.



Figur 4.8. Yttemperaturer på insidan av fönster och yttervägg i förhållande till rumstemperaturen under en lektion i maj. (Takdon, luftflöde $900\text{m}^3/\text{h}$, tilluft $+18^\circ\text{C}$). Orsaken att fönstertemperaturen ökar kraftigt vid kl 11 beror på att markisen går upp.



Figur 4.9. Yttemperaturer på insidan fönster och yttervägg i förhållande till rumstemperaturen under en vinterlektion. (Takdon, luftflöde $900\text{m}^3/\text{h}$, tilluft $+18^\circ\text{C}$).

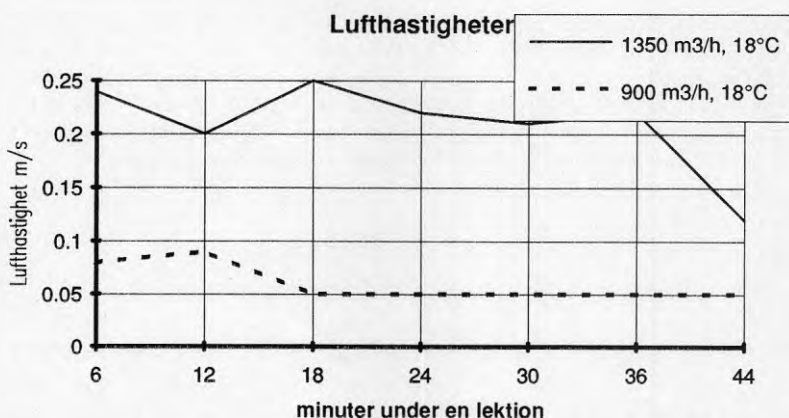
Av figur 4.8 och 4.9 framgår att yttemperaturen på ytterväggens insida oftast är lägre än rumstemperaturen både under en vinterdag och åtminstone under förmiddagen på sommaren. Yttemperaturen på fönster är i allmänhet lika med eller något högre än

rumstemperaturen under sommaren. Under vintern är ytemperaturen på fönster klart lägre än rumstemperaturen. Detta bidrar till att stora luftrörelser förekommer utmed fönster på grund av kallraset. Storleksmässigt omfattar detta "kallras luftflöde" 50 - 100 % av det totala tilluftsflödet i lokalen.

Det bör också noteras att det föreligger en stor skillnad på ytemperaturerna beroende av vilken typ av glaskonstruktion (2-glas eller 3-glas) det är frågan om. Vid "3-glas" fönster ligger ytemperaturen på insidan fönstret betydligt närmare rumstemperaturen, varför påverkan av luftrörelserna i lokalen blir lägre. Genom att utnyttja enbart ouppvärmad uteluft under natten kan klassrummet kylas ner ("nattkyla"), dvs ett försök att sänka ytemperaturerna något, vilket innebär en fördel när klassrummet börjar belastas på morgonen.

Lufthastighet

Ytterligare en faktor som påverkar upplevd temperatur i lokalen är lufthastigheterna. En högre lufthastighet ger känsla av lägre lufttemperatur. Höga lufthastigheter bedöms dock ofta kunna ge problem med drag. Lufthastigheterna i en lokal bör inte överstiga 0,15 m/s vintertid och 0,25 m/s sommartid enligt "allmänna råd från Socialstyrelsen".



Figur 4.10. Lufthastigheten vid bänkrad (vistelsezon) intill golvlinjenspridaren (se figur 4.2). Tilluft via golvlinjenspridaren med luftflöde 1350 m³/h och 900 m³/h samt inblåsningstemperatur 18 °C (vinterdrifvfall).

Av figur 4.10 framgår att det inte förekommer allt för höga lufthastigheter vid luftflöden runt 10 l/s och person (900 m³/h). Vid högre luftflöden 15 l/s och person (1350 m³/h) klaras inte kravet på maximalt tillåtna 0,5 m/s (enligt socialstyrelsen). Lufthastigheterna för takdon- och lågimpulsdoninblåsning har inte överstigit tillåtna 0,5 m/s vid något tillfälle. Vid raster har dock noterats en temporär höjning av lufthastigheten, men detta beror på elevernas rörelser när de går och kommer åter från rast.

Trots att lufthastigheten vid vissa tillfällen varit högre än tillåtna (enligt Socialstyrelsen) vid golvlinjeinblåsning har det inte förekommit några klagomål på att miljön i klassrummet känns dragig, inte ens vid så höga luftflöden som 20 l/s och person.

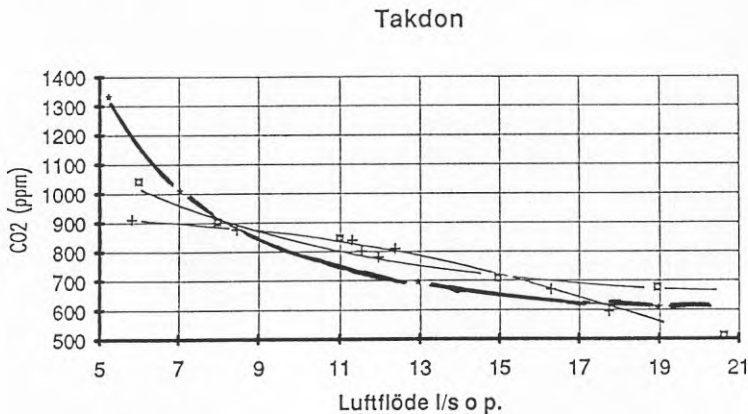
I Fagrabäckskolan har en takfläkt installerats som vid drift skall åstadkomma en omblandning av rumsluften inom vistelsezonen. Genom mätningarna kunde konstateras att denna takfläkt kunde åstadkomma relativt höga lufthastigheter inom vistesezonen, vilket troligen skulle vålla besvär i form av drag, eftersom eleverna sitter relativt stilla. Det visade sig dock att även vid så höga lufthastigheter som upp till 0.5 m/s inte fanns en antydning till klagomål vare sig från elever eller lärare. Takfläkten har enbart visat sig upplevas mycket positivt från både elever och lärare. Det positiva har möjligen förstärkts med att de själva kan styra när och hur länge takfläkten körs.

Drag förutsätter till viss del att människan belastas ojämnt med luftrörelser, dvs antingen ofrekventa turbulenta luftrörelser eller att enbart viss del av kroppen belastas. En jämnare kanske förväntad lufthastighet bedöms oftast inte vara lika problematisk. Detta kan vara en av anledningarna till att takfläkten upplevs mycket positiv. När man väl beslutat sig för att man behöver starta takfläkten på grund av t ex hög temperatur, förväntar man sig också att det skall kännas att det blåser.

4.1.2 Luftkvalitet

Koldioxid

Koldioxidhalten har mätts i flera punkter i klassrummet, dels på olika höjder inom vistelsezonen, dels vid nacken på en elev (närzonen) och dels i till- och frånluften. Koldioxidhalten vid slutet av en lektion blir lägre vid ett högre specifikt luftflöde. I figur 4.11 nedan framgår bl.a den teoretiskt beräknade koldioxidhalten vid olika specifika luftflöden. I dag rekommenderas att koldioxidhalten i t ex klassrum inte skall överstiga 1000 ppm för att inte klassas som sanitär olägenhet enligt Socialstyrelsen.



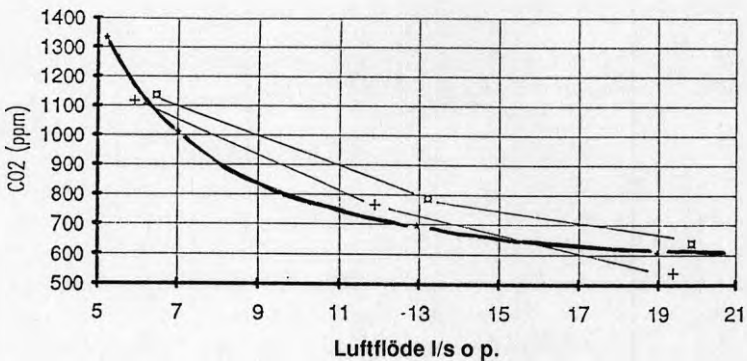
- * — Teoretiskt beräknad CO₂ vid fullständig omblandning
- + CO₂ vid nacken hos en elev vid tilluftstemperatur +18°C
- CO₂ vid nacken hos en elev vid tilluftstemperatur +21°C

Figur 4.11 Koldioxidhalt vid nacken hos en elev som funktion av specifika luftflödet och olika tilluftstemperaturer vid takdonsinblåsning - vinterdriftfall. (Se även figur 4.2).

Mätningarna av koldioxidhalten, med takdonssystemet, visar att man klarar en nivå-gräns på 1000 ppm vid luftflöden på ca 6-7 l/s och person och högre. Av figuren ovan framgår också hur koldioxidhalten blir mer beroende av inblåsningstemperaturen vid luftflöden lägre än ca 8 l/s. Vid lägre luftflöden och hög inblåsningstemperatur har friskluften en benägenhet att stanna kvar vid taknivån, varför koldioxidhalten stiger snabbare i vistelsezonen. Vid högre luftflöden, dvs ca 8 l/s och person och mer har inblåsningstemperaturen ingen större betydelse för koldioxidhalten i rummet.

I figur (4.12 och 4.13) nedan framgår koldioxidhalten vid lågimpuls-systemet och golvlinjespridaren. Vid ovan angivna specifika luftflöden, på ca 8 l/s och person, ligger nivån av koldioxid 100-200 ppm högre än vid takdonssystemet för både golvlinjespridaren och lågimpulsdonet, jfr figur 4.11. Vid högre luftflöden följs i stort sett koldioxidhalten åt för takdonssystemet och golvlinjespridaren. Lågimpulsdonssystemet visar en något lägre halt vid högre luftflöden, särskilt vid låg inblåsningstemperatur.

Lågimpulsdon

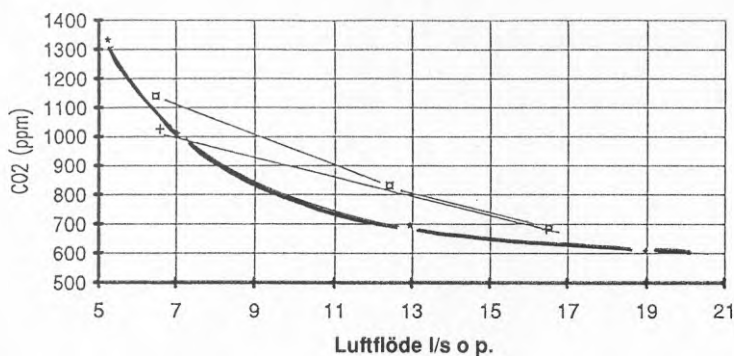


- * — Teoretiskt beräknad CO₂ vid fullständig omblandning.
- + CO₂ vid nacken hos en elev vid tilluftstemperatur +18°C
- CO₂ vid nacken hos en elev vid tilluftstemperatur +21°C

Figur 4.12 Koldioxidhalt vid nacken hos en elev som funktion av specifika luftflödet och olika temperaturer vid lågimpulsdonssystem.

Av figur 4.12 framgår att inblåsningstemperaturen har större påverkan vid ett högre luftflöde för lågimpulsdonssystemet än för takdonssystemet.

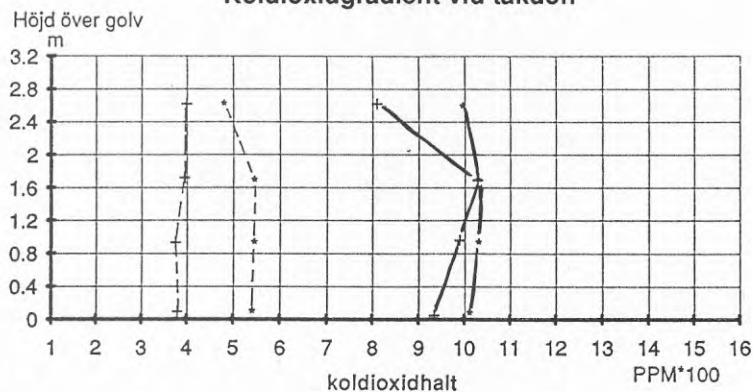
Golvlinjedon



- * — Teoretiskt beräknad CO₂ vid fullständig ombländning.
- + CO₂ vid nacken hos en elev vid tilluftstemperatur +18°C
- CO₂ vid nacken hos en elev vid tilluftstemperatur +21°C

Figur 4.13. Koldioxidhalt vid nacken hos en elev som funktion av specifika luftflödet och olika temperaturer vid golvlinjesystem.

Koldioxidgradient vid takdon



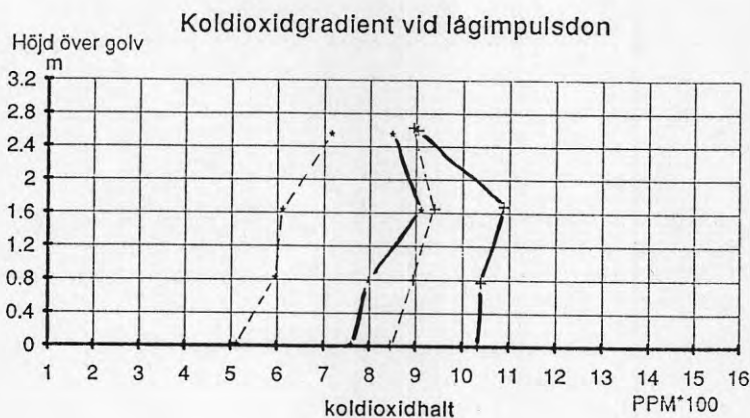
- + CO₂-halt vid en lektions början (---) och slut (—) vid inblåsningstemperatur 18°C, luftflöde 11.9 l/s o p., (21 personer).
- * CO₂-halt vid en lektions början (---) och slut (—) vid inblåsningstemperatur 18°C, luftflöde 7.6 l/s o p., (22 personer)

Figur 4.14. Koldioxidgradienterna i lokalen (se figur 4.2) för olika luftflöden vid takdonsinblåsning. Koldioxidhalten vid 2.8 m:s höjd anger halten i frånluften, (vinterdriftfall).

