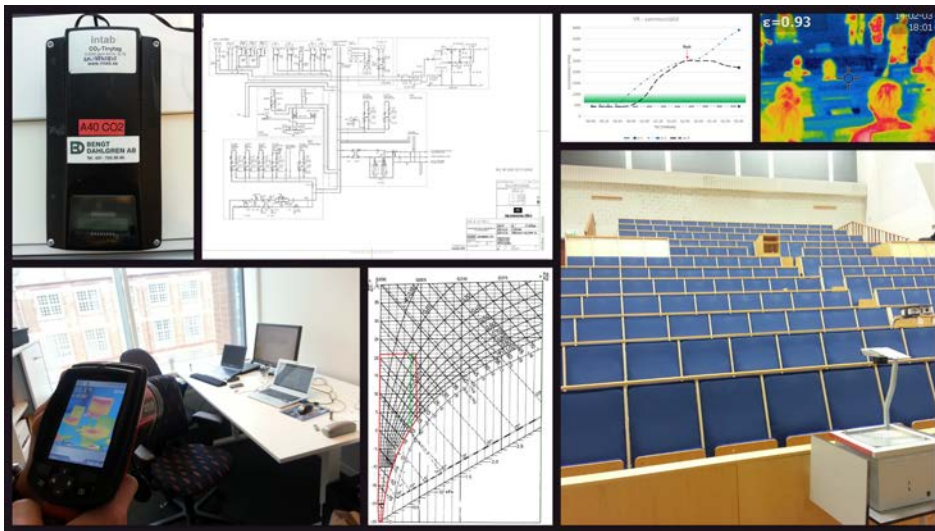


CHALMERS



V-sektionens inomhusklimat

Kvalitet, konsekvenser och möjliga åtgärder

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MAGNUS BENGTSSON
REBECKA OHLSSON

Institutionen för Energi och miljö
Avdelningen för Installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2014
Examensarbete 2014:04

Comment [mp1]: The rear of the cover page is left blank

EXAMENSARBETE 2014:04

V-sektionens inomhusklimat

Kvalitet, konsekvenser och möjliga åtgärder

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MAGNUS BENGTTSSON

REBECKA OHLSSON

Institutionen för Energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2014

V-sektionens inomhusklimat
Kvalitet, konsekvenser och möjliga åtgärder
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

MAGNUS BENGTTSSON
REBECKA OHLSSON

© MAGNUS BENGTTSSON, REBECKA OHLSSON 2014

Examensarbete/Institutionen för Energi och miljö,
Chalmers tekniska högskola 2014:04

Institutionen för Energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Kollage av figurer och bilagor som finns i rapporten.

Institutionen för Energi och miljö
Göteborg 2014

V-sektionens inomhusklimat

Kvalitet, konsekvenser och möjliga åtgärder

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MAGNUS BENGTSSON

REBECKA OHLSSON

Institutionen för Energi och miljö

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Ett gott inomhusklimat är viktigt för att prestationsförmågan ska hålla sig på en bra nivå. Små avvikelser i ventilationen kan medföra besvär som till exempel trötthet, huvudvärk och försämrade koncentrationssvårigheter. Elever på V-sektionen vid Chalmers tekniska högskola har upplevt bristande inomhusklimat i framförallt de stora föreläsningssalarna där många föreläsningar hålls för ett stort antal människor. Syftet med detta projekt var att kartlägga i vilket skick inomhusklimatet var i dessa salar och vad det fanns för möjliga åtgärder att vidta för att göra det bättre. För att kartlägga klimatet har det bland annat gjorts mätningar av koldioxidhalt och temperatur under föreläsningstid samtidigt som studiebesök har gjorts för att få fram underlag så som reglerparametrar och driftkort för ventilationssystem. Denna kartläggning visade på dåligt optimerade ventilationssystem med antingen kraftig överventilation eller helt avstängd sådan. Slutsatsen av detta har kunnat dras att med en bättre kommunikation mellan brukare och ägare för fastigheten hade synpunkter på klimatet kunnat framföras för att åskådliggöra bristfälligheter som orsakar komfortproblem. Så pass enkla åtgärder som CO₂-frånluftsgivare kombinerat med bättre reglerstrategi kan vara tillräckligt för att göra såpass stora förändringar att det blir ett mer trivsamt och lämpligt studieklimat samtidigt som energibesparingar görs.

Nyckelord: Inomhusklimat, ventilation, mätningar, koldioxidhalt, temperatur, driftkort, givare, styrning, energibesparing

V's indoor climate

Quality, consequences and possible remedies

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Bachelor of Science in Building and Civil Engineering

MAGNUS BENGTTSSON

REBECKA OHLSSON

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building Services Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

A good indoor climate is important to ensure that performance capacity is kept at a good level. Small deviations in the ventilation can lead to problems such as fatigue, headaches and impaired concentration. Students at the V-section at Chalmers University has experienced inadequate indoor climate, especially in the large lecture halls where many lectures are held for a large number of people. The purpose of this project was to survey the condition of the indoor climate in these halls, and what the possible measures are to take to make it better. To map the climate, among other things, measurements of carbon dioxide concentrations and temperature during lectures has been made and also study visits to obtain documentation such as control parameters and operation cards for ventilation systems. This survey showed poorly optimized ventilation system with either too vigorous ventilation or completely switched off. The conclusion of this has been drawn that with a better communication between users and owners of the property, views on climate could be presented to illustrate the shortcomings that cause comfort problems. Such simple measures as CO₂ extract air sensors combined with better control strategy can create changes enough to make changes to create a more pleasant and appropriate study climate whilst energy savings are made.

Keywords: Indoor climate, ventilation, measurements, carbon dioxide, temperature, sensors, control, energy savings

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
DEFINITIONER	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Problemställning	1
1.4 Avgränsningar	2
2 METOD	3
2.1 Studiebesök	3
2.2 Källor	3
2.2.1 Muntliga källor	3
2.2.2 Skriftliga källor	3
2.3 Litteraturstudier	4
2.4 Mätningar	4
2.4.1 Koldioxid	5
2.4.2 Temperatur	5
2.4.3 Flöde och lufthastighet	7
3 TEORI	8
3.1 Koldioxidens påverkan på människan	8
3.2 Temperaturens påverkan på människan	10
3.2.1 Allmänt	10
3.2.2 Kyla	10
3.2.3 Värme	11
4 SYSTEMUPPBYGGNAD	12
4.1 Ventilation	12
4.2 Värme	12
5 MÄTNINGAR	13

5.1	Flöde, lufthastighet och fläkteffekt	13
5.2	Temperatur	14
5.3	Koldioxid	15
6	ANALYS	19
6.1	Flöde och tilluftshastighet	19
6.2	Värmetillförsel	20
6.3	Luftkvalitet	20
6.4	Drifttider	20
7	UTVÄRDERING OCH DISKUSSION	21
7.1	Problem och dilemman vid mätningar	21
7.2	Möjliga åtgärder	22
7.2.1	Ventilation	22
7.2.2	Värme	23
8	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	24
9	FORTSATTAS STUDIER	25
10	REFERENSER	26

Förord

Detta examensarbete utförs som en avslutande del i Byggingenjörsprogrammet (180 högskolepoäng) på Chalmers tekniska högskola och omfattar 15 högskolepoäng (10 heltidveckor). Uppdraget var en idé som vi själva tyckte var spännande utifrån egna upplevelse och vi fick den stora möjligheten att utföra uppgiften med assistans av Bengt Dahlgren AB.

Eftersom att vi båda läste fördjupningskurser inom installationsteknik så var detta examensarbete mycket givande då det blev ytterligare en fördjupning inom ämnet och en tillämpning av våra kunskaper. Att vi valde ett ämne som handlar om inomhusklimat i skolor känns både relevant utav egna erfarenheter och aktuellt med tanke på skolans framtida planer om ombyggnad.

Vi vill tacka vår handledare Roger Håkansson på Bengt Dahlgrens AB för all hjälp och tid han skänkt oss och vill även rikta ett tack till de övriga medarbetarna på företaget. Vi vill även tacka samtliga berörda på avdelningen för Installationsteknik på Chalmers tekniska högskola för deras stöd och hjälp under arbetets gång. Vårt största tack vill vi rikta till Anders Trüschel på avdelningen som gjort vår resa inom installationsteknik extra rolig och givande, utan dig hade vi aldrig kunnat skapa oss den värdefulla kunskap som vi besitter idag.