Av figuren 4.13 ovan framgår att även här, liksom för lågimpulsdonet, har inblåsningstemperaturen större påverkan vid högre luftflöden för golvlinjespridaren än för

Av figuren 4.13 ovan framgår att även här, liksom för lågimpulsdonet, har inblåsningstemperaturen större påverkan vid högre luftflöden för golvlinjespridaren än för takdonsystemet. Skillnaden i koldioxidhalten i "närzonen" vid specifika luftflöden mellan inblåsning via lågimpulsdon och golvlinjespridare är mycket liten.

Av figur 4.14 framgår den relativt marginella skillnaden på koldioxidgradienten vid lektionens början och vid lektionens slut. Det finns en svag tendens till en ökning av koldioxidgradienten vid "andningszonen", lektionens slut, men den får ändå anses som marginell. Av figuren 4.14 framgår också hur viktigt det är att veta vilken koldioxidhalt man avser när man talar om koldioxid i ett rum. Det finns en klar skillnad mellan koldioxidhalten vid olika platser i rummet och i t ex frånluftskanalen.

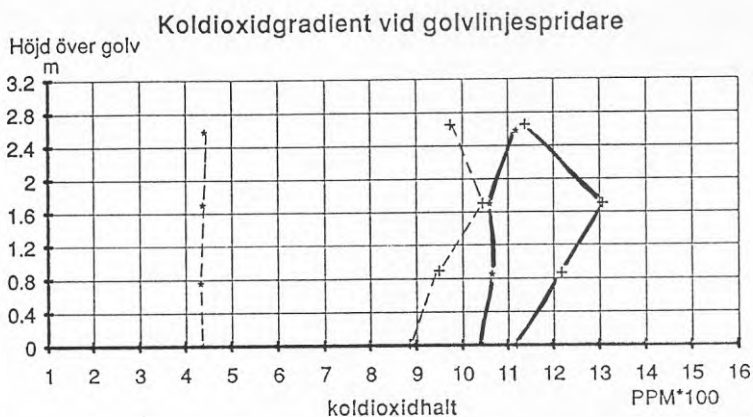


- + CO₂-halt vid en lektions början (---) och slut (—) vid inblåsningstemperatur 21°C, luftflöde 12.5 l/s o p., (20 personer).
- * CO₂-halt vid en lektions början (---) och slut (—) vid inblåsningstemperatur 18°C, luftflöde 11.4 l/s o p., (22 personer)

Figur 4.15. Koldioxidgradienten i lokalen för olika luftflöden vid lågimpulsdoninblåsning. Koldioxidhalten vid 2.8 m:s höjd anger halten i frånluften. (Vinterdriftfall).

Av figur 4.15 framgår också den väsentliga skillnaden var och vilken koldioxidhalt man avser i ett rum. Vid lågimpulsdonssystemet är koldioxidhalten mer ojämnt fördelad vid lektionens start. Relativt låg koncentration erhålls vid golvnivå, vilket också är riktigt med tanke på ventilationsprincipen. Dvs här finns tendens på ett deplacerande ventilationssystem när lokalen är tom. När klassrummet belastas erhålls en koldioxidgradient motsvarande den för takdonsinblåsningen.

En intressant notering har också varit att koldioxidhalten vid närzonen har varit något högre än vid mät punkt placerad mellan bänkraderna vid lågimpulsdoninblåsning. Vid takdonssystem och golvlinspridaren är skillnaden mellan koldioxidhalt i närzon och vid mät punkt mellan bänkraderna marginell.



- + CO₂-halt vid en lektions början (---) och slut (—) vid inblåsningstemperatur 21°C, luftflöde 5.2 l/s o p., (24 personer).
- * CO₂-halt vid en lektions början (---) och slut (—) vid inblåsningstemperatur 18°C, luftflöde 6.0 l/s o p., (21 personer)

Figur 4.16. Koldioxidgradienten i lokalen för olika luftflöden vid golvlinspridning. Koldioxidhalten vid 2.8 m:s höjd anger halten i frånluften. (Vinterdriftfall).

Figur 4.16 visar motsvarande gradienter för golvlinspridaren. Tendenserna för golvlinspridaren är i stort sett likartade som för lågimpulsdonet. Man har en klar ökning av koldioxidhalten i andningszonen under lektionstiden (under förutsättning att normal belastning förekommer).

Koldioxidhaltens fördelning i höjddel skiljer också mellan de olika inblåsningssystemen. Takdonen ger en mindre gradient än både lågimpulsdonen och golvlinspridaren. Detta beror främst på mät punkten vid golv. Vid lågimpuls- och golvlinspridaren tas tilluften in vid golvnivån varför koldioxidhalten blir mer markant lägre än vid "andningszonen" (0.6 -1.1 m över golv).

Under mätningarna i maj 1991 kunde konstateras att både lågimpulsdonet och inblåsning via golvlinspridaren gav lägre koldioxid vid nacken än vad takdonen ger. Nivån vid dessa tillfällen låg ca 100-200 ppm lägre än takdonen vid flödet 6-7 l/s

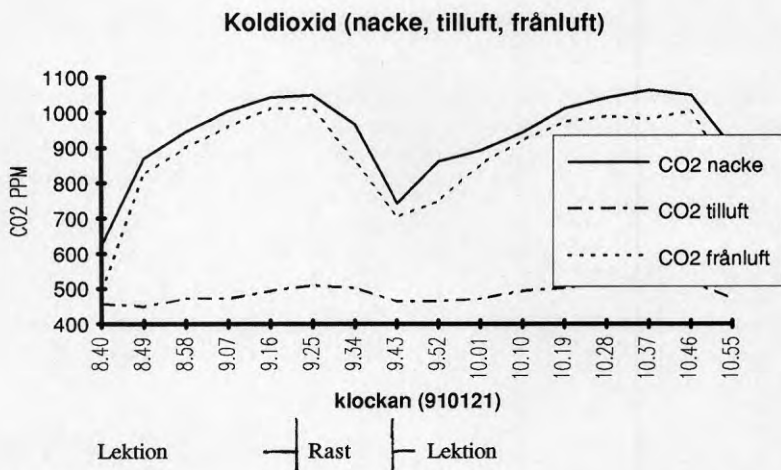
impulsdonet och golvlinjespridaren borde ha.

Den lufrörelse som ytemperaturerna åstadkommer omfattar en storleksordning på 50-100% av det totala tilluftsflödet till lokalen, (jämför kap 4.2.3), dvs åstadkommer en betydande påverkan på hur luften rör sig i lokalen. Ett av problemen under mätningen var att man visserligen fick lägre koldioxidhalt vid elevens nacke, men betydligt högre (mer än 1000 ppm) koldioxidhalt i höjled vid den stående läraren. Detta fenomen kunde konstateras efter klagomål från bland annat läraren. Eleverna uppfattade inneklimtet mer tillfredsställande än vad läraren gjorde.

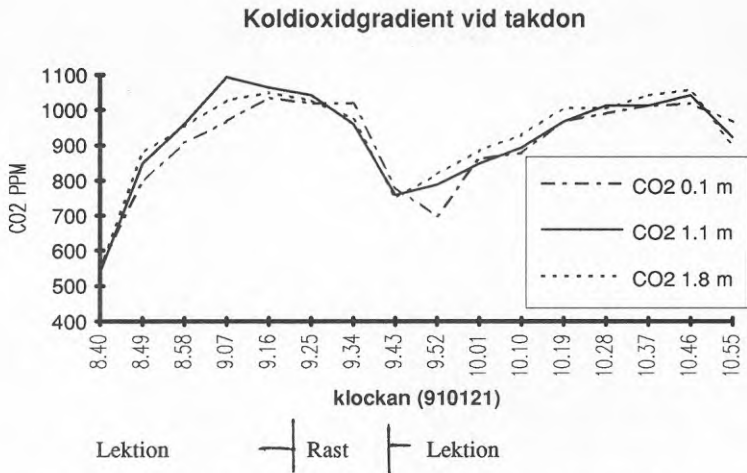
Kommentarer till koldioxidmätningarna

Koldioxidmätningarna visar att det inte föreligger någon större olägenhet med att koldioxidhalten skulle bli allt för hög i klassrummet, inte med de luftflöden som används i nuvarande inblåsningssystem, dvs runt 8 - 10 l/s och person. Vid 10 l/s och person klarar samtliga här beskrivna ventilationssystem att hålla en koldioxidhalt som ligger mellan 800 och 900 ppm. Det går naturligtvis att sänka koldioxidhalten ytterligare, men den sänkningen kostar förmodligen mer än den smakar. Genom att t ex försöka sänka koldioxidhalten med ytterligare ca 200 ppm behöver luftflödet in till lokalen i det närmaste ökas med minst 70 %. Detta gäller oavsett vilken typ av inblåsningssystem som används.

Vid Fagrabäckskolan ligger bakgrunds-nivån (halten koldioxid på tilluften) av koldioxid på 350-400 ppm under nattetid. Dagtid stiger bakgrunds-nivån till 450-550 ppm, vilket till viss del beror på ett litet läckage i värmepaketet. Detta innebär att man under vissa tider under lektionerna har en förhållandevis hög halt av koldioxid i inblåsning-luften.



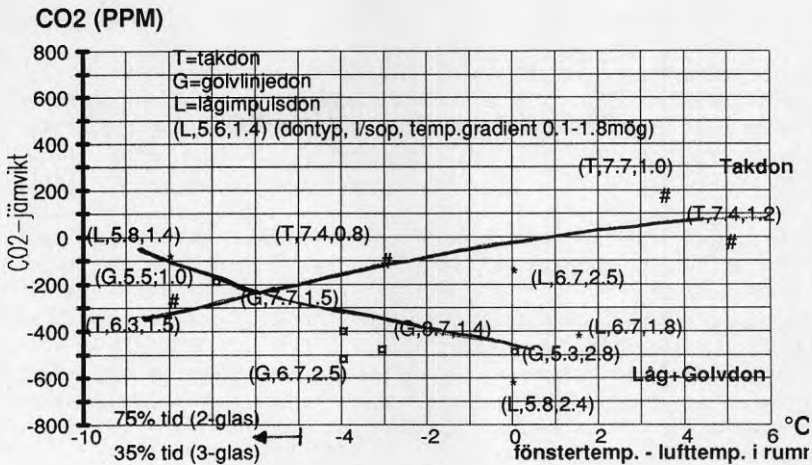
Figur 4.17. Koldioxidhaltens variationer under två lektionstimmar med en rast. Koldioxidhalten avser koncentrationen vid en elevs nacke, i tilluften och i frånluften. Luftflöde 600 m³/h och inblåsningstemperatur 18°C.



Figur 4.18. Koldioxidhaltens variationer under två lektionstimmar med en rast .
 Figuren visar koldioxidhalten vid en mätpunkt mitt i klassrummet.
 Inblåsning via takdon, luftflöde $600 \text{ m}^3/\text{h}$, tilluftstemperatur $18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Figurena 4.17 och 4.18 visar att det är svårt att nå ner till utgångsläget med rasterna. Man får en succesiv höjning av medelvärdet på koldioxidkoncentrationen per lektion under dagen med förutsättningen att belastningen är relativt konstant lektion efter lektion. Den maximala koldioxidnivån förändras inte nämnvärt under dagen, beroende av belastningen och luftflödet. Däremot erhålls en höjning av medelvärdet på koldioxidkoncentrationen på grund av att nivån under en rast inte kan sänkas till ursprunglig koncentrationnivån på morgonen.

I figur 4.17 och 4.18 kan man jämföra medelkoncentrationen under första och andra lektionstimman. Under första lektionstimman är utgångsnivån 550 ppm och slutnivån ca 1000 ppm , medelvärdet under denna lektion blir ca 775 ppm . Under andra lektionen är utgångsnivån ca 750 ppm medan slutnivån åter blir ca 1000 ppm , medelvärdet under andra lektionen blir ca 875 ppm .



Figur 4.19. Koldioxidhalt vid elevs nacke (närzon) som funktion av temperaturskillnaden mellan fönster och lufttemperaturen i rummet och olika inblåsningssystem.

Figuren 4.19 är en sammanställning av mätresultat i Fagrabäckskolan på koldioxidhalten i närzonen i slutet av lektionen vid olika inblåsningssystem och temperaturskillnader mellan fönster och lufttemperatur (årstider). Vid ett bestämt antal elever och ett visst tilluftsflöde kan man räkna fram en jämviktskoncentration av koldioxid vid fullständig omblandning. Koldioxidhalten i ett rum stiger kontinuerligt till detta teoretiskt beräknade jämviktsvärde, men när detta väl är nått blir inte koldioxidhalten högre oavsett hur länge eleverna är i rummet.

Figuren 4.19 visar en tendens att med takdon minskar koldioxidhalten i närzonen i förhållande till jämviktskoncentrationen vid fallande fönster-temperatur och omvänt för lågimpulsdon/golvlinjespridare. Mätpunkterna representerar givetvis inte exakt samma luftflöde, tilluftstemperatur och andra yttre omständigheter men många mätresultat verkar ändå falla inom trendens ram.

Om denna tendens speglar verkligheten inser man att typen av fönster (U-värde) d.v.s. temperaturen på den inre rutan påverkar koldioxidhalten i närzonen. En enkel överslagsräkning ger vid handen att temperaturen på insidan av ett 2-glasfönster är lägre än 5 °C kallare än lufttemperaturen (-5 i figuren ovan) ca 75 % av skoltiden i en skola i Götaland. Motsvarande siffra för ett 3-glasfönster är ca 35 % ! Den ovan presenterade hypotesen leder till följande konsekvenser:

- Befintliga lärosalar med 2-glasfönster innebär att takdon med tilluft med rätt mängd och temperatur under större delen av läsåret ger lägre koldioxidhalt i närzonen än vad golvplacerade lågimpulsdon skulle göra.
- Med 3-glasfönster i lärosalar skulle golvplacerade lågimpulsdon med tilluft med rätt mängd och temperatur under större delen av läsåret ge lägre koldioxidhalt i närzonen än vad takdon skulle kunna ge.