Göteborg juni 2014
Magnus Bengtsson
Rebecka Ohlsson

Definitioner

I listan nedan så definieras ord som används i rapporten och förklaras med hjälp utav läroboken Projektering av VVS-installationer (Catarina Warfvinge & Mats Dahlblom 2010)

<i>Behovsstyrning</i>	Styrning genom att mäta en eller flera parametrar och styra mot önskade värden på dessa.
<i>Luftflöde</i>	Mängd luft som tillförs i en lokal. Luftflöde anges i kubikmeter per sekund. [m ³ /s]
<i>ppm</i>	Mätvärdet för luftens koldioxidhalt. Koncentrationen av koldioxid i luften uttryckt i ppm ("parts per million"= andel per miljon).
<i>Termisk komfort</i>	Används för att beskriva hur människan upplever temperaturen som beror på bl.a. lufthastighet och golvtemperatur.
<i>Tilluft-/frånluftsflöde</i>	Mängden luft som tillförs (tilluft) respektive bortförs(frånluft) i en lokal.
<i>Värmebuffert</i>	Beskriver en byggnads förmåga att lagra värmeenergi i sin konstruktion och därigenom jämna ut temperatursvängningar över dygnet.

1 Inledning

Detta projekt syftar att undersöka inomhusklimatet i V-huset på Chalmers tekniska högskola. Med hjälp utav mätresultat och projekteringsunderlag för ventilationssystemet ska det sedan undersökas huruvida det går att förbättra inomhusklimatet.

1.1 Bakgrund

Att ha ett gott inomhusklimat i undervisningssalar är högst nödvändigt om det ska finnas bra förutsättningar för koncentrationsförmågan för såväl elever som lärare. Det är vanligt med brister i ventilationen av lokalen och om koncentrationen av koldioxid blir för stora reduceras koncentrationsförmågan drastiskt. Om nivån håller sig till 600 ppm räknas det som mycket bra inomhusluft men redan vid 1000 ppm så försämras prestationsförmågan avsevärt. (Science News, 2012)

V-huset på Chalmers tekniska högskola byggdes 1966 och är en av de äldsta och minst renoverade byggnaderna på campus. Dock så har Akademiska hus planer för att i framtiden förbättra byggnaden och då finns det även planer att förbättra ventilationssystemet.

1.2 Syfte

Syftet med projektet var att kartlägga i vilket skick klimatet var i undervisningssalarna för att sedan undersöka vad det kan sättas in för åtgärder. För att identifiera problem så utfördes olika mätningar på plats och ventilations- och värmesystemens funktion undersöktes. Framtagna värden jämfördes med normer och standarder för att skapa ett underlag för förbättringsförslag.

1.3 Problemställning

Följande problemställningar har ställts upp för rapporten:

- Vad är nuläget i salarna, vilka värden uppmäts av:
 - Koldioxid
 - Temperatur
- Vad finns det för möjliga åtgärder för att förbättra inomhusklimatet?

1.4 Avgränsningar

Under studietiden upplevdes inomhusklimatet i de större salarna på Väg och Vatten som tämligen bristfälligt av många studenter, däribland författarna av denna rapport. Koncentrationssvårigheter, trötthet, huvudvärk och stora temperaturvariationer med resulterande otillräcklig termisk komfort tillhörde vanliga och återkommande problem. Tanken uppkom då varför det är på detta sätt och om det kunde gå att åtgärda. Därför kommer avgränsningar ske till parametrar som inom en normal föreläsningstid påverkar såpass att det kan tänkas försvåra inlärandet.

Projektet avgränsas till V-sektionen där det i sin tur avgränsas till de största föreläsningssalarna där sal VR väljs som representant då de alla är uppbyggda likadant med undantag för mängden sittplatser.

2 Metod

I följande kapitel så redogörs för hur skolans inomhusklimat har undersökts samt hur fakta och mätvärden har samlats in.

2.1 Studiebesök

Tillsammans med drifttekniker Jan Karlsson vid Akademiska Hus utfördes studiebesök för att få en tydligare uppfattning om hur systemet är uppbyggt och projekterat. Studiebesöken skedde i teknikrum för V-sektionens föreläsningssalar.

Han visade hur systemet är uppbyggt och drivet samt förklarade hur de olika salarna försörjdes med luft och värme och på vilka sätt de reglerades med hjälp av olika givare. Han förklarade för- och nackdelar med de olika givarna och det diskuterades vidare hur det var tänkt att fungera när salarna projekterades. Han berättade även att kommunikationen mellan Chalmers och Akademiska Hus angående föreläsningstider samt åsiktsåterföring fungerar dåligt och att detta kan leda till att ventilationen inte är påslagen under föreläsningar utanför ordinarie föreläsningstider samt att eventuella klagomål inte uppmärksammas. (Karlsson, Jan G, 2014-04-02)

2.2 Källor

Genom både muntliga och skriftliga källor så fås en uppfattning om hur ventilationens system är uppbyggt och är tänkt att fungera.

2.2.1 Muntliga källor

Med hjälp utav handledare på avdelningen för installationsteknik samt drifttekniker för Akademiska hus inhämtas information om hur systemet är uppbyggt, på vilket sätt det är tänkt att fungera och vad som eventuellt inte fungerar.

2.2.2 Skriftliga källor

Ritningar och diverse underlag för att studera V-sektionens ventilation tillhandahålls av Akademiska hus som är fastighetsägare.

Ritningsunderlag från Bengt Dahlgren AB

Ritningsunderlag som tillhandahålls av handledaren på Bengt Dahlgren AB gav möjligheten att se hur ventilationssystemen var uppbyggda i salarna.

Ritningsunderlag från drifttekniker vid Akademiska hus

Driftbilder och underlag för reglering gav möjligheten att se hur systemet styrs och regleras för att en senare diskussion kunde föras angående hur en förbättring av systemet skulle kunna se ut.

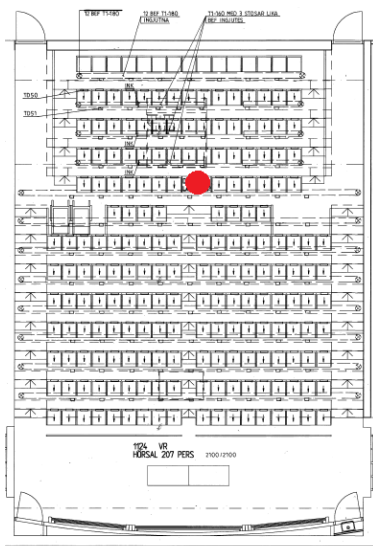
2.3 Litteraturstudier

Litteraturstudier har utförts för att ta fram riktvärden och normer för de olika mätparametrarna för att dessa skall skapa ett gott inomhusklimat i skol- och arbetsverksamheter, och på vilket sätt de påverkar människans koncentrationsförmåga. Information hämtas på Internet hos folkhälsomyndigheten, arbetsmiljöverket och BBR. Resultaten av dessa har jämförts med mätresultaten och därmed kunnat fastställa i vilket tillstånd inomhusklimatet befinner sig i.

2.4 Mätningar

I detta kapitel så beskrivs det hur mätningar utfördes. Mätningarna gjordes under ett antal strategiskt utvalda föreläsningar då salarna är som mest fyllda. Detta möjliggör kartläggning över huruvida inomhusklimatet blir obehagligt när salarna belastas med mängden människor som de är dimensionerade för.

I figuren nedan visas en planritning över hörsalen VR där den röda markeringen visar vart mätinstrument placerades. I figuren direkt efter visas en bil för att ge en tydligare överblick över salens utformning.



Figur 2.1 Planritning över föreläsningssalen VR. Den röda markeringen visar vart mätinstrument placerades.



Figur 2.2 Foto i hörsal. Röd pil markerar placeringen av mätinstrument.

2.4.1 Koldioxid

- Mätning av koldioxidhalt i rummet sker med hjälp utav en CO₂-logger från företaget Intab som heter *CO₂-tinytag*.
- I varje rum där mätningar görs placeras en CO₂-logger. (Se figur 2.3)
- Mätningar sker med 5 minuters intervall.
- Mätinstrumenten placeras ut en stund innan lektionsstart för att få jämnvikt och ett bra startvärde, sedan loggas mätvärden under föreläsningstiden.



Figur 2.3 CO₂-tinytag för mätning av luftkvaliteten.