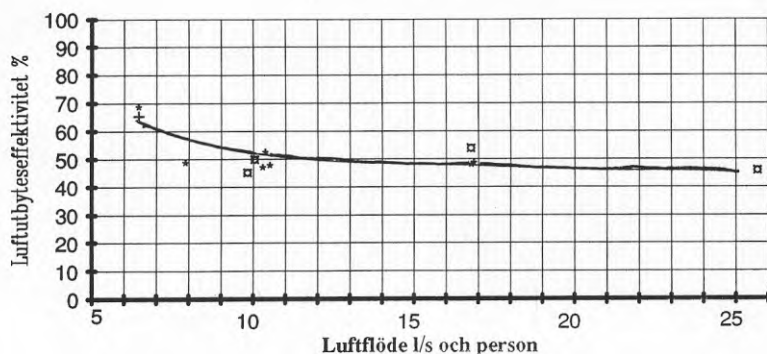
Luftutbyteseffektivitet

Ett sätt att bestämma effektiviteten på de olika ventilationssystemen är att mäta upp luftens medelålder i lokalen och därmed kunna beräkna luftutbyteseffektiviteten för lokalen. Det föreligger ofta stora svårigheter att bestämma luftutbyteseffektiviteten, eftersom den är beroende av ett stort antal parametrar, t ex luftflöde, temperaturnivåerna, ytemperaturer, belastningen i lokalen, annan rörelse i lokalen etc.

Det kan alltså vara svårt att inbördes jämföra olika systemlösningar eftersom inte förutsättningarna är lika. I Fagrabäckskolan har dock försöks gjorts för att få ett grepp om vad som händer, och hur effektivt luften byts ut vid olika inblåsningssystem. Bestämning av luftens lokala medelålder har skett genom att ett antal mätpunkter (se figur 4.2) placerats ut i lokalen, varefter en spårgas, N_2O tillförts. Spårgasen har fördelats så jämnt som möjligt innan eleverna har tagit plats. I de fall där fördelningen av spårgas inte visat jämn blandning innan eleverna kommer in i lokalen, erhålls ändå en omblandning då eleverna tar plats.

Spårgasen har därefter fått avklinga under lektionen, varvid dels den lokala medelåldern och medelåldern på luften i rummet kunnat bestämmas. Medelåldern på luften i rummet ställs sedan i förhållande till den nominella tidskonstanten (rummets volym/specifika luftflödet) för rummet. För att förenkla möjligheten att se eventuella skillnader mellan de olika inblåsningssystemen, temperaturnivåerna och luftflödena, har vi även här delat upp de olika systemlösningarna.

Inblåsning via takdon



- * undertempererad tilluft
- övertempererad tilluft
- + tilluft och rumstemperatur lika

Figur 4.20. Luftutbyteseffektivitet vid specifika luftflöden och temperaturer vid takdonsinblåsning. Varje "mätprick" avser ett mättillfälle (en lektion). (Vinterdriftfall).

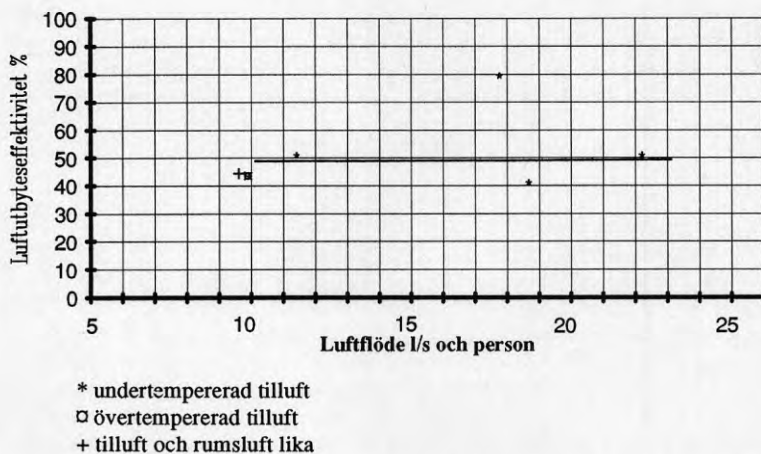
I figur 4.20 ovan kan vi se att luftutbyteseffektiviteten i princip ligger på 50 %, oavsett vilket luftflöde och vilken inblåsningstemperatur som använts. Dvs inblåsningssystemet med 4 st takdon är relativt okänsligt för parametrar som temperatur och luftflöde då lokalen är belastad. Vi har vid dessa tillfällen inte gjort jämförande mätningar

utan elever, vilket heller inte varit avsikten. Det är därför inte möjligt att helt avgöra hur ventilationen fungerat om lokalen varit tom. Det finns dock en viss föreställning om att det sannolikt, i stort sett, är omblandande ventilation även utan elever.

Vid luftflöden som ligger ner mot 5 till 6 l/s och person, sker däremot något mycket märkligt. Luftutbyteseffektiviteten ligger här på ca 70 %. I detta fall beror det inte på att belastningen i lokalen är onormalt låg. Det har varit svårt att direkt fastställa orsaken varför det just blir ett sådant resultat vid dessa luftflöden, det har inte heller varit en ren tillfällighet vid mätningarna utan kan konstateras vid flera mättillfällen.

Den enda skillnaden under dessa lektioner, förutom luftflödet, som vi gjort notering om är att eleverna är mycket lugna och stillsamma, på grund av av tentamen. I övrigt är det samma belastning i lokalen.

Inblåsning via lågimpulsdon



Figur 4.21. Luftutbyteseffektivitet vid specifika luftflöden och temperaturer vid inblåsning via lågimpulsdon. Varje "mätprick" avser ett mättillfälle (en lektion). (Vinterdriftfall).

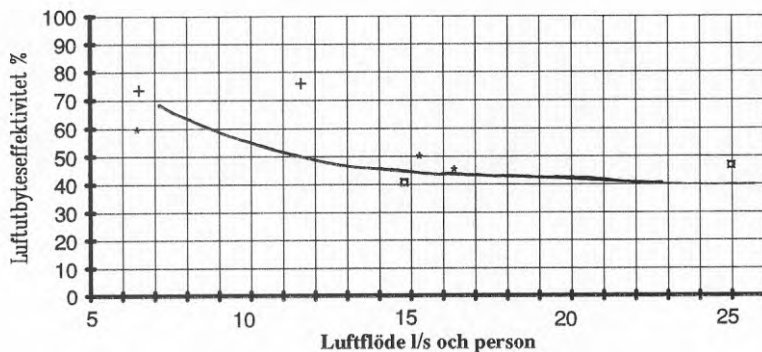
Vid inblåsning via lågimpulsdonet framgår att det inte sker någon större förändring i förhållande till takdonen. Även här är det av mindre betydelse om inblåsningen sker med över- eller undertemperatur, inte heller är luftflödet av avgörande betydelse vid normal belastning i lokalen. Belastningen i lokalen ser till att luften omblandas oavsett hur den kommer in i lokalen.

I figur 4.21 ovan framgår att man erhållit en mycket hög luftutbyteseffektivitet vid ett tillfälle. Det finns också en förklaring till detta. I detta fall var egentligen inte den totala luftmängden särskilt stor (luftflödet var endast 450 m³/h) däremot var belastningen mycket liten i lokalen, endast 7 elever, som var mycket stillsamma under hela lektionen.

Lågimpulsdonet fungerar i detta fall som ett deplacerande system och luftutbyteseffektiviteten visar på tendens till kolvströmning. Den något lägre tempererade tilluften

kastas in i golvnivå och får sedan stiga sakta uppåt utan påverkan av nämnvärda störningar. Den bidragande orsaken till kolvströmningen är i detta fall det låga flödet och ringa störningen. I de fall belastningen varit liten och luftflödet stort erhålls en omblandning på grund av stort luftflöde. Det är antingen ett stort luftflöde eller belastningen som ser till att luften blandas runt i lokalen.

Inblåsning via golvlinspridare



- * undertempererad tilluft
- övertempererad tilluft
- + tilluft och rumsluft lika

Figur 4.22. Luftutbyteseffektivitet vid specifika luftflöden och temperaturer vid inblåsning via golvlinspridare. Varje "mätprick" avser ett mättilfälle (en lektion). (Vinterdriftfall).

Vid ett inblåsningssystem typ denna golvlinspridare, finns heller ingen direkt skillnad mot tidigare. Vid luftflöden på över 10 l/s och person erhålls även här en omblandning av luften. Detta beror som tidigare på belastningen i lokalen och luftflödet. Vid vissa tillfällen uppmättes även här luftutbyteseffektiviteter på 70 till 80 %. Här är tendensen samma som vid takdonen, att detta sker vid relativt låga luftflöden, dvs inte när det är onormal belastning i lokalen.

Vid det tillfälle då undertempererad luft tillfördes lokalen, vid ett luftflöde på 5,9 l/s och person, fanns störningar typ att en och annan elev försvann ut och kom tillbaka på grund av vaccinering. När luftutbyteseffektiviteter på ca 80 % uppmätts, har lektionerna varit mycket stillsamma, vid båda dessa tillfällen har eleverna haft prov, dvs det har inte förekommit några direkta störningar i form av rörelse i lokalen.

En förklaring till tendensen mot kolvströmning kan vara att den övertempererade luften snabbt stiger mot tak och påverkas mindre av belastningen i lokalen, vid minimala störningar i lokalen. En undertempererad tilluft stiger saktare och påverkas därmed mer av den omkringvarande störningen.

Kommentarer till luftutbyteseffektiviteten

De mätresultat som erhållits i detta klassrum, med den belastning och verksamhet som normalt förekommer och bedrivs här, visar att det inte spelar någon större roll vilket av de tre olika ventilationssystemen som används. Detta gäller under de förutsättningar som mätningarna utförts under, dvs mellan 7-25 l/s och person och tilluftstemperaturer på mellan 18-21 °C.

Mätresultaten visar också att inte heller direkta luftflödet eller inblåsningstemperaturen har någon avgörande roll för hur effektivt luftutbytet sker i klassrummet. Detta förutsätter den normala belastning som förekommer i lokalen och luftflöden på 8 - 10 l/s och person och uppåt. Avvikande resultat kan erhållas, men detta bedöms inte vara generellt förekommande, eftersom det gäller specifika tillfällen då tex belastningen i lokalen är onormalt låg.

Vid luftflöden på ca 10 l/s och person och mer, och en viss minimal belastning oavsett inblåsningstemperatur, erhålls ett sk ombländande ventilationsystem. Detta beror på att luftflödet in i lokalen störs av belastningen, (människornas egenkonvektion).

Vid lägre luftflöden fanns tendenser till kolvströmning i lokalen trots normal belastning. Det är dock inte att rekommendera att köra så låga luftflöden enbart för en bättre luftutbytes-effektivitet. Vid dessa tillfällen stiger nämligen temperaturen och koldioxidhalten betydligt snabbare, vilket medför att lokalen kan kännas mycket instängd på grund av ett lågt luftflöde.

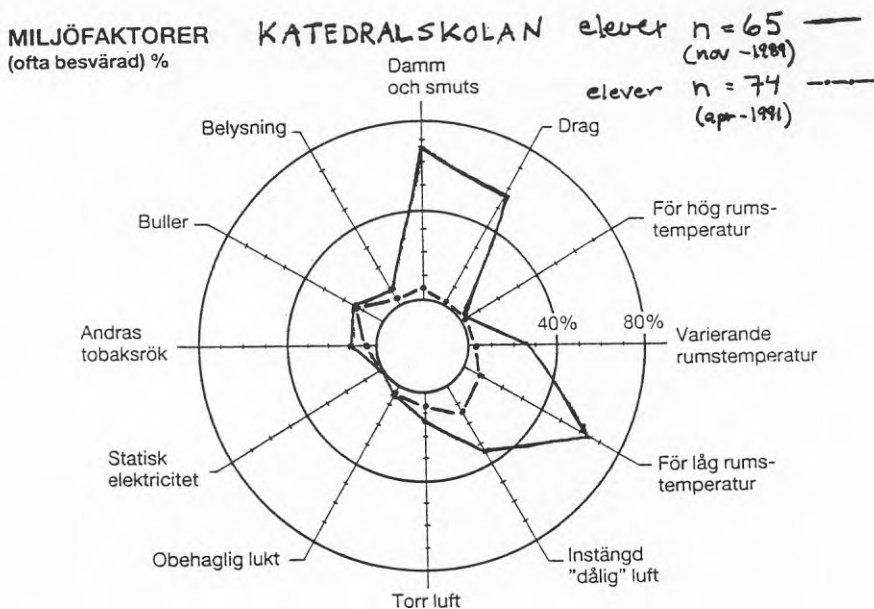
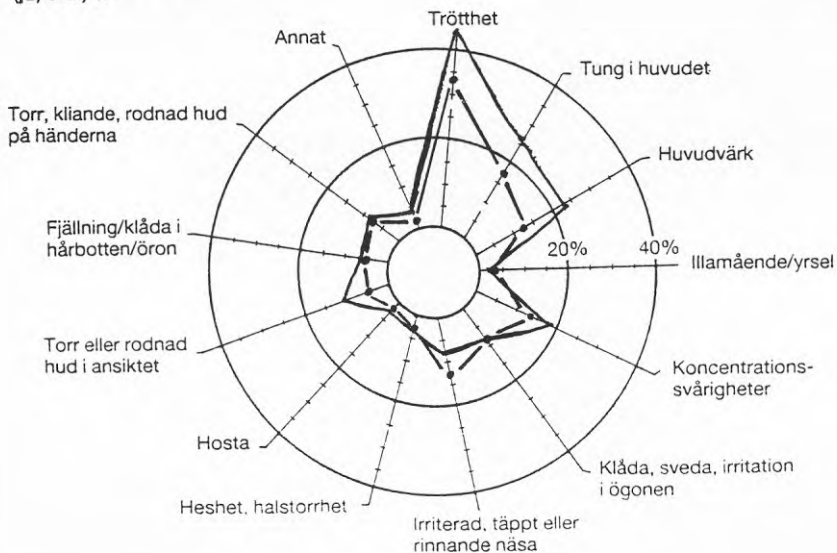
4.2 Katedralskolan

Före åtgärder gjordes både Örebroenkäten och en SMB-analys på Katedralskolan. Efter åtgärder gjordes dessa enkäter på nytt. Resultaten redovisas i detta kapitel. Likaså har mätningar m m gjorts efter åtgärder, vilket också redovisas i detta kapitel.

4.2.1 Örebroenkäten

Enkäten före åtgärder gjordes i november 1989, åtgärderna genomfördes under sommaren och hösten 1990 och förnyade enkäter genomfördes i april respektive december 1991. Figuren nedan visar resultatet av elevenkäten före och efter åtgärder.

INOMHUSKLIMAT Elevenkät MM 060 NA

**BESVÄR/SYMTOM** (ja, ofta) %

Figur 4.23. Resultat av Örebroenkäten (elever) före och efter åtgärder (april 1991).

Enkäten visar att eleverna upplever betydligt mindre besvär i form av miljöfaktorer efter, jämfört med före åtgärder. De tidigare stora problemen med damm och smuts, drag, låg rumstemperatur och dålig luft upplevs efter åtgärder som betydligt mindre. Detta trots att tyngdpunkten i åtgärds paketet var att förbättra den visuella miljön! Byte till nya täta fönster torde vara orsaken till att de stora besvären med drag och för låg rumstemperatur har minskat dramatiskt.

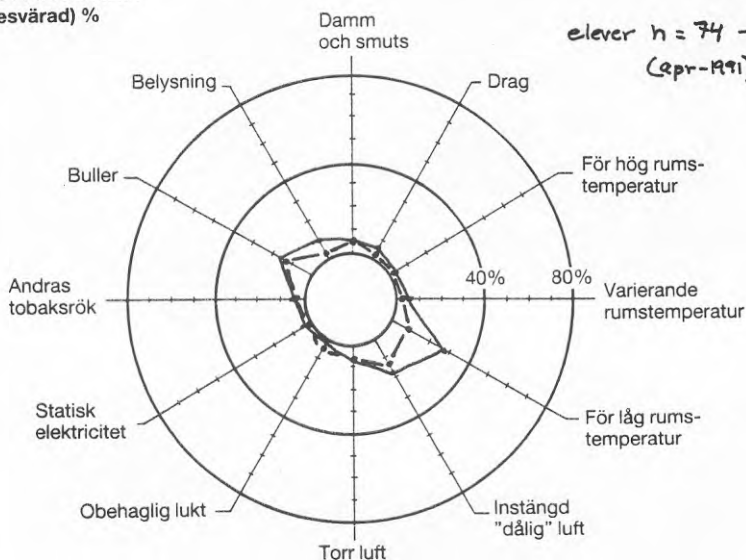
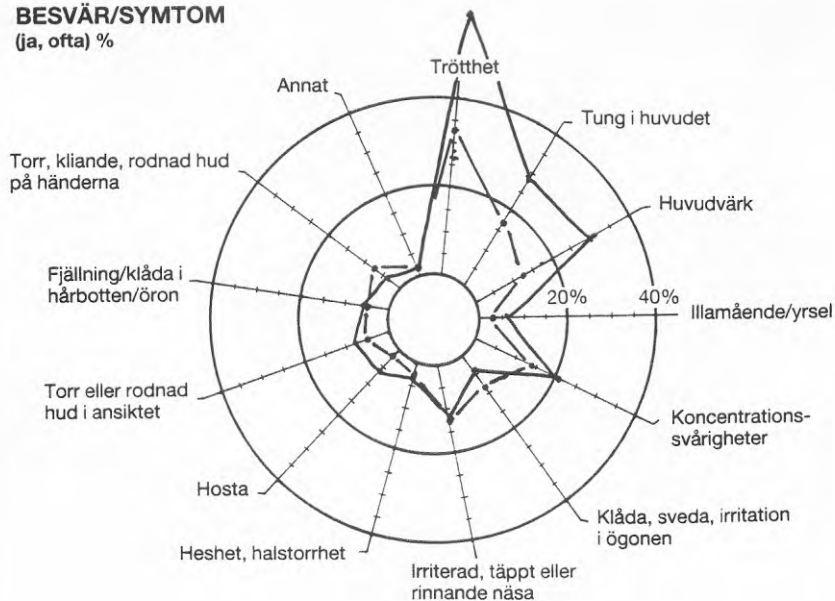
Av enkäten framgår också att symptomen i stort sett är oförändrade efter åtgärder. Dock kan konstateras en minskning av trötthet, tyngdkänsla i huvudet samt huvudvärk.

Enkäten före åtgärder gjordes på hösten, medan enkäten efter åtgärder gjordes på våren. Detta skulle möjligtvis kunna inverka på enkätresultatet, så vi bestämde oss för att göra ytterligare en enkät efter åtgärder på hösten 1991.

ARBETSBLAD

INOMHUSKLIMAT Elevenkät MM 060 NA

Katedralskolan - 91

elever $n = 68$ —
(dec-1991)elever $n = 74$ -o-o-
(apr-1991)MILJÖFAKTORER
(ofta besvärad) %BESVÄR/SYMTOM
(ja, ofta) %

Figur 4.24. Jämförelse av enkätsvar efter åtgärder dels april och dels december 1991.

Jämförelsen visar att enkäten gav i stort sett samma resultat, oavsett om den gjordes på våren eller senhösten. Man kan dock notera att upplevelsen av låg rumstemperatur är markant vanligare på hösten än på våren. Likaså upplevs luften som mer "instängd och dålig" på våren än på hösten.

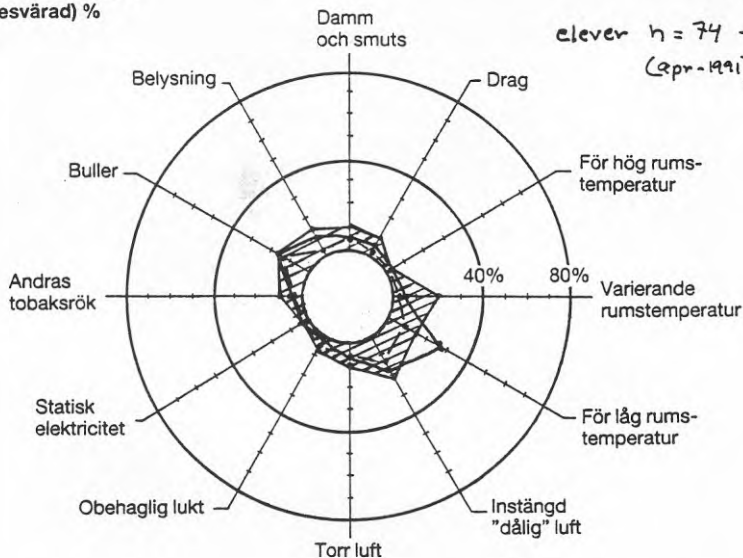
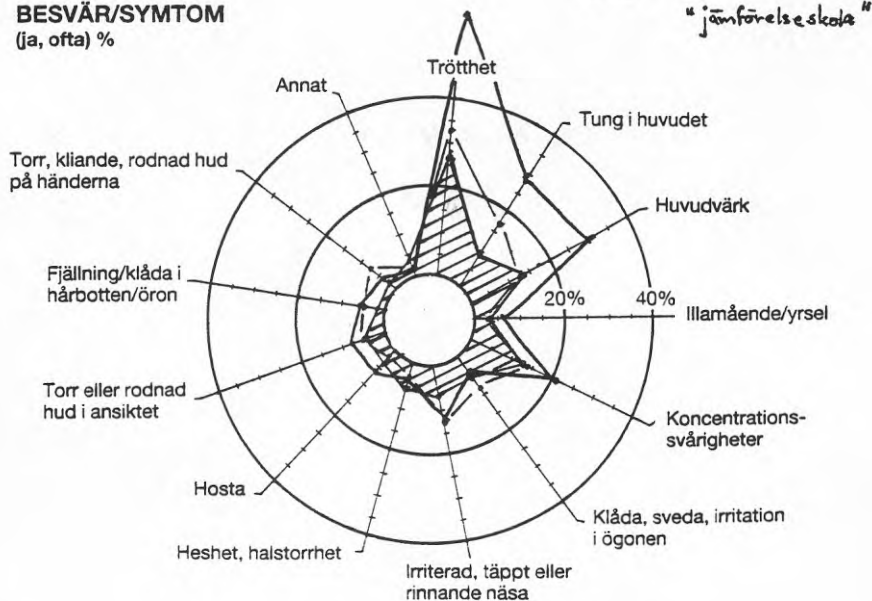
När det gäller symptomen anges att trötthet upplevs i betydligt större omfattning på hösten än på våren. I övrigt är symptomen i stort sett likvärdiga.

På Yrkesmedicinska kliniken i Örebro har man tagit fram en kurva på en "jämförelseskola" som man antar motsvarar en frisk skola. Av nedanstående figur framgår jämförelsen mellan Katedralskolan och "jämförelseskolan".

INOMHUSKLIMAT Elevenkät MM 060 NA

ARBETSBLAD

Katedralskolan - 91

elever $n = 68$ —
(dec-1991)elever $n = 74$ - - - -
(apr-1991)MILJÖFAKTORER
(ofta besvärad) %BESVÄR/SYMTOM
(ja, ofta) %

YMK's
"jämföreseskola"

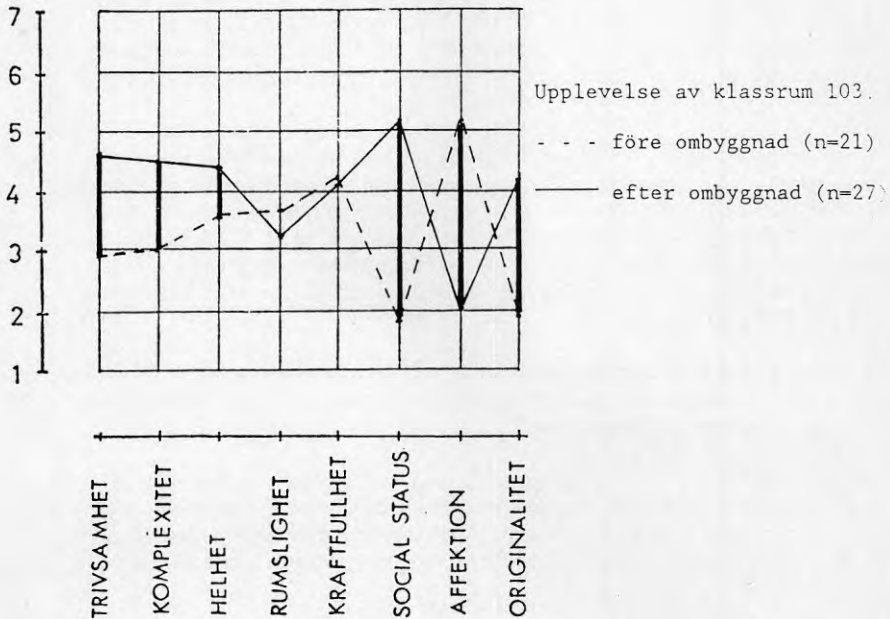
Figur 4.25. Jämförelse mellan Katedralskolan och "jämföreseskolan".

Jämförelsen tyder på att besvaren av miljöfaktorerna i Katedralskolan är "normala" eller t o m något mindre än i "jämförelseskolan", möjligtvis med undantag av låg rumstemperatur på hösten. Däremot signalerar jämförelsen att symptomen ofta är mer frekventa i Katedralskolan än i "jämförelseskolan". Speciellt verkar problem med trötthet, tyngdkänsla i huvudet och huvudvärk vara stora i Katedralskolan i december. Dessa problem torde dock inte vara byggnadsrelaterade.

4.2.2 SMB-analys

Semantisk miljöbeskrivning (SMB) innebär att systematiskt mäta och beskriva upplevelsen av byggd miljö. Vi samarbetade med Miljöpsykologiska Enheten vid Tekniska Högskolan i Lund när vi utförde SMB-analyserna.

Vi gjorde en undersökning före och en efter åtgärder. I bilaga 2 resp. 3 finns dessa undersökningar utförligt beskrivna. Sammanfattningsvis kan sägas att trivsamtalen har ökat avsevärt i samtliga tre berörda klassrum efter åtgärder. Klassrummen upplevs som mer öppna och luftiga än tidigare. De åtgärder som vidtogs har förändrat eleverns och lärares rumsupplevelse i önskvärd riktning på samtliga punkter där den första SMB-analysen gav negativa indikationer.



Figur 4.26. Resultat av SMB-analys före och efter åtgärd i ett klassrum på Katedralskolan. Se bilaga 2 och 3.

4.2.3 Termiskt klimat/luftkvalitet

I Katedralskolan gjordes endast mindre åtgärder på den befintliga ventilationsanläggningen (se kap 3). I ett klassrum installerades dock en golvlínjespridare parallellt med de befintliga takdonen. Med täta spjäll kan man bestämma om tilluften skall tillföras via takdon eller golvlínjespridaren. Dessutom installerades i detta klassrum även en takplacerad cirkulationsfläkt som elever och lärare själva kan styra.

Av övriga åtgärder påverkar endast bytet till 3-glas-fönster det termiska klimatet. Tanken med golvlínjespridaren var dels att få möjlighet att utvärdera dess funktion i ett klassrum med fönster med lågt u-värde (att komplettera mätningarna i Fagrabäckskolan) och dels att se om det var möjligt att bygga ihop den med befintligt vägghängt skåp. Se bild nedan.

Antalet mätningar i Katedralskolan är inte tillnärmelsevis så många som har gjorts i Fagrabäckskolan utan skall betraktas som ett komplement till dessa. I Katedralskolan finns det bara möjlighet att välja mellan takdon och golvlínjespridare. Luftflödet och tillufttemperaturen är konstanta (ca 600 m³/h resp ca 18 °C). Mätningarna har genomförts i klassrummet under normal lektionstid då normal undervisning har genomförts.

I stort sett överensstämmer mätresultaten i Katedralskolan med Fagrabäckskolan. Dock har vi noterat att golvlínjespridaren oftare verkar ge lägre koldioxidhalt vid nacken hos elev, jämfört med takdon, än vad som är fallet vid Fagrabäckskolan.