2.4.2 Temperatur

- Temperaturen i rummet loggas med hjälp utav ett mätinstrument från företaget Intab som heter *Tinytag - Internal Temperature Relative Humidity*. (Se figur 2.4)

- För kompletterande loggningar användes en temperaturlogger från samma företag som heter *Tinytag -Temperature Logger*. (Se figur 2.5)
- I varje rum där mätningar görs placeras en temperaturlogger i närheten av CO₂-loggern.
- Mätinstrumenten placeras ut en stund innan lektionsstart för att få jämnvikt och ett bra startvärde, sedan loggas mätvärden under föreläsningstiden.



Figur 2.4 *Tinytag - Internal Temperature Relative Humidity*



Figur 2.5 *Tinytag – Temperature Logger*

Värme mäts med hjälp utav ett mätinstrument från företaget Flir som heter *InfraCAM*. (Se figur 2.6) Instrumentet tar värmefotografier som ger en grov överblick om hur temperaturen fördelar sig i undervisningssalen. Ett värmefotografi kommer visa tydligt om det är ett kallt klimat i vistelsezonen.



Figur 2.6 *InfraCAM för värmefotografering*

För att få exakta temperaturvärden vid exempelvis tak, väggar och tilluftstemperatur så utförs punktmätning, detta för att kunna se temperaturskillnaden mellan golv och tak men även för att uppmärksamma väggarnas låga temperatur och den termiska komforten vid tilluftsdonen som är placerade under stolarna. Vid punktmätning används samma instrument.

2.4.3 Flöde och lufthastighet

Flödet i rummet mäts med ett mätinstrument som heter Swema flow 650. (Se figur 2.7) Tillsammans med flödet och den mätta diametern på tilluftsdonet kan lufthastigheten beräknas.



Figur 2.7 *Swema flow 650 för mätning av flöde*

3 Teori

Enligt Boverkets byggregler i deras avsnitt om ventilationsluftflöden (BBR 6:251) framgår det att det lägsta erforderliga luftflödet bör vara 0,35 l/s per m² golvarea. Enligt rekommendationer från Arbetsmiljöverket bör man ha ett extra tilluftsflöde på 7 l/s och person som befinner sig i rummet. När dessa rekommendationer inte uppnås kan problem uppstå i inomhusklimatet som påverkar människan på olika sätt.

3.1 Koldioxidens påverkan på människan

Koldioxid finns naturligt i atmosfären i en liten koncentration på 0,04 %, eller 400 ppm (parts per million) som man oftast benämner det. Koldioxid uppkommer främst via förbränning men bildas även i lungorna. Människor genererar även hela tiden föroreningar i form av partiklar genom sin fysiska aktivitet. Genereringen av partiklar står, precis som CO₂, i direkt relation till den fysiska aktivitetens storhet. Koncentrationen av CO₂ är lättare att mäta än partikelkoncentrationen, därför används den som indikator för förorenad luft. (Koldioxid - liv och död, 2011) Eftersom att koldioxid är tyngre än luft hittar man oftast den högsta koncentrationen i rummets lägsta punkt. (Wikipedia, 2013)

Utandningarna har en koldioxidkoncentration på 3,8 % (38 000 ppm). Detta skapar naturligtvis problem när många människor sätter sig i ett slutet utrymme med ventilation som är underdimensionerat. Koldioxid har även den egenskapen att den tränger undan syre, vilket skapar problem när koncentrationen av koldioxid blir för hög i framförallt föreläsningsslokaler och annan arbetsmiljö. Alltså är problemet inte att rummet i fråga innehåller för lite syre, utan det är mängden koldioxid som är problemet. För hög halt av koldioxid orsakar trötthet, huvudvärk och minskad koncentrationsförmåga. I artikeln "*Elevated carbon dioxide may impair reasoning*" på Science News kan man läsa om en undersökning som gjordes på ett antal människor som fick utföra tester. Redan vid en koncentration av 1000 ppm såg man att resultaten blev märkbart försämrade. (Science News, 2012)

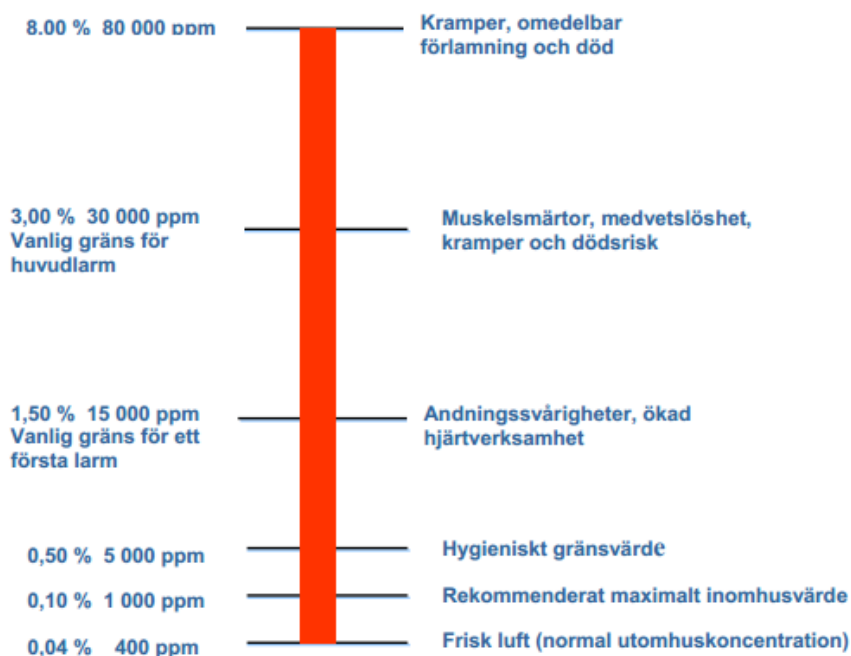
Ett inomhusklimat med en koldioxidhalt av 600 ppm räknas som mycket bra luft. Problemet vid vinterhalvåret i Sverige är att det kan vara svårt att tillgodose ett gott inomhusklimat samtidigt som kostnaderna för uppvärmning av luft försöker hållas ner. Detta resulterar till att det ofta är dålig luft ifall man väljer att dra ner på tilluften eller att man befinner sig i en kall miljö när tilluften är undertempererad. (Science News, 2012) Mer om hur temperaturen påverkar människan i nästa kapitel.

Tabell 3.1 Tabell över hur människan påverkas av olika koncentrationer av koldioxid. (SenseAir 2011)

Organisationer och myndigheter över hela världen har utarbetat rekommendationer för den maximalt tillåtna koncentrationen koldioxid och/eller det tillåtna minimiluftflödet i befolkade byggnader:

5.000 ppm	Maximal koncentration under en åttatimmars arbetsdag enligt det svenska Arbetsmiljöverket
2.000 ppm	Enligt många undersökningar medför denna koldioxidnivå en anmärkningsvärd ökning i känslan av trötthet, dåsigheit, huvudvärk och allmän obekvämlighet
1.000 ppm	Enligt den amerikanska standarden ASHRAE 62-1989 är denna koldioxidnivå den maximalt rekommenderade i ett rum. Den är också den rekommenderade bekvämlighetsnivån i många andra länder t ex i Sverige och Japan. Den motsvarar ett luftflöde (ett behov av friskluft) på ca 7 liter per sekund och person.
800 ppm	Det svenska företaget Ericsson, till exempel, föreslår detta värde som den maximala koldioxidnivån i sina lokaler för att maximera personalens prestationer. Det är också det tillåtna maximala värdet för kontor i Kalifornien. Det motsvarar ett luftflöde (ett behov av friskluft) på omkring 10 liter per sekund och person.
400-600 ppm	Risk för överventilation
350-450 ppm	En vanlig utomhuskoncentration

Hur påverkas människokroppen av CO₂?



Figur 3.1 Grov överblick över hur människan påverkas av olika koncentrationer av koldioxid. (SenseAir 2011)

3.2 Temperaturenns påverkan på människan

För att en människa skall uppleva ett termiskt klimat som idealisk så är det många parametrar som samtidigt skall stämma och hållas i balans för att undvika obehag. Detta benämns som *termisk komfort*.

Att en människa känner termisk komfort betyder att kroppens värmeproduktion befinner sig i jämvikt med omgivande klimat och att inga klimatrelaterade obehag upplevs.

3.2.1 Allmänt

Beroende på vilken typ av aktivitet som bedrivs i en lokal så är de idealiska temperaturzonerna olika och känsligheten för variationer olika stor.