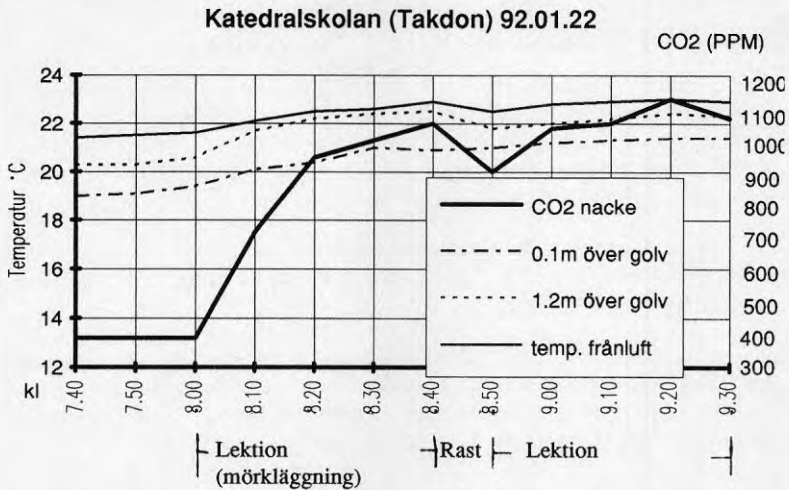
En anledning till detta kan vara att klassrummet i Katedralskolan har försetts med nya fönster med lågt U-värde (ca 2 W/m²K) och att fönsterytan har reducerats till ca 7,5 m² vilket gör att fönstrens inverkan på luftströmmarna i rummet minskar, jmf. kap 4.1.2. På Fagrabäckskolan är fönstren av 2-glastyp (U-värde ca 3 W/m²K) och ytan är ca. 12 m² (d.v.s. mer än 50 % större än ytan på Katedral).

En överslagsräkning ger vid handen att det kallrasflöde som fönstren i Fagrabäckskolan i medeltal (uttetemperatur ca +2 °C) ger upphov till är i storleksordningen dubbelt så stort som vad fönstren i Katedralskolan orsakar (ca 90 l/s resp. 40 l/s). När utetemperaturen är -10 °C blir motsvarande siffror ca 120 l/s resp. 50 l/s. Vid denna beräkning förutsätts att termostatventilerna har stängt p.g.a tillräckligt hög lufttemperatur, vilket är vanligt eftersom elever och lärare genom sin metabolism oftast bidrar med tillräckligt hög effekt.

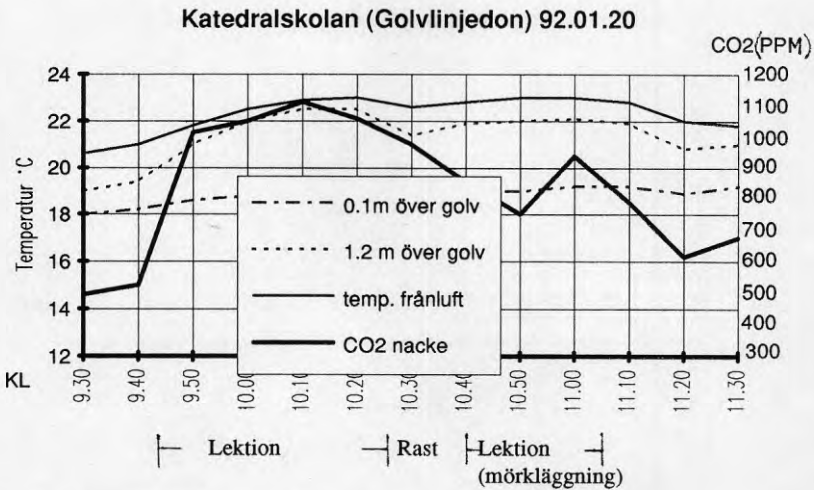
Att notera i detta sammanhang är att tilluftsflödet i Katedralskolan är konstant ca. 165 l/s medan vid Fagrabäckskolan 8 l/s och person motsvarar ca 200 l/s. Således är kallrasflödet av en icke negligerbar storlek.

En annan orsak till att golvlínjespridaren har visat bra resultat i Katedralskolan kan vara att de nya stolar som har installerats där är högre än "normala" stolar och att eleverna därför placerar fötterna på stolens fotstöd som är placerat ca 15 cm ovan golvet. Detta innebär att inga fötter försvårar tilluftens spridning vid golvet från golvlínjespridaren.

Att fönstren inverkar på luftströmmarna i rummet visas klart med följande exempel från mätningar den 22 januari 1992. Bilderna nedan visar resultat från mätningarna på förmiddagen den aktuella dagen. Utetemperaturen var ca -2 °C.



Figur 4.27. Takdon, 5.5 l/s och person. Tilluftstemperatur ca 18.5 °C.



Figur 4.28. Golvlinjespridare, 5.5 l/s och person. Tilluftstemperatur ca 18.5 °C.

Bilderna ovan visar att takdon ger en koldioxidhalt vid slutet av en lektion på ca 1050 ppm och en temperaturgradient mellan 0,1 meter och 1,2 meter över golv på 0,8 till 1,3 °C. Detta blir fallet oavsett om mörkläggningsgardinen är nerdragen eller inte.

Med golvlinjespridaren noterar vi att utan mörkläggningsgardin blir koldioxidhalten ungefär densamma som för takdon (ca 1050 ppm) medan den med mörkläggningsgardinen nerdragen sjunker till ca 800 ppm! Detta resultat, som erhållits under så lika förutsättningar som är praktiskt möjligt, visar att när fönstren blir avskärmade med en

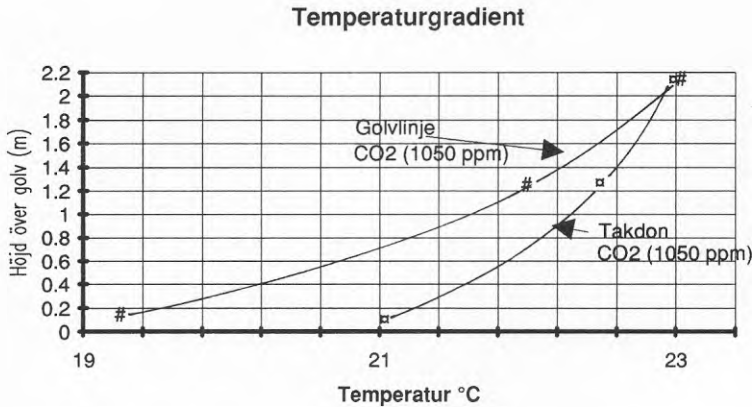
mörkläggningsgardin så framträder med all önskvärd tydlighet hur koldioxidhalten vid nacken hos en elev stabiliseras på en nivå motsvarande ca 2-300 ppm lägre än utan mörkläggningsgardin.

Enda förklaringen som vi kan tänka oss till detta är att gardinen hindrar fönstrens kallraseffekt som innebär att "koldioxidsmittad" luft från övre delen av rummet förs ner till golvet, varifrån den letar sig upp till inandningszonen med hjälp av människornas egenkonvektion. Med gardinen nere störs ej den vid golv insläppta tilluften utan kan i mindre uppblandat skick ta sig till inandningszonen.

Vi konstaterar dessutom att temperaturgradienten mellan 0,1 och 1,2 meter över golv med golvlinjespridaren blir 2,9 - 3,3 °C, vilket är för mycket enligt ISO-standardens som sätter gränsen vid 3 °C!

Vid dessa mätningar är koldioxidhalten mätt vid nacken hos en elev som satt i andra raden från fönstret (ca två meter från fönstret). Under lektionernas gång gjordes stickprovsmätningar vid nacken på elever som satt längst från fönstret. Dessa mätningar visade en maximal avvikelse på ca 100 ppm jämfört med eleven vid fönstret.

Bilden nedan sammanfattar resultatet av mätningarna den 22 januari 1992. Resultatet, som visar situationen vid slutet av resp. lektion, är typiskt för de mätningar som gjorts vid Katedralskolan.



Figur 4.30. Temperaturgradient och koldioxidhalt vid en elevs nacke med takdon resp golvlinjespridare. Utan mörkläggningsgardin. Utetemperatur ca -2 °C. Fönstertemperatur 15 - 17 °C.

Med golvlinjespridaren i drift uppmättes lufthastigheter vid golv 50 cm från donet på upp till 0.25 m/s. Detta har dock inte orsakat några klagomål på drag. En förklaring till detta kan vara att eleverna inte känner av den höga lufthastigheten vid golv då de har fötterna på fotstödet.

4.3 Bokelundskolan

På Bokelundskolan företogs endast åtgärder i liten omfattning. Ett klassrum försågs med en automatiskt styrd markis och ett ventilationsaggregat för fyra klassrum försågs med styrfunktionen nattkyla. Dessa åtgärder gjordes för att begränsa temperaturen inomhus under framför allt vår och höst. Vi genomförde ett begränsat antal momentanmätningar under den solfattiga och kalla våren 1991.

Resultatet av dessa mätningar och personalens synpunkter från framför allt den varma majmånaden 1992 pekar entydigt på att dessa båda åtgärder effektivt begränsar innetemperaturen. Man har gjort jämförande mätningar på ett klassrum försett med en automatisk markis och funnit att temperaturen inomhus blir i storleksordningen 5 grader lägre med markis jämfört med utan (25 jmf. med 30 °C) under soliga och varma dagar i maj.

Efter slutförda mätningar har förvaltningsorganisationen genomfört montage av automatiska markiser på samtliga fönster mot öster, vilket här visat sig vara en bra åtgärd för att förhindra för hög rumstemperatur.

5 Referenslista

Hus & Hälsa - Kunskapsbas, 1992. Människans och inomhusklimatet U4:1992. Ventilation U7:1992.

Svensson, A, Nilsson, B, 1990. Omblanda eller deplacera - det är frågan. Artikel i Energi & Miljö nr 12, 1990.

Belin, K. Så mycket bättre blir luften med deplacerande ventilation, 1991. Artikel i Energi & Miljö nr 11, 1990.

Mundt, Elisabeth, 1991. Temperaturgradienter och konvektionsflöde vid deplacerande ventilation. Meddelande nr 26 1991, Installationsteknik KTH.

Wyon, David, 1986. Hur påverkas produktivitet och prestation av inomhusklimatet. Artikel i VVs & Energi nr 3 1986.

Sandberg, M, Skåret, E, 1983. Luftutbyteseffektivitet & ventilationseffektivitet. Meddelande M:22 Svensk Byggtjänst.

Johansson, B.G, Kronvall, J, Lindvall, T, Wallin, A, Lindencrona, H.W. Hus & Hälsa. Inneklimat & energihushållning.

Torstensson, E, 1988. Föroreningskällor och luftkvalité i skolor Danmarks Tekniska Högskola 1988.

Mätinstrument

1.1 CO₂-mätningar

För att fastställa CO₂-halterna i klassrummet har vi använt CO₂-mätare av typ Siemens IR-photoakustik, art. nr, M52080-A0074, med mätområdena 0-3000 ppm och 0-2000 ppm. CO₂-mätarna har kalibrerats med kalibreringsgas före och efter varje mättillfälle. Vid vinter- och sommarmätningarna under 1990 användes tre olika CO₂-mätare.

Mätningarna skedde vid en mätpunkt placerad mitt i lokalen och på höjderna 0,1, 1,1 och 1,8 meter över golvnivån. Under mätningarna 1991 användes samma typ av CO₂-mätare fast enbart en mätare försedd med en sekvensomkopplare för sex olika kanaler. Mätningarna utfördes enligt tidigare, fast med tillägget att CO₂ även mättes i tilluften, frånluften och vid nacken på en elev. Mätningarna av de olika kanalerna skedde i sekvenser om 30 sekunder.

Instrumentfelet ligger inom $\pm 5\%$, inom 18 månaders kontinuerlig drift. Det totala mätfelet för CO₂-mätningarna beräknas ligga inom $\pm 10\%$.

1.2 Temperaturmätningar

Temperaturen har mätts på flera mätpunkter och på olika höjder i klassrummet. Två mätpunkter var placerade en meter in från yttervägg (fönster), längst ner i klassrummet och längst fram i klassrummet, dock inom vistelsezonen. En mätpunkt var placerad mitt i rummet och en i innerhörnet längst fram i klassrummet, dock inom vistelsezonen.

Temperaturerna mättes på höjderna 0,1, 0,6, 1,1 och 1,8 meter över golv. Dessutom mättes ute-, tillufts-, frånlufts- och avluftstemperaturen. Utöver lufttemperaturmätningarna mättes också ytemperatur på väggar, tak, golv och fönster. Radiatorens framlednings- och returtemperatur registerades också.

Samtliga temperaturgivare utgjordes av termoelement typ koppar-konstantan. Temperaturerna registrerades kontinuerligt som 10-minuters medelvärden under hela mätperioden.

Datainsamlingen gjordes med hjälp av en datalogger typ Epson. SP:s Vax-dator i Borås ringde hem mätvärden en gång varje dygn, där diagram och analys av mätvärdena också genomfördes.

Mätfelet för temperaturmätningarna beräknas uppgå till totalt $\pm 5\%$. Instrumentfel inklusive givare utgör en mätonoggrannhet på $\pm 2\%$.

1.3 Luftkvalitetsmätningar

Luftkvalitetsmätningarna innebär att luften analyserats beträffande förekomsten av flyktiga organiska ämnen (VOC). Dessutom har och förekomsten av formaldehyd kontrollerats. Provtagningen har skett med hjälp av adsorberande tenaxrör för VOC och diffusionsprovtagare för formaldehyd.

Genom termisk desorption i en gaskromatograf har de olika ämnena kunnat analyseras. För identifiering av olika ämnen har en gaskromatograf kopplad till en masspektrometer använts.

Formaldehydosimetrarna har analyserats med hjälp av HPLC-teknik.

Mätfelet för analys av luftkvaliteten beräknas ligga inom $\pm 5\%$.

1.4 Radon

Radonmätningar har utförts med hjälp av sex radonburkar försedda med aktivt kol. Radonburkarna har varit utplacerade i skolan under 4 dygn. Analys av radondotterhalten har skett på SP i Borås.

Mätfelet för registrering av radondotterhalten beräknas ligga inom $\pm 10\%$.