Vid stillasittande arbete ställs det extra höga krav på ett stabilt klimat då det är svårare att hålla en normal kroppstemperatur i speciellt de yttre delarna av kroppen som då lättare utsätts för en lokal avkylning.

Normalt sett brukar man räkna med att en lufttemperatur på +20°C är ett minimikrav för att kunna få ett godtagbart inomhusklimat för stillasittande arbete och att +24°C respektive +26°C är den övre gränsen för detsamma beroende på om det är vinter eller sommar. Att detta är uppnått är dock ingen garanti för termisk komfort eftersom den upplevda temperaturen styrs av ett flertal faktorer ytterligare så som lufthastighet och strålningstemperatur från omgivande ytor samt klädsel. I kontorslokaler och vid andra stillasittande arbeten är det därmed vanligt med problem gällande det termiska klimatet, det är antingen för varmt, för kallt, eller för dragigt. (Arbetsmiljöverket, temperatur och drag, 2009)

3.2.2 Kyla

Att vistas i lokaler med för låg inomhustemperatur kan leda till både direkta och indirekta hälsoeffekter så som hjärt-, kärl-, och lungrelaterade sjukdomar samtidigt som förmågan att tänka och observera påverkas. Att bli lokalt nedkyld på grund av drag i inomhusluften kan uppfattas som obehagligt och leda till nackspärr och muskelbesvär. Det kan även kraftigt påverka helhetsintrycket av temperaturen negativt, alltså få det att kännas betydligt kallare än det faktiskt är. (Folkhälsomyndigheten, 2013)

Ett bristande klimatskal i form av dålig isolering eller otätheter kan vara orsaker till kalla och dragiga lokaler. (Ekobyggportalen, 2014) Ett tillstånd av överventilation kan skapa höga lufthastigheter och drag och leda till obehag. En indikator på överventilation för en utnyttjad lokal kan vara en nivå på koldioxid som understiger 600 ppm. (se tabell 3.1) Överventilation kan uppstå dels genom ren överdimensionering av ventilation eller en kombination av för hög ventilation och ett stort luftläckage genom klimatskalet. (Liljegrens, 2012)

Med överventilation finns även risken att man har en för hög lufthastighet. Lufthastigheten kan i sin tur orsaka kyla och drag. Arbetsmiljöverket rekommenderar en lufthastighet i vistelsezonen på maximalt 0,15 – 0,20 m/s för att miljön ska uppfattas som dragfri. Det finns regler angående drag och att drag skall undvikas. Tilluften till rummet ska tillföras på ett sådant sätt att besvärande drag inte uppstår som i sin tur uppfattas som allmän kyla. (Arbetsmiljöverket, temperatur och drag)

Vid nedkylning av den inre kroppstemperaturen eller en eller flera kroppsdelar kan problem uppstå som påverkar förmågan att tänka och observera. Motoriken i fingrarna minskar redan när temperaturen sjunker under +20°C och vid +16°C uppstår svårigheter att skriva. (AK-Konsult, 2014)

3.2.3 Värme

Rent analogt till kyla så uppstår problem med värme under årets varma period samt då solinstrålning värmer upp ytor inomhus. En inomhustemperatur på över 24 grader vintertid och 26 grader sommartid kan leda till obehag.

Att befinna sig i en lokal med för hög temperatur gör att kroppen vill minska aktiviteten för att minimera värmeproduktionen. Arbetstakten och inlärningsförmågan sänks och detta i sin tur leder till att koncentrationsförmågan avtar och man slutar anstränga sig i sitt arbete. Vidare så kan höga temperaturer medföra huvudvärk, illamående, lättretlighet och vätskebrist. (Folkhälsomyndigheten, 2013)

4 Systemuppbyggnad

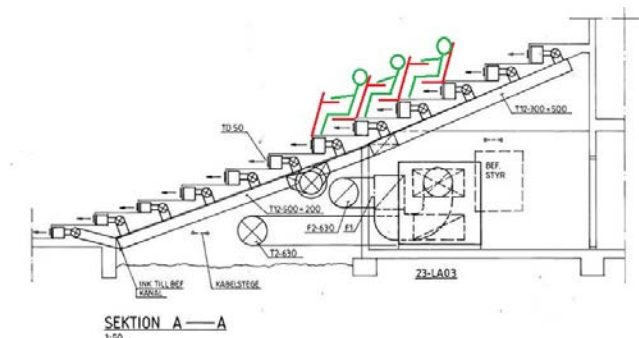
Värme- och ventilationssystemen i de olika hörsalarna var utformade på olika sätt beroende på dess storlek. Här beskrivs hur systemet var uppbyggt i de studerade salarna där klimatproblematiken upplevts som störst.

4.1 Ventilation

Varje sal hade ett eget teknikrum med ventilationsaggregat placerat i källaren under respektive sals sittplatser. Dessa aggregat försörjde salarna med luft genom tilluftsdon placerade under varje sittplats (se figur 4.1) och ett centralt frånluftsdon i takhöjd i en av salens sidoväggar.

Aggregaten var av typen Swegon GOLD med roterande värmeväxlare och kyl- och värmebatteri försörjda via Chalmers interna fjärrvärmenät.

Ventilationssystemet styrdes via tidsstyrning och var normalt påslaget från 07:00 till 17:00 om inte drifttekniker meddelats om avvikande föreläsningstider.



Figur 4.1 Placering av tilluftsdon och sittplatser

4.2 Värme

Värme tillfördes till salarna dels via radiatorer placerade längst fram och utmed sidorna av salarna samt genom värmeåtervinning och uppvärmning av tilluften. Börvärdet på tilluften var satt till 21 grader samtidigt som börvärdet för salarnas lufttemperatur var satt till 20 grader. (Karlsson, Jan G, 2014-04-02)

5 Mätningar

I detta kapitel redovisas mätningarna och dess resultat. Flera mätningar utfördes där de mest representativa mätningarna valdes att tas med i rapporten för vidare diskussion och analys.

5.1 Flöde, lufthastighet och fläkteffekt

Vid mätningar vid tilluftsdon uppmättes flöden på 9.8–10 l/s. Med detta värde kan genom donets diameter på 20 cm få ut att hastigheten precis vid donet är dryga 0.3m/s.

$$V = v \cdot A \quad (4.1)$$

$$v = 0.01/\pi \cdot 0.1^2 = 0.318 \text{ m/s} \quad (4.3)$$

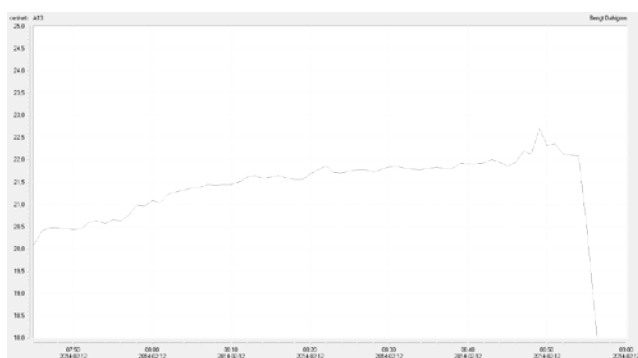
Det totala tilluftsflödet i salen var 2,1 m³/s och fläkteffekten uppgick till 4 kW.
(Karlsson, Jan G)

5.2 Temperatur

Mätning ventilerad sal

Problemet i föreläsningssalarna är ofta att många känner ett starkt obehag på grund av kyleffekten som uppstår bland annat av placeringen av tilluft som är under stolarna. Mätningarna utfördes i fullsatt sal, då det kan tyckas att människor ska ha en tendens att värma upp luften. Klimatet i rummet kändes kallt och många sitter med jackor och mössor på sig.

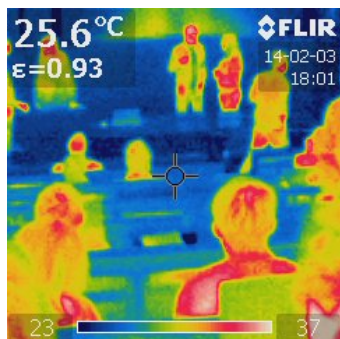
Temperaturer uppmättes till drygt 22 grader.



Figur 1.5 Temperatur

Mätning ej ventilerad sal

Yttertemperaturer på inredning uppmättes på omkring 26 grader med hjälp av infrakamera och utifrån den höga temperaturen så upplevs klimatet som ännu sämre. En hög koldioxidhalt i kombination med en hög temperatur förstärker varandras upplevelse.