1.5 Mykologisk undersökning

Mykologisk undersökning innebär en kontroll av hur svampsporer nyproduceras i lokalen. Mätningarna utförs med hjälp av ett slit-sampler instrument typ BIAP. En känd luftvolym får strömma över en roterande agarplatta. Genom att jämföra sporhalten i utomhus- och i inomhusluften kan man se i vilken utsträckning svampsporer nyproduceras i lokalen. Exponeringstiden är exakt 10 minuter.

Genom det kända flödet mäts sporhalten tämligen exakt. Instrumentfelet beräknas vara $< \pm 2\%$.

1.6 Termiskt inneklimat

Termiskt inneklimat innebär mätningar av lufttemperatur, operativ temperatur, luftfuktighet, strålningstemperaturer och luftfuktighet.

För att mäta termiskt komfort har Brüel och Kjaers mätinstrument typ termisk komfortmätare 1213 och inneklimatanalysator typ 1213 använts. Mätningarna har termiskt komfort har skett vid flera mättillfällen, dels vid vintermätningarna och dels vid sommarmätningarna. Mätningarna har genomförts dels som momentanmätningar vid enskilda tillfällen och dels genom registrering av mätdata under en längre tid, med hjälp av en PC.

Mätfelet för termiskt inneklimat beräknas vara $< \pm 7\%$.

1.7 Luftutbyteseffektivitet

Mätningarna utfördes med hjälp av en spårgasutrustning typ SPete med gasanalysator typ Binos 1.1. Spårgasen utgjordes av N_2O (lustgas). Spårgasutrustningen hade totalt 9 kanaler (mätpunkter), placerade på olika platser i klassrummet och i frånluften. Spårgasen pytsades in i klassrummet strax innan alla elever kom in och fördelades jämnt, varefter mätning av avklingningsprincipen påbörjades.

Mätningförfarandet och analys av mätresultatet har följt Nordtestmetod NT-VVS 047.

Spårgaskoncentrationen vid mätningarnas påbörjande har vid olika mättillfällen varierat mellan 300-500 ppm. Avklingningsförloppet har sedan i stort sett lett till att koncentrationen sjunkit under 20 ppm på en lektionstimma.

Mätfelet för bestämning av luftutbyteseffektiviteten beräknas uppgå till $\pm 13\%$.

1.8 Luftflödesbestämning

Luftflödet över ventilationsaggregatet som betjänar klassrummet har kontrollerats vid varje mättillfälle med hjälp av tacometrarna placerade i tillufts- och i frånluftskanal.

Kalibrering av tacometrarna och kontroll av luftflödet har också vid olika tillfällen utförts med hjälp av spårgas. Vid dessa tillfällen har en gasanalysator typ Binos 1.1 för N_2O använts. Massflödesmätaren har utgjorts av typ Bronkhorst F 201 G, med konstanthållning av massflödet av N_2O . Spårgasutrustningen har också använts för att bestämma förekomsten av läckage över värmväxlaren i aggregatet och eventuell kortslutning mellan uteluftsintaget och avluften.

Mätfelet för bestämning av luftflödet beräknas med tacometrarna uppgå till $\pm 8\%$ och med spårgasutrustningen $\pm 5\%$.

Sammanställning av genomförda mätningar efter åtgärder

Förklaringar

Tak	= takdonsinblåsning
Låg	= lågimpulsdonsinblåsning
Golv	= inblåsning via golvlinjespridare
Temp.	= temperaturmätningar (gradienter på 3 olika mätpunkter)
CO ₂	= koldioxidmätningar (gradient mitt i rummet, tilluft, frånluft, närzon)
L.u.e	= luftutbyteseffektivitet
ekv.temp.	= ekvivalent temperatur (temperatur, strålningsasymmetri, lufthastighet)

Under sommarmätningarna har omfattande mätningar genomförts med "takfläkten", vilket har varit en följd av de temperaturmätningar som skett under natten. Dessa mätningar har avsett nattkylefunktionen. Takfläktens funktion under dagen har delvis avsett att öka kylningen från nattkylda väggar etc.

Vintermätningar

Typ av ventilation	Luftflöde m ³ /h	Tilluftstemp. °C	Antal person st	Typ av mätning				Anmärkning
				Temp.	CO ₂	L.u.e.	ekv. temp.	
Tak	600	21	22	x	x	x	x	kalibrering luftflöde
Tak	600	18	22	x	x		x	luften dammig
Tak	600	18	10	x			x	
Tak	600	25	19	x			x	teater, hög aktivitet
Tak	600	25	23	x	x		x	varmt
Tak	600	25	17	x	x	x	x	klagomål hög värme
Tak	900	18	22	x	x		x	sol, markis nere
Tak	900	18	24	x	x	x		sol
Tak	900	18	24	x	x	x	x	flyttning av bänkar
Tak	900	18	23	x	x	x	x	
Tak	900	18	11	x			x	radiatorgivare omisol.
Tak	900	23	20	x			x	omflyttning i salen
Tak	900	23	22	x				torr luft, för varmt
Tak	900	21	18	x	x	x	x	
Tak	900	23	9	x	x		x	
Tak	900	24	26	x	x	x	x	hög värme, dålig luft
Tak	900	23	15	x				instängd luft
Tak	1350	18	25	x	x		x	
Tak	1350	18	23	x	x	x	x	
Tak	1350	18	11	x			x	markis nere
Tak	1350	21	22	x	x	x	x	markis nere, dålig luft
Tak	1350	23	20	x	x		x	markis nere
Tak	1350	21	15	x	x	x	x	omflyttning i salen
Tak	1350	23	13	x			x	kalibrering luftflöde
Tak	450	21	22	x	x	x	x	markis nere, liten aktivitet
Tak	450	18	22	x	x	x	x	markis nere, lugn lektion

Låg	900	18	23	x	x	x	x	ny max. begr. termostat
Låg	900	18	18	x	x		x	markis nere
Låg	900	18	12	x			x	omflyttning i salen
Låg	900	18	25	x	x	x	x	
Låg	900	21	15	x			x	grupparbeten
Låg	900	21	21	x	x		x	
Låg	900	21	26	x	x	x	x	prov
Låg	1350	18	18	x	x		x	markis nere
Låg	1350	18	21	x	x	x	x	en elev klagat på dålig luft
Låg	1350	18	12	x			x	läxföbör, lugnt
Låg	1350	21	23	x			x	markis nere
Låg	1350	21	10	x	x		x	kalibrering luftflöde
Låg	1350	21	21	x	x	x	x	
Låg	450	18	24	x	x		x	frisk, bra luft
Låg	450	18	8	x	x	x	x	(tandborstning)
Låg	450	18	12	x	x	x	x	
Låg	450	21	21	x	x		x	
Låg	450	21	14	x		x	x	dålig luft i början
Låg	450	21	13	x		x	x	kalibrering luftflöde
Golv	450	18	22	x	x	x	x	rörelse, vaccinering
Golv	450	18	25	x	x		x	dörr öppen
Golv	450	18	13	x			x	låg rumstemp. bra klimat
Golv	450	21	9	x			x	teater, rörelse
Golv	450	21	22	x	x		x	
Golv	450	21	19	x	x	x	x	prov
Golv	900	18	16	x	x	x	x	viss rörelse hela lektionen
Golv	900	21	13	x			x	svalt, rörig lektion
Golv	900	21	22	x	x	x	x	prov
Golv	900	21	16	x	x		x	
Golv	1350	21	25	x	x	x		sol
Golv	1350	18	24	x	x		x	elever kom sent
Golv	1350	18	25	x	x	x	x	viss rörelse i salen
Golv	1350	18	11	x			x	kalibrering spårgas
Golv	1350	21	16	x			x	
Golv	1350	21	24	x	x		x	prov
Golv	1350	21	16	x	x	x	x	strömavbrott
Golv	1350	21	12	x		x		

Sommarmätningar

Tak	550	18	23	x				kalibrering luftflöde
Tak	600	18	23	x			x	dålig luft
Tak	600	18	12	x	x		x	varmt vid fönster
Tak	600	18	21	x			x	
Tak	600	18	20	x			x	rörelse i salen
Tak	600	18	0	x			x	nattmätning
Tak	600	18	8	x				liten aktivitet
Tak	600	18	12	x				
Tak	600	18	18	x			x	sol
Tak	550	18	23	x				prov
Tak	550	15	14	x	x		x	grupparbete
Tak	550	18	24	x	x			

Tak	550	18	24	x	x		kalibrering luftflöde
Tak	550	18	19	x	x		
Tak	550	18	22	x	x		takfläkt
Tak	550	18	11	x	x		
Tak	550	18	21	x	x	x	prov, dålig luft
Tak	500	18	24	x	x	x	markis nere
Tak	500	18	14	x	x	x	
Tak	500	18	24	x	x	x	dålig luft
Tak	500	18	10	x	x	x	
Tak	500	18	24	x	x		kalibrering luftflöde
Tak	600	18	22	x	x		takfläkt
Tak	600	15	22	x	x	x	
Tak	500	20	25	x	x	x	takfläkt, dålig luft
Tak	500	18	24	x	x	x	takfläkt
Tak	500	18	23	x	x		
Tak	500	18	24	x	x		
Tak	500	18	27	x	x	x	varmt, takfläkt igång
Tak	500	18	21	x	x	x	kvalmigt i början
Tak	500	18	23	x	x	x	soligt, ej markis
Tak	700	18	23	x	x	x	nattkyla tidigare
Tak	700	18	24	x	x	x	dålig luft
Tak	700	18	22	x	x	x	takfläkt igång
Tak	700	18	16	x	x	x	takfläkt lågfart
Tak	700	18	12	x		x	
Tak	700	18	21	x	x	x	bra klimat
Tak	700	18	24	x	x	x	bra klimat
Tak	700	18	22	x	x	x	nattkyla tidigare
Tak	700	23	13	x	x	x	takfläkt
Tak	700	23	23	x	x	x	takfläkt
Tak	700	23	8	x	x	x	takfläkt
Tak	700	22	25	x	x	x	takfläkt
Tak	700	21	26	x	x	x	takfläkt
Tak	700	20	21	x	x	x	nattkyla tidigare
Tak	700	25	23	x	x	x	takfläkt
Tak	700	22	23	x	x	x	varmt
Tak	700	20	23	x	x	x	blåser vid en elev
Tak	700	25	17	x	x	x	fläkten störande
Golv	600	18	22	x			
Golv	600	18	27	x			lite kallt
Golv	600	18	24	x	x		grupparbeten
Golv	600	18	25	x	x		kalibrering luftflöde
Golv	900	18	11	x	x	x	
Golv	900	18	24	x	x	x	dålig luft i början
Golv	500	18	25	x	x	x	dålig luft
Låg	500	18	25	x	x	x	dörren delvis öppen
Låg	500	21	21	x	x		1st lågimpulsdon
Låg	500	18	23	x	x		1st lågimpulsdon
Låg	500	18	24	x	x	x	läraren klagar på luften
Låg	700	18	23	x	x	x	prov
Låg	700	18	25	x	x		1st lågimpulsdon
Låg	700	18	24	x	x	x	1st lågimpulsdon

SMB-ANALYS AV TRE KLASSRUM VID KATEDRALSKOLAN I VÄXJÖ

Bakgrund

På uppdrag av Stefan Olsson, FLK Växjö, besökte jag 29 mars 1990 Katedralskolan i Växjö. I gruppen ingick också arkitekten Martin Lindstam och inredningsarkitekten Birgitta Harrysson. Uppdraget avsåg analys av skolmiljön från miljöpsykologisk utgångspunkt, särskilt den visuella miljön i klassrum 101, 103 och 104. Klassrummen ifråga skulle bli föremål före renovering i en pilotstudie som FLK genomför tillsammans med Växjö Kommun.

Mina synpunkter och förslag till åtgärder lämnades vid ett sammanträde, där även Bengt Löqvist och Ulf Holmqvist från kommunens fastighetskontor medverkade. Vid sammanträdet beslöts att besiktningen skulle kompletteras med en SMB-analys baserad på elevers och lärares bedömning av de egna skollokalerna.

SMB-metoden

Inom miljöpsykologin har metoder utvecklats med vars hjälp miljöupplevelsen kan studeras i olika avseenden. Semantisk miljöbeskrivning (SMB) utgör resultatet av många års arbete att systematiskt mäta och beskriva upplevelse av byggd miljö. Med hjälp av ett bedömningsformulär bestående av 36 skalor insamlas data om hur en grupp personer upplever en bestämd plats, i detta fall klassrum. Efter bearbetning redovisas resultaten i form av en upplevelseprofil med skriftlig kommentar. Profilen ger i lättförståeliga termer en bild av hur

platsen upplevs. Genom långvarigt praktiskt såväl som teoretiskt arbete med SMB-metoden har det blivit möjligt att relatera upplevelseprofilen till egenskaper i den fysiska miljön (tabell 1). Metoden har dokumenterat hög reliabilitet och värdena har visat sig mycket stabila över tid. Skalorna har även utnyttjats i tvärkulturella jämförelser.

Tabell 1. De åtta miljöfaktorer som mäts med SMB-metoden

<u>Faktor</u>	<u>Definition</u>
TRIVSAMHET	Den grad av trivsel, skönhet och trygghet som närmiljön ger intryck av
KOMPLEXITET	Närmiljöns livlighet och variationsrikedom
HELHETSGRAD	Hur väl olika delar av närmiljön synes passa ihop eller fungera tillsammans
RUMSLIGHET	Graden av rumskänsla, slutenhet och avgränsning hos rummet
KRAFTFULLHET	Uttryck av kraft hos närmiljön och dess komponenter
SOCIAL STATUS	Ekonomisk och social värdering av närmiljön
AFFEKTION	En åldersaspekt hos närmiljön men också en känsla av igenkänning
ORIGINALITET	Det ovanliga eller överraskande i en närmiljö

Genomförande

Bedömningsinstrumentet tillställdes arkitekt Harrysson som ansvarade för administrering och insamling av bedömningsunderlaget. Anvisningar för administrering bifogades skriftligen samt diskuterades per telefon.

Bedömningen av de tre klassrummen ägde rum vecka 14 under följande förutsättningar.