Figur 5.6 IR-foto i salen.

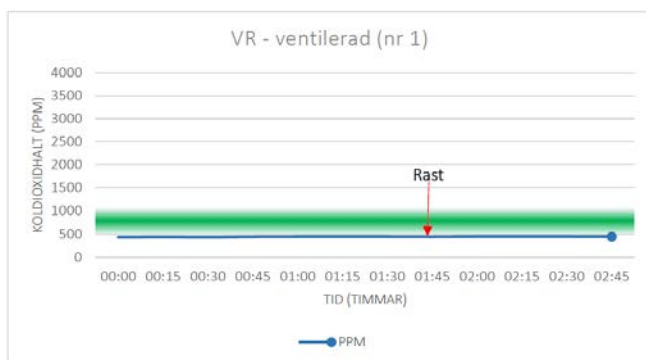
5.3 Koldioxid

Då mätinstrumenten placerades ut en timma innan lektionsstart för att få jämvikt och ett startvärde att utgå ifrån, så börjar inte lektionen förrän vid tiden 01:00 i graferna. Markeringar för raster finns och det är samma skala på CO₂-diagrammen då det ska vara lätt att kunna jämföra dem. De gröna områdena i diagrammet markerar vart det rekommenderade intervallet ligger, som är 600-1000 ppm. Det ger alltså en tydlig bild hur långt utanför gränserna mätresultaten hamnade.

Mätning nr 1 – ventilerad sal

En stund innan lektionsstart uppmättes värden på 430 ppm. Salen blev sedan fullsatt och mätaren svajade till lite men höll sig sedan runt ett konstant värde på 450 ppm. Mätaren loggar en koldioxidhalt på omkring 450 ppm när den i själva fallet bör ligga mellan 600-1000 baserat på gällande rekommendationer. Utifrån det kan slutsatsen dras att fläkthastigheten och därmed flödet hade kunnat minskas avsevärt. Detta skulle bidra till lägre lufthastighet och kyleffekt i salen samtidigt som elenergiförbrukningen från fläkten skulle minska. Rasten som infann sig efter 45 minuters lektion gav varken till eller från för koldioxidhalten.

Som visas i figur 5.1 så befinner sig mätvärdena för koldioxid en bit under lägsta rekommenderade värdet.



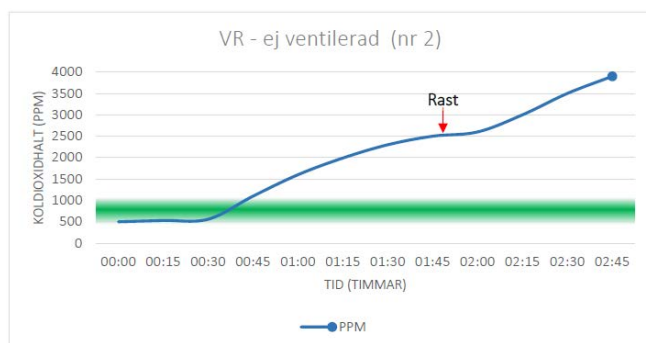
Figur 5.2 VR under ventilerad lektion

Mätning nr 2 – ej ventilerad sal

En timma innan lektionsstart uppmättes koldioxidhalten till ett värde på drygt 500 ppm vilket kan räknas som strax över utomhuskoncentration. Drygt en kvart innan lektionens början så stängdes ventilationen av och det var ungefär då som många människor började ta plats i salen. Vid lektionens start (01:00 i diagram) hade värdena redan passerat det högsta rekommenderade värdet, med god marginal. Efter 45 minuter var det dags för rast, men då föreläsaren bad om att få en kort rast så var det få som lämnade salen. Dörrarna öppnades ett par gånger när några få personer gick ut och koldioxidtillförseln avstannade knappt under rasten utan steg istället långsamt. Vid lektionens slut var koldioxidhalten uppe i 3900 ppm samtidigt som det var obehagligt varmt.

I genomsnitt så steg koldioxidhalten med 500 ppm/15 minuter. Det innebär alltså att om starten sker på en koldioxidhalt på 500 ppm, kan en föreläsning pågå i en kvart innan studenterna bör byta sal för att koldioxidhalten har stigit till ohälsosamma nivåer.

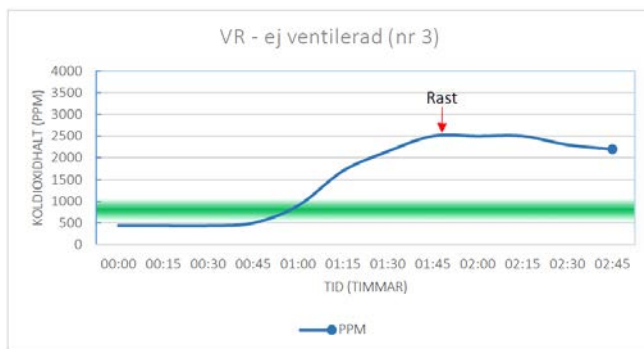
Utifrån detta diagram så kan det tyckas vara intressant att veta hur det hade kunnat fortsätta se ut om det kom en efterföljande lektion eller aktivitet i salen.



Figur 5.3 VR under en icke ventilerad lektion

Mätning nr 3 – ej ventilerad sal

Även innan denna föreläsning så låg startvärdet på knappa 500 ppm vilket kan som sagt räknas som strax över utomhusnivå. Koldioxidhalten steg minst lika snabbt som på föregående mätning men skillnaden mellan dessa två mätningar var att alla uppmanades att gå ut på rasten då det skulle genomföras en obligatorisk gruppindelning i kursen. När föreläsningen återupptogs så lämnades dörrar till salen öppna varpå ökningen av koldioxid avtog för att till slut minska mot slutet av föreläsningen.

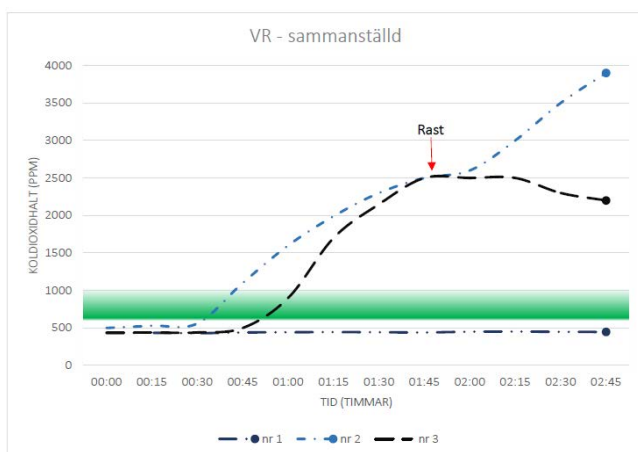


Figur 5.3 VR under en icke ventilerad lektion

Sammanställning av koldioxidmätningar

I diagrammet nedan så visas förhållandet mellan de olika mättillfällena. Det syns en tydlig skillnad över hur klimatet är att vistas i beroende på om ventilationen är av eller på. På de två översta graferna syns det tydligt hur dom ironiskt nog ligger på ett identiskt värde vid rasten för att sedan avvika åt varsitt håll utifrån om dörrar ställs öppna eller inte. På den nedre grafen så syns det att den inte rubbas ens av en fullsatt sal. En stigning av koldioxidhalten syntes inte heller från att salen var tom till att den blev fullsatt och under lektionens gång. Detta tyder på en kraftig överventilation då diagrammet visar det rekommenderade gröna området.

Det gröna området kan upplevas som ett väldigt litet område att försöka "träffa", men faktum är att nu när så pass höga värden är inmätta så blir det gröna området litet förhållandevis. Att ligga på mellan 600-1000 ppm motsvarar ett tilluftsflöde på 7 liter/person vilket är rekommendationen enligt BBR tillsammans med kravet på 0.35 l/s/m². Så med tanke på att de översta graferna avviker kraftigt så handlar det om små marginaler för att hamna i det rekommenderade området. Allt som krävs är att ventilationen är på, och att flödet inte är högre än nödvändigt.



Figur 5.4 Sammanställning av de tre olika tillfällena

6 Analys

I detta kapitel så kommer en analys att ske med hjälp utav mätresultat och underlag för ventilationssystem huruvida systemet är utformat och reglerat på ett lämpligt sätt och hur det skulle kunna driftförbättras för komfort och hälsa.

6.1 Flöde och tilluftshastighet

Den högsta rekommenderade lufthastigheten i vistelsezonen är 0.15-0.2 m/s. (Se kapitel 3.2.2) Tilluftshastigheten precis efter donet är 0.318 m/s vilket kan upplevas kylande för en person då tilluftsdonet är placerat direkt under sittplatsen. (Se figur 6) Sänks tilluftsflödet till det minsta rekommenderade på 7 l/s får vi istället följande tilluftshastighet.

$$v = 0.007/\pi \cdot 0.1^2 = 0.22 \text{ m/s} \quad (6.1)$$

Då denna hastighet befinner sig direkt vid tilluftsdonet så är den något lägre när den träffar människan som sitter ovanför donet. Detta tilluftsflöde på 7 l/s/ person samt dryga 1400 liter per sekund för hela salen med sina 209 ockupanter. Då salen väldigt sällan är mer än 50-80% fullsatt och därmed inte har behov för mer än drygt 700-1000 l/s så är även detta flöde onödigt högt. Av detta går att döma att energi- och komfortvinster hade kunnat göras med smartare styrning.

Sänkningen av flödet innebär en sänkning av fläkteffekten. Av detta går att räkna ut med följande ekvationer.

$$W = \Delta p \cdot V / \eta \quad (6.2)$$

$$\Delta p = k \cdot V^x \quad (6.3)$$

$x = 1$ vid laminär strömning

$x = 2$ vid turbulent strömning

$$W_L = k \cdot V^2 / \eta \quad (6.4)$$

$$W_T = k \cdot V^3 / \eta \quad (6.5)$$

Beroende på om det är laminär eller turbulent strömning i systemet blir sänkningen av fläkteffekten olika. Vid laminär strömning sänks fläkteffekten med 50 % och vid turbulent 66 %. Detta under förutsättning att det totala tryckfallet beror på flödet och att verkningsgraden är konstant. Sedan är en viktig förutsättning också att fläkten kan regleras ned och inte behöver bytas. Utav detta kan vi göra en grov uppskattning att fläkteffekten sänks med 60 %.

Vid mätningarna avlästes en fläkteffekt på 8 kW, då innebär en sänkning med 60 % en energibesparing på 4.8 kW och den nya eleffekten blir 3.2 kW.

6.2 Värmetillförsel

Eftersom börvärdet på tilluften var 21 grader vid undersökningen medan önskemålet är att ha minst 20 grader i rummet (se kapitel 3.2.3 om värme) kan en ökning av tilluftstemperaturen tillåta att luftflödet minskas och fläkten varvas ner. En höjning av temperaturen i samband med att luftflödet sänks bör vara lönsamt både i energisynpunkt och för den termiska komforten.

En höjning av temperaturen på tilluften med en grad vid det projekterade tilluftsflödet $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ hade inneburit ett högre effektuttag vid värmebatteriet av 2.52 kW enligt:

$$Q = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (6.6)$$

$$Q = 2.1 \cdot 1 \cdot 1.2 \cdot 1 = 2.52 \text{ kW} \quad (6.7)$$

Följaktligen skulle dock en 30 % sänkning av tilluftsflödet enligt kapitel 6.1 istället medföra ett förhöjt effektuttag vid värmebatteri på 1.8 kW vilket sammanslaget med sänkningen av fläkteffekten på 4.8 kW skulle medföra en total energibesparing på 3.0 kW.

6.3 Luftkvalitet

Hade det funnits CO_2 -givare hade dessa kunnat användas för att styra systemet mot en rekommenderad koncentration av 600-1000 ppm. Om inomhushalter i en utnyttjad lokal ändå hålls låga, ner mot utomhuskoncentrationen av 440 ppm, är förmodligen luftomsättningen onödigt hög och det riskerar det att bli både dragigt och kallt på grund av det höga luftflödet. Vid halter på över 1000 ppm bör ventilationen öka för att nyttjare skall kunna behålla koncentrationsförmågan. Ventilationen stängs dessutom av vid 17-tiden och detta rekommenderas inte då föreläsningar och framförallt studier pågår utanför arbetstid.

6.4 Drifttider

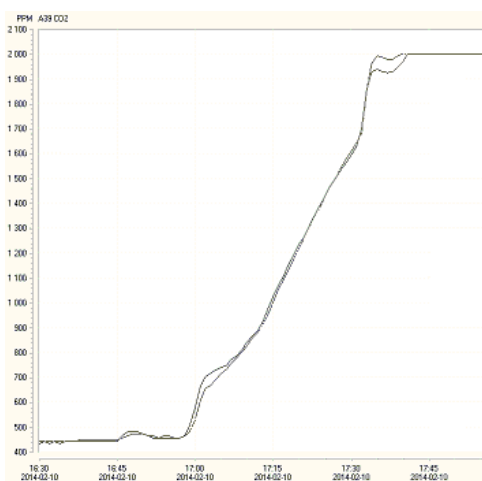
Systemet kördes vid undersökningens tidpunkt i normalfall konstant i 50 timmar per vecka. I schemat för den undersökta salen utlästes att det i snitt förekom föreläsningar under 20 av dessa timmar varje vecka. Med en implementering av schemastyrning hade det inneburit att systemet kunde regleras till hygienflöde under åtminstone 50 % av drifttiden om det och eventuell vädring hade kunnat ske vid en bestämd tid innan respektive dags första föreläsning istället för en bestämd tid varje morgon.

7 Utvärdering och diskussion

I detta kapitel kommer det tas upp och diskutera vad som eventuellt är fel i V-huset samt de problem och felfaktorer som stöttes på under mätningar samtidigt som en utvärdering om de olika förbättringsmöjligheterna kommer att ske.

7.1 Problem och dilemman vid mätningar

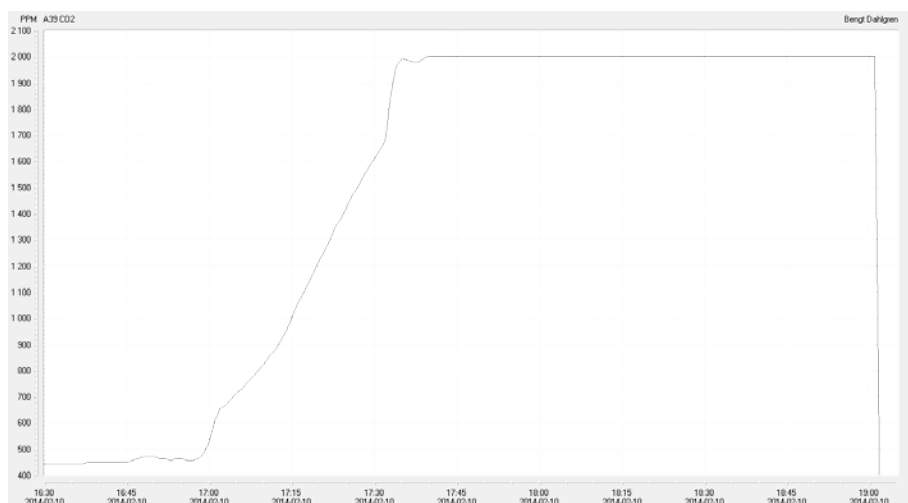
Vid de första mätningarna så placerades CO₂- och temperaturmätare både högre upp och längre ner i salen. Det visade sig sedan inte spela någon roll vart i salen mätarna befann sig och därför gjordes sedan de efterföljande mätningarna i mitten av salen för enkelhetens skull. (Se figur 6.1)



Figur 6.1 Jämförelse av två CO₂-mätare

Vid loggning av temperatur under föreläsningar upplevdes kraftig tröghet på grund av att temperaturgivaren i loggern är inkapslad i konstruktionen som därmed måste hinna värmas upp innan en temperaturökning registreras. Då mätningarna skedde under 2-timmars intervall hann loggern inte registrera rätt temperatur. Med hjälp av ytterligare en temperaturmätare med en icke inkapslad givare registrerades högre värden.

På grund av begränsningar i programvara så kunde inte CO₂-loggern registrera koldioxidkoncentrationer på över 2000 ppm i sitt loggdiagram (se figur 6.1), vilket gjorde att korrekta grafer inte kunde hämtas ur dess minne. Istället gjordes manuella avläsningar från mätarens display som sedan fick föras in i en tabell för att skapa ett diagram.



Figur 6.2 Graf från Easyview

7.2 Möjliga åtgärder

Här diskuteras de olika åtgärder som är möjliga att tillsätta i det befintliga systemet.