Klassrum 101 (Hemklassrum)

Tid: 8.00-8.15

Solig väderlek men rummet helt i skuggan

Gardiner frändragna

Takbelysning tänd

Antal lärare: 1

Antal elever: 11 (halvklass)

Klassrum 103 (Ej hemklassrum)

Tid: 8.50-9.05

Solig väderlek men rummet i skugga

Gardiner frändragna

Takbelysning tänd

Antal lärare: 1

Antal elever: 20

Klassrum 104 (Hemklassrum)

Tid: 9.45-10.00

Solig väderlek. Sol i klassrummet

Gardiner fördragna

Takbelysning tänd

Antal lärare: 1

Antal elever: 17

Bearbetning

Materialet, som tillsänts mig för bearbetning och analys, framstår som mycket tillförlitligt. Av totalt nära tvåtusen bedömningar har endast tre överhoppats. Detta har kompenserats på statistisk väg. Lång erfarenhet visar också att grupper av det slag som här medverkat, dvs gymnasieelever och lärare, inte har några svårigheter att utföra bedömningarna enligt givna anvisningar. Reliabiliteten kan därför anses som mycket god.

På basis av underlaget har upplevelseprofiler beräknats dels för varje klassrum för sig, dels för miljön i sin helhet. Uppdelning har också gjorts dels mellan lärare och elever, dels mellan pojkar och flickor. Någon mer avancerad statistisk analys har däremot inte genomförts på föreliggande material. Erfarenhetsmässigt är SMB-bedömningar med gruppstorlekar på 15 à 20 individer mycket stabila och man kan räkna med att skillnader på c:a ett skalsteg är statistiskt säkerställda.

Jämförelse mellan de tre klassrummen

Som framgår av figur 1 är profillikheten, dvs överensstämmelsen i upplevelse för de tre klassrummen, mycket stor. Detta är också att vänta eftersom möblering, färgsättning och inredningen i övrigt är likartad. I jämförelse med de båda övriga ligger klassrum 101 något högre i trivsamt och komplexitet, medan klassrum 104 ligger högre i rumslighet, dvs upplevs som något mer slutet. Det senare är troligen en effekt av att gardinerna var fördragna i detta klassrum. De små olikheterna i upplevelse mellan de olika klassrummen gör det motiverat att ta fram en totalprofil för materialet i sin helhet.

Analys av upplevelseprofil baserad på samtliga klassrum

Som framgår av figur 2 uppvisar SMB-profilen för materialet i sin helhet flera karaktäristiska särdrag. För det första är trivsamtheten låg med ett totalt medelvärde på $M=2.9$. Detta ger stöd för uppfattningen att den visuella miljön upplevs som ful och tråkig och bör åtgärdas.

Totalkurvan ger också ytterligare underlag för analysen. Värdena i komplexitet och helhetsgrad är alltför låga ($M=3.2$ respektive $M=3.5$). Klassrummen upplevs vare sig varierade eller helhetsbetonade. Vi har i flera tidigare undersökningar funnit att hög komplexitet, som balanseras av hög helhetsgrad, ger en trivsamt och stimulerande miljö. En väsentlig åtgärd bör därför vara att öka den visuella komplexiteten på sådant sätt att helhetsintrycket bibehålls,

eller t o m förstärks. Detta kan ske t ex genom en färgmässig rumsgestaltning som följs upp i möblering, textilier, och övriga inredningsdetaljer.

En annan negativ indikation i profilen utgörs av kombinationen hög affektion (M=5.2) och mycket låg social status (M=1.9). Affektion innebär att en miljö känns välbekant och invand, och kan i sig vara uttryck för positiva känslor av tillhörighet. Kopplad till låg social värdering innebär det i stället att miljön upplevs som gammal och nersliten. Åtgärder bör därför inriktas på att modernisera och underhålla interiören.

Slutligen framstår också värdet i originalitet som alltför lågt (M=2.2). En mer varierad färgsättning kompletterad med t ex bildkonst och någon udda inredningsdetalj bör komma tillrätta med detta och öka upplevelse av originalitet.

Jämförelse mellan pojkar och flickor

Hela materialet delades upp i en grupp bestående av pojkar samt två manliga lärare respektive flickor samt en kvinnlig lärare. Som framgår av figur 3 är upplevelseprofilerna för dessa två grupper nästan identiska. Man har heller inte anledning förvänta någon könsbunden skillnad i upplevelse av den typ av neutrala miljö som klassrum utgör.

Lärarnas upplevelseprofil

Slutligen togs en separat profil fram som baserades på de tre lärarnas bedömningar. Denna visas i figur 4. Som framgår av figuren skiljer sig lärarna från eleverna endast genom sin något lägre helhetsupplevelse. Samtliga tre lärare låg under genomsnittet för hela materialet. Det bör emellertid framhållas att gruppen är alltför liten för att någon säker slutsats skall kunna dras i detta avseende.

Slutsatser

Förutsättningarna för att SMB-metoden skulle kunna tillämpas var fullt tillfredsställande. Upplevelseprofilerna för de tre klassrummen gav ett entydigt underlag för analysen som ytterligare stöddes genom överensstämmelsen mellan pojkar och flickor, samt mellan lärare och elever.

Det ganska låga värdet i trivsamt visar tydligt att den visuella miljön bör åtgärdas. Åtgärder bör inriktas mot att höja komplexitet och helhetsgrad, med bibehållen balans mellan dessa två faktorer. Dessutom bör obalansen mellan social status och affektion åtgärdas genom insatser som ökar den förra. Slutligen bör även det alltför låga värdet avseende originalitet åtgärdas. Det föreligger inga andra egenheter i vare sig totalprofilen eller i profilerna för delmaterialen.

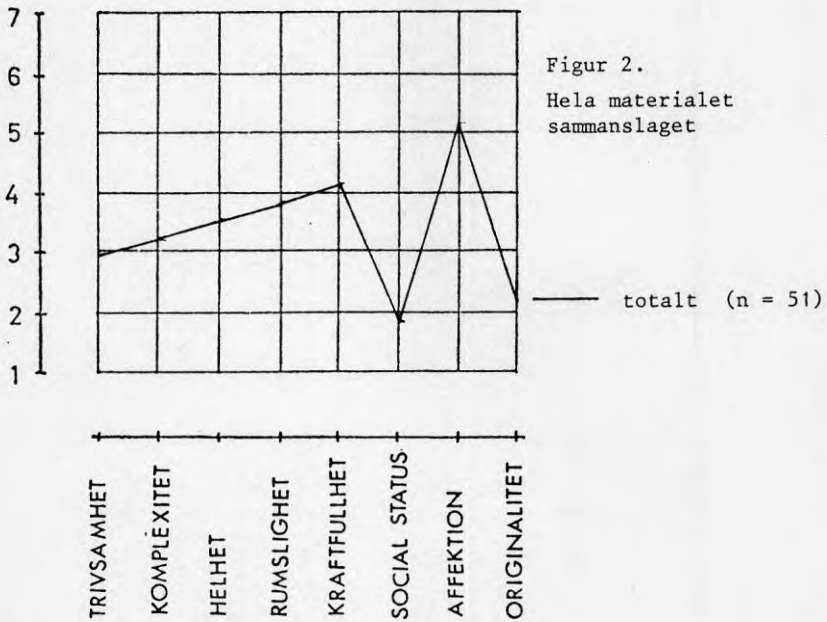
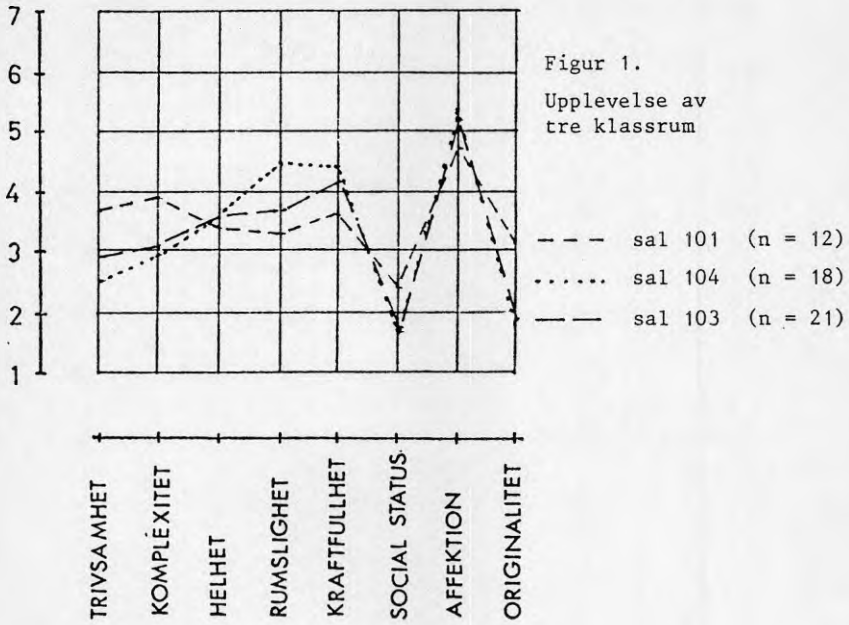
Konkreta förslag till åtgärder har antytts ovan men ävilar i första hand inredningsarkitekten. Jag har också haft direkt kontakt med arkitekt Harrysson i denna fråga. SMB-metoden kan komma ifråga för bedömning av sådana förslag, antingen i modell eller i fullskala.

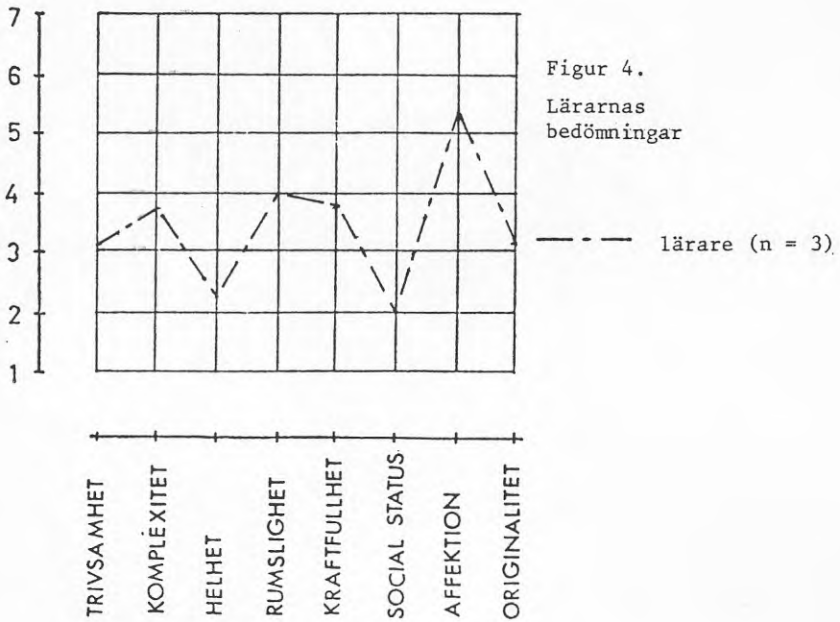
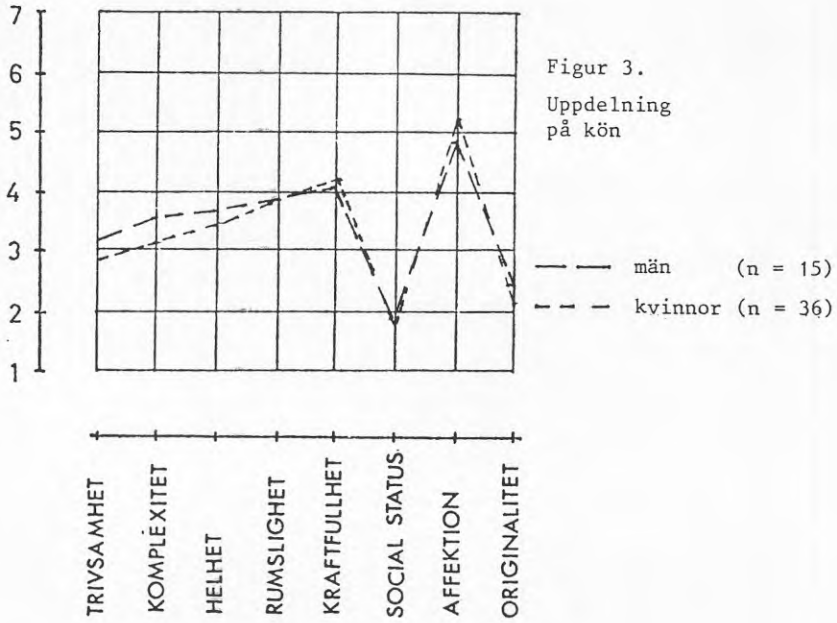
Lund den 3 maj 1990



Rikard Küller

Docent





UTVÄRDERING EFTER OMBYGGNAD AV TRE KLASSRUM VID KATEDRALSKOLAN I VÄXJÖ

Bakgrund

I april 1990 genomfördes, på uppdrag av Stefan Olsson, FLK, Växjö, en SMB-analys av tre klassrum vid Katedralskolan i Växjö. De förslag tolkningen ledde fram till utgjorde en del av underlaget för den ombyggnad som senare genomfördes. Vi har nu nästan exakt ett år senare genomfört en ny SMB-analys, vilken ligger till grund för denna utvärdering av ombyggandens effekter, vad avser elevers och lärares upplevelse av klassrumsinteriören.

Analys av upplevelseprofiler före ombyggnad (april 1990)

Då vi 1990 analyserade lärarnas och elevernas upplevelser av sina respektive klassrum (101, 103, 104) fann vi stora överensstämmelser i upplevelsen. Detta medförde att tolkningen blev likartad för samtliga tre klassrum. De rekommendationer detta ledde fram till kunde sammanfattas på följande sätt:

För det första var trivsamtheten låg med ett totalt medelvärde av $M=2.9$ på en sjugradig skala. Detta gav stöd för uppfattningen att den visuella miljön upplevdes som ful och tråkig och borde åtgärdas.