7.2.1 Ventilation

Med ventilation som var styrd via närvaro och olika frånluftsgivare hade både pengar kunnat sparas samtidigt som det hade bidragit till ett bättre inomhusklimat. Med närvarostyrning hade tilluftsflödet kunnat sänkas när salarna är tomma.

Genom att mäta frånluftskvaliteten hade luftflödet kunnat anpassas för att dels undvika överventilering och dels för att alltid säkerställa ett tillfredställande klimat. På detta sätt hade energi sparats genom att fläkten inte körs på högre varvtal än nödvändigt.

Med en implementering av schemastyrning hade ventilationssystemet kunnat köras på ett lågt hygienflöde utöver just de tider de behövs och vädring av lokaler hade kunnat göras mer efter behov. En kompletterande närvarogivare hade kunnat aktivera systemet vid närvaro utöver föreläsningstid eller avaktiverat det vid utebliven sådan.

7.2.2 Värme

En höjning av tilluftstemperaturen hade minskat kyleffekten i närheten av tilluftsdonen och samtidigt minskat upplevelsen av drag genom att tillåta ett lägre luftflöde för att uppnå önskad rumstemperatur.

8 Slutsatser och rekommendationer

Efter dessa mätningar och undersökningar så har slutsatser kunnat dras att den dåliga termiska komforten inte uteslutande beror på klimatskalet eller låga temperaturer, utan snarare de höga lufthastigheter och det dragiga klimat som ventilationen bidrar med. Salarna är många gånger överventilerade och åtgärder behövs göras för att det ska bli mer komfortabelt. Eftersom att tilluftsdon befinner sig i vistelsezon så spelar lufthastigheten stor roll. En sänkning av lufthastighet gör klimatet mindre benäget för drag och bidrar till en behagligare miljö.

Systemet är relativt nytt, det är byggt 1997. Eftersom att det ska ske en ombyggnation om ett par år är det inte fel att tänka på vad som kan göras med det befintliga systemet för att spara pengar.

Förmodligen skulle det inte krävas så stora insatser för att förbättra systemet – lite krasst kanske det handlar om några fler givare, installation av reglerdon samt implementering av bättre reglering för att både öka den termiska komforten samt sänka energiförbrukningen.

En bättre kommunikation mellan fastighetsägaren Akademiska hus och brukaren Chalmers är att rekommendera. Många elever upplever obehag och detta är något som driftteknikerna på Akademiska Hus inte var över huvud taget medveten om. En bättre kommunikation hade gynnat båda parter.

9 Fortsatta studier

När temperatur loggades med hjälp utav temperaturlogger så loggades även fuktvärden samtidigt. När diagrammen för temperaturen granskades syntes det att fukthalten i rummet inte var så höga. Vidare studier kan göras huruvida människan påverkas av torr luft och om inte en luftfuktare ska sättas in i aggregatet för att fukta tilluften.

Mätningar gjordes i en undervisningssal vid morgontid som senare konstaterades vara överventilerad. Samtidigt som dessa mätningar gjordes uppmättes en fukthalt på knappa 30 % (se bilaga 6), vilket kan tyckas är lågt. Generellt så bör fukthalten i lokalen man vistas i inte ligga under 30 % RF.

I diagrammet (se bilaga 5) anges utomhustillståndet vid mätningstillfället och även temperaturen för tilluften samt den relativa fukthalten. Utifrån detta redovisas hur uteluftstillståndet värms rakt upp till tilluftstillstånd. Utifrån detta kan det konstateras att utomhusluft värms rakt upp till 21 grader. Trots att salen var fullsatt så tillför inte eleverna tillräckligt mycket fukt i relation till omsättningen för att det ska bli skillnad för den absoluta fukthalten.

Alltså, om börvärde anges till 21 grader på tilluften så kommer luftfuktigheten i princip alltid vara under 30 % när utomhustillståndet befinner sig på 3 grader eller lägre. Den gröna pilen visar hur utomhusluften blir uppvärmd till 21 grader då vi mätte en RF i rummet på knappt 30 %.

Alla utomhustillstånd inom det röda området genererar ett tilluftstillstånd som har RF under 30 % vid dagens höga luftomsättning.

10 Referenser

Rapporter och tidsskriftsartiklar:

Raloff, J. (2012) Elevated carbon dioxide may impair reasoning. *Science News*, 16 oktober. <https://www.sciencenews.org/article/elevated-carbon-dioxide-may-impair-reasoning> (2014-01-22)

Webbkällor:

AK-Konsult (2014) Kunskapstorget www.akkonsult.com/kunskapstorget (2014-01-30)

Arbetsmiljöverket (2009) Arbetsplatsens utformning http://www.av.se/dokument/afs/afs2009_02.pdf (2014-01-30)

Arbetsmiljöverket (2014) Temperatur och klimat. <http://www.av.se> (2014-01-30)

Arbetsmiljöverket (2014) Temperatur och drag http://www.av.se/teman/ventilation/skolor_kontor/temperaturer_drag/ (2014-02-19)

Boverket (2011) Ventilation <https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2011-6-BBR18.pdf> (2014-01-24)

Ekobyggportalen (2014) Huskonstruktioner <http://www.ekobyggportalen.se> (2014-01-30)

Folkhälsomyndigheten (2013) Inomhusmiljö <http://folkhalsomyndigheten.se> (2014-01-30)

SenseAir (2011) Koldioxid - liv och död <http://senseair.se/wp-content/uploads/2011/12/koldioxid.pdf> (2014-01-24)

Wikipedia (2013) Koldioxid <http://sv.wikipedia.org/wiki/Koldioxid> (2014-02-03)

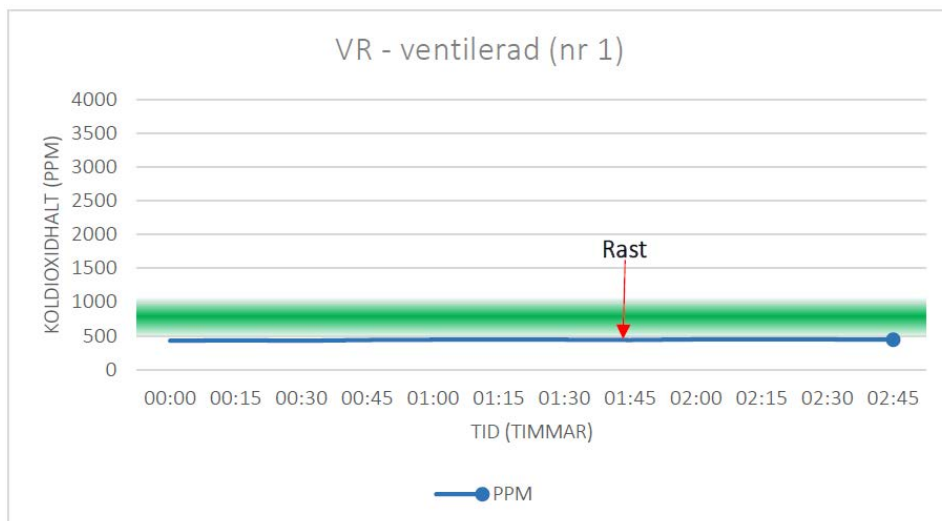
Muntliga källor:

Karlsson, Jan G (jang.karlsson@akademiskahus.se) (2014-04-02)

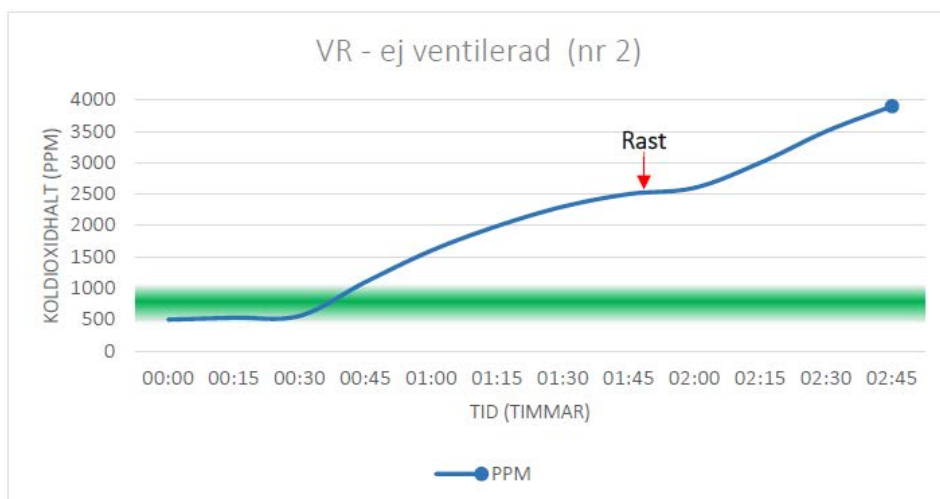
Trüshel, Anders (anders.truschel@chalmers.se)

Bilagor

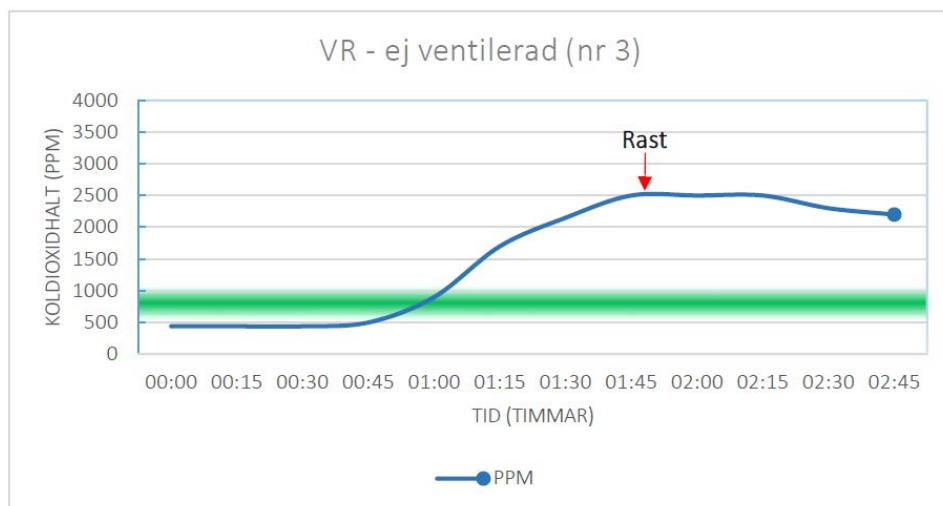
Bilaga 1 – CO₂-halt i ventilerad sal



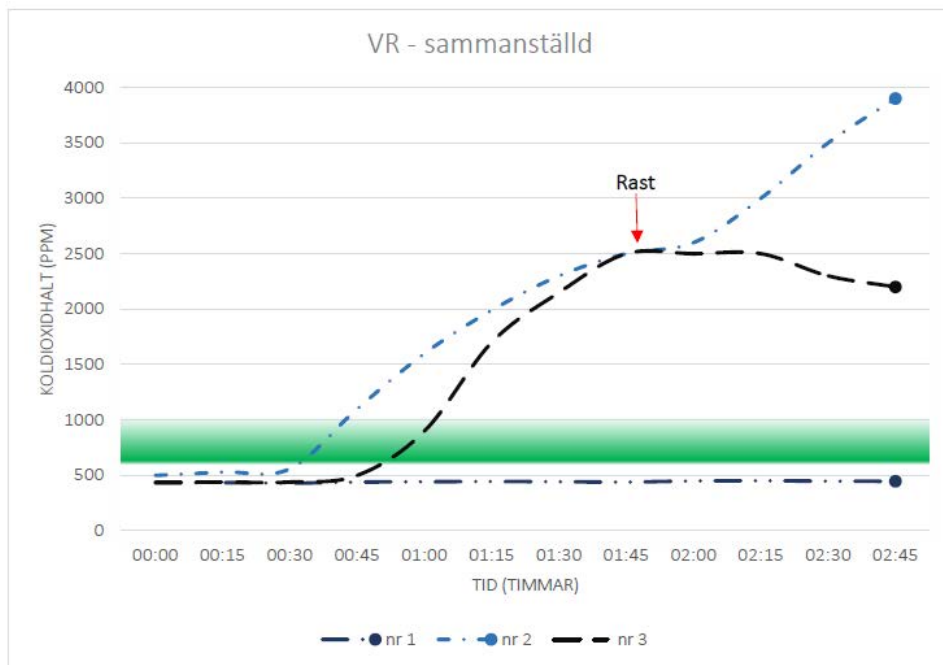
Bilaga 2 – CO₂-halt i icke ventilerad sal



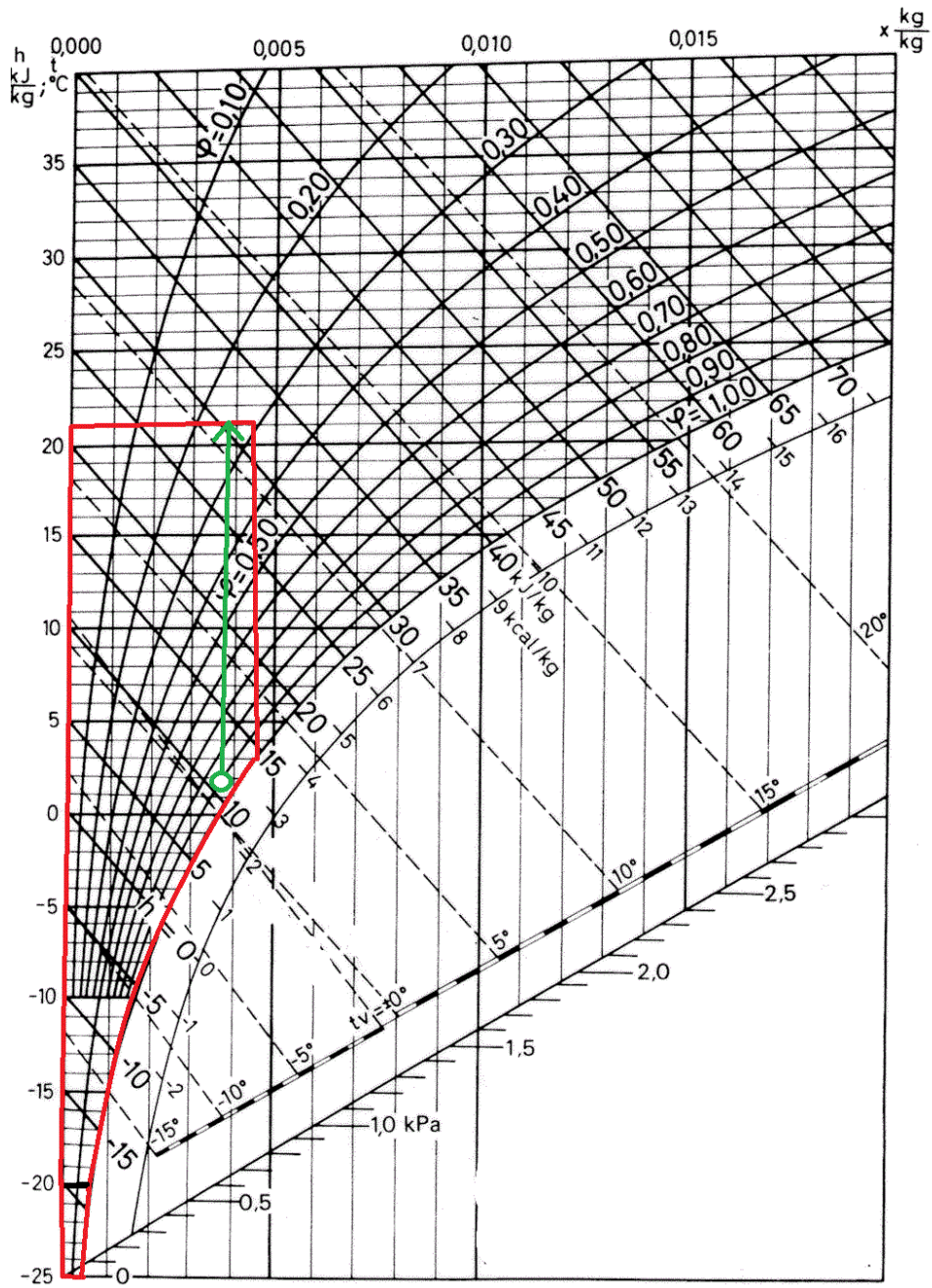
Bilaga 3 – CO₂-halt i icke ventilerad sal



Bilaga 4 – Sammanställning av föregående diagram



Bilaga 5 – Mollierdiagram



Bilaga 6 – Fukthalt i sal