Värdena i komplexitet och helhetsgrad var alltför låga ($M=3.2$ respektive $M=3.5$). Klassrummen upplevdes vare sig varierade eller helhetsbetonade. Vi har i flera tidigare undersökningar funnit att hög komplexitet, som balanseras av hög helhetsgrad, ger en trivsam och stimulerande miljö. En väsentlig åtgärd borde därför vara att öka den visuella komplexiteten på sådant sätt att helhetsintrycket bibehålls, eller t o m förstärks. Detta kan ske t ex genom en färgmässig rumsgestaltning som följs upp i möblering, textilier, och övriga inredningsdetaljer.

En annan negativ indikation i profilerna utgjordes av kombinationen hög affektion ($M=5.2$) och mycket låg social status ($M=1.9$). Affektion innebär att en miljö känns välbekant och invand, och kan i sig vara uttryck för positiva känslor av tillhörighet. Kopplad till låg social värdering innebär det i stället att miljön upplevs som gammal och nersliten. Åtgärder borde därför inriktas på att modernisera och underhålla interiören.

Slutligen framstod också värdet i originalitet som alltför lågt ($M=2.2$). En mer varierad färgsättning kompletterad med t ex bildkonst och någon udda inredningsdetalj borde komma tillrätta med detta och öka upplevelsen av originalitet.

Vidtagna åtgärder

De i samband med ombyggnaden av inredningsarkitekt Birgitta Harrysson utarbetade förslagen omfattar byte av golvmaterial, inredning, textilier och vissa belysningsarmaturer, färgsättning av väggar, tak, anslagstavlor, foder och lister samt radiatorer och ventilationstrummor. (PM Färg 900607) Dessutom har bänkar och stolar bytts ut samt sollameller monterats.

Genomförande av utvärdering efter ombyggnad (april 1991)

Liksom vid förra tillfället tillställdes bedömningsinstrumentet arkitekt Harrysson som ansvarade för administrering och insamling av bedömningsunderlaget. Anvisningar för administrering bifogades skriftligen samt

diskuterades per telefon. Bedömningen av de tre klassrummen ägde rum under följande förutsättningar.

	<u>1990</u>	<u>1991</u>
<u>Klassrum 101</u>	Vecka 14 Tid: 8.00-8.15 Solig väderlek Rummet i skuggan Gardiner fråndragna Takbelysning tänd Antal lärare: 1 Antal elever: 11	Vecka 17 Tid: 10.35-10-45 Soldis Rummet i skuggan Gardiner fråndragna Sollameller uppdragna Takbelysning tänd Antal lärare: 1 Antal elever: 14
<u>Klassrum 103</u>	Vecka 14 Tid: 8.50-9.05 Solig väderlek Rummet i skuggan Gardiner fråndragna Takbelysning tänd Antal lärare: 1 Antal elever: 20	Vecka 17 Tid: 8.50-9.05 Solig väderlek Rummet i skuggan Gardiner fördragna Sollameller uppdragna Takbelysning tänd Antal lärare: 1 Antal elever: 26
<u>Klassrum 104</u>	Vecka 14 Tid: 9.45-10.00 Solig väderlek Sol i klassrummet Gardiner fördragna Takbelysning tänd Antal lärare: 1 Antal elever: 17	Vecka 17 Tid: 8.00-8.15 Solig väderlek Sol i klassrummet Gardiner fördragna Sollameller neddragna Takbelysning tänd Antal lärare: 1 Antal elever: 30

Som framgår av ovanstående sammanställning var förhållandena vid de två tillfällena (1990 och 1991) likartade, varför förutsättningarna för en jämförelse bör vara goda.

Bearbetning

Materialet, som tillsänts mig för bearbetning och analys, framstår som mycket tillförlitligt. I klassrum 101 bortföll en elev vars formulär var ofullständigt ifyllt samt två formulär, vilka ifyllts av finska gästeläver med uppenbara språksvårigheter. I klassrum 104 bortföll två formulär, varav ett ofullständigt och ett felaktigt ifyllt. Totalt återstod 68 korrekt ifyllda formulär för bearbetning och analys (jämfört med 51 vid föregående tillfälle).

Lång erfarenhet visar att grupper av det slag som här medverkat, dvs gymnasieelever och lärare, sällan har några svårigheter att utföra bedömningarna enligt givna anvisningar. Reliabiliteten kan därför anses som mycket god, utom i klassrum 101, där antalet bedömare var ganska litet.

På basis av underlaget har upplevelseprofiler beräknats för varje klassrum, såväl före som efter ombyggnaden. Materialet har också bearbetats med envägs variansanalys för oberoende grupper. I de fall någon föändring i upplevelsen skett, kan vi således fastställa om denna är statistiskt signifikant. Klassrummen har bearbetats var för sig med avseende på de åtta miljöfaktorer som mäts med SMB-metoden.

Resultat

Klassrum 101

Som framgår av figur 1 har trivsamheten i klassrum 101 ökat med nära en och en halv enheter och ligger nu ganska högt. Den sociala värderingen har ökat med mer än två enheter, vilket är en ytterst påtaglig förbättring. Affektionen har sjunkit med ungefär lika mycket och klassrummet upplevs nu som nytt och modernt.

Klassrum 103

I klassrum 103 har trivsamheten ökat med mer än en och en halv enheter (figur 2). Såväl komplexitet som helhet har också ökat och ligger nu och balanserar varandra bättre än tidigare. Den sociala värderingen har ökat högst avsevärt, medan affektionen har minskat kraftigt. Slutligen har originaliteten höjts från ett tidigare mycket lågt värde till en acceptabel nivå.

Eftersom klassrum 103 hade bedömts av ungefär lika många pojkar som flickor, kunde vi också jämföra deras bedömningar. I samtliga åtta miljöfaktorer var överensstämmelsen mycket god. Det fanns ingen statistiskt signifikant skillnad och inte heller någon tendens till skillnad mellan pojkarnas och flickornas bedömningar. Detta ger ytterligare stöd åt uppfattningen att bedömningarna har hög reliabilitet.

Klassrum 104

Även i klassrum 104 har trivsamheten ökat avsevärt, med mer än två enheter (figur 3). Komplexiteten har höjts till en mer acceptabel nivå än tidigare. Rumsligheten har minskat, varför detta klassrum nu upplevs som mer öppet och luftigt. Den sociala värderingen har ökat med nära tre enheter och affektionen har minskat med ungefär lika mycket. Originaliteten slutligen, har ökat från ett värde som tidigare var mycket lågt.

Sammanfattning

Förändringarna sammanfattas i nedanstående tabell.

SMB-faktor	Klassrum 101		Klassrum 103		Klassrum 104		Kommentar
	Ändring	p=	Ändring	p=	Ändring	p=	
Trivsamtet	+1.3	.01	+1.7	.0000	+2.3	.0000	ökar
Komplexitet			+1.5	.0000	+1.1	.0001	ökar
Helhetsgrad			+.8	.01			ökar något
Rumslighet			-.5	.09	-1.2	.0003	minskar något
Kraftfullhet					-.3	.06	oförändrad
Social status	+2.2	.0000	+3.4	.0000	+2.8	.0000	ökar mycket
Affektion	-2.4	.0000	-3.2	.0000	-3.0	.0000	minskar mkt
Originalitet			+2.3	.0000	+1.2	.0000	ökar

I samtliga tre klassrum har trivsamteten ökat ganska avsevärt och ligger nu väl över genomsnittet.

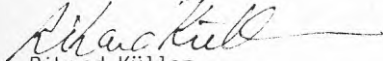
Kombinationen av låg social värdering och hög affektion, som innebar att miljön upplevdes som gammal och nersliten, har nu förbytt i sin motsats, hög social värdering och låg affektion. Samtliga klassrum upplevs nu i stället som nya och fräscha.

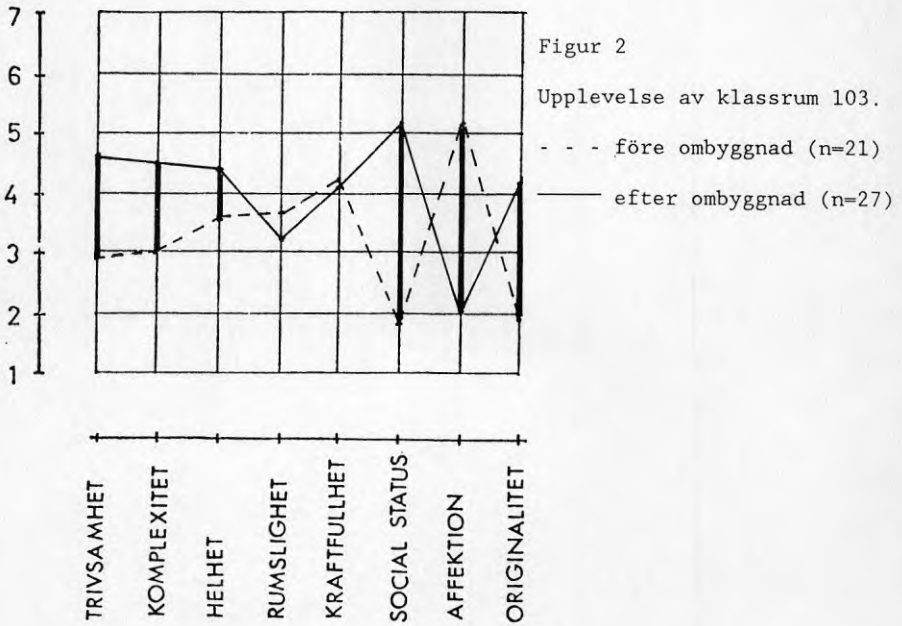
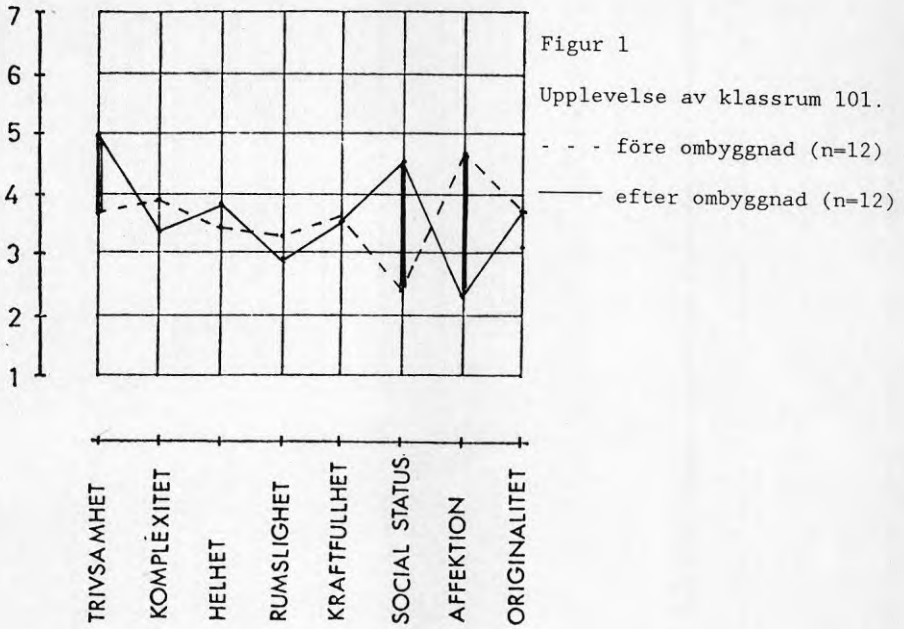
I två av klassrummen, 103 och 104, har komplexiteten ökat, och i klassrum 103 även helheten. Balansen mellan dessa två egenskaper är nu bättre tillgodosedd än tidigare. I dessa två klassrum har även originaliteten ökat och ligger nu i samtliga rum på en acceptabel nivå.

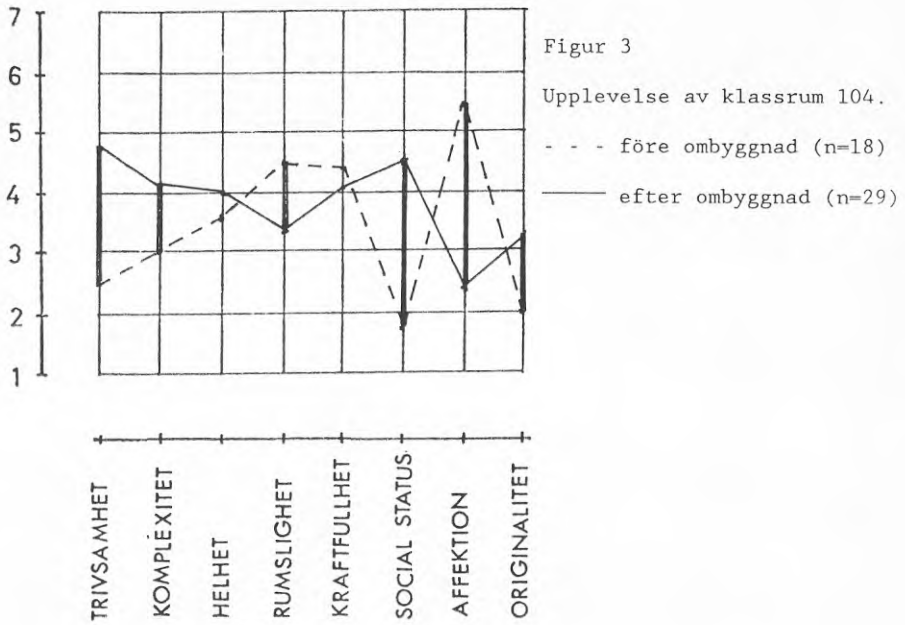
Slutligen upplevs klassrummen också som mer öppna och luftiga än tidigare, även om detta endast når statistisk signifikans i ett av rummen.

Sammanfattningsvis kan sägas att de åtgärder som vidtagits förändrat elevens och lärarens rumsupplevelse i önsvärd riktning på samtliga punkter där den första SMB-bedömningen gav negativa indikationer.

Lund den 27 juni 1991


Rikard Küller
Docent





R15:1993

ISBN 91-540-5530-X

Byggeforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6813015

Abonnemangsgrupp:

W. Installationer

Distribution:

Svensk Byggtjänst

171 88 Solna

Cirkapris: 87 kr inkl moms

