

CHALMERS



Inneklimat och elenergianvändning i datorsalar

En mätstudie för att undersöka hur inneklimat och elenergianvändning är i
Samhällsbyggnadshusets datorsalar på Chalmers Tekniska Högskola.

Nilsson, Simon
Skoglund, Viktor
Persson, Per

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdelning Installationsteknik
Chalmers Tekniska Högskola
Göteborg, Sverige 2017
Kandidatarbete BMTX01-17-40

Kandidatarbete BMTX01-17-40

Inneklimat och elenergianvändning i datorsalar

Kandidatarbete i Väg- och vattenbyggnad

Simon Nilsson, Per Persson, Viktor Skoglund

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Installationsteknik

Chalmers Tekniska Högskola,

Göteborg, Sverige 2017

FÖRORD

Denna rapport behandlar ett kandidatarbete vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, inom institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik. Projektet genomfördes av tre studenter i tredje årskursen på civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad under vårterminen år 2017.

Ett flertal personer har bidragit till att projektet kunnat genomföras med ett gott resultat. Vi vill framförallt tacka alla studenter för medverkan i enkätundersökningen samt för deras stora engagemang under projektets gång.

Vi vill även speciellt tacka Jan Gustén för exceptionellt god vägledning och stöd under arbetet. Vi skulle också vilja tacka Anders Trüschel och Håkan Larsson på Chalmers institutioner för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik för konsultation under arbetet.

Slutligen vill vi tacka renoveringens ansvariga från Akademiska hus, Chalmersfastigheter och Bengt Dahlgren för trevligt bemötande och värdefulla bidrag till projektet.

Göteborg, 2017-05-12

Simon Nilsson, Per Persson, Viktor Skoglund

BEGREPP OCH BETECKNINGAR

Dermatit – hudinflammation, samlingsnamn för flertal hudsjukdomar där inflammation är den huvudsakliga processen

Fläktluftskylare – kylning med hjälp av en fläkt

Kallras – fenomen som uppstår då luft kyls av och rasar nedåt på grund av en högre densitet

Kastlängd – den längd som ventilationsluften når från donet i vågrät riktning

Kylbafflar – komponent i klimatanläggning. Monteras vanligtvis i innertaket och kan finnas i passivt eller aktivt utförande

Leukemi – samlingsnamn på en grupp sjukdomar med störd utmognad och ökad bildning av vita blodkroppar

Miljöbyggnad Silver – miljöklassificeringssystem, en byggnad bedöms utifrån dess miljöpåverkan

Reumatism – typ av sjukdomar med smärta och sjukliga processer i leder och muskler

Örebromodellen – Örebromodellen är en trestegsstrategi som kan användas efter att kritik rörande inomhusklimatet har framförts. Steg ett är en problemkartläggning, steg två en enkätundersökning och steg tre är tekniska mätningar. Efter att dessa tre steg är utförda kan man utifrån mätresultaten vidta åtgärder.

SAMMANFATTNING

Utbildningslokalerna i Samhällsbyggnadsprogrammets byggnad på Chalmers Tekniska Högskola är sedan 2016 nyrenoverade och har uppnått de energi- och klimatkrav som krävs för utmärkelsen *Miljöbyggnad Silver*. Detta har förhoppningsvis medfört ett förbättrat inneklimat i lokalerna och en effektivare elenergianvändning.

Denna mätstudie har som syfte att analysera hur inneklimat i de nyrenoverade datorsalarna i V-huset upplevs, hur inneklimatet faktiskt är och hur inneklimatet påverkar studenterna. Vidare skall energianvändningen i datorsalar granskas.

Mätningar görs för att ta fram det faktiska inneklimatet med avseende på koldioxid, relativ fuktighet, temperatur och partiklar. Detta ställs emot antalet studenter som vistas i datorsalarna. Mätningarna jämförs med svaren från en enkätundersökning som behandlar hur studenterna upplever inneklimatet.

De värden som genererats från mätningarna befinner sig oftast inom ramarna för vad som anses vara godkänt och vad som skall uppfattas som ett bra inneklimat. Svaren från enkätundersökningen visar däremot att ett mindre missnöje finns som finns redovisat i slutsats.

Vidare görs mätningar och beräkningar på elenergianvändningen. Detta görs på utrustning i salen så som datorer och skärmar och på ventilationssystemet.

Resultatet visar att datorerna är den utrustning som använder mest elenergi per dygn, speciellt under nätter och helger. Genom att centralt stänga av datorer under dessa tider kan elenergianvändningen reduceras vilket framförs i slutsats.

Nyckelord: datorsal, inneklimat, temperatur, relativ fuktighet, koldioxidhalt, partiklar, elenergianvändning.

ABSTRACT

At Chalmers University of Technology, the facilities at the Department of Civil Engineering have since 2016 been renovated and have accomplished the requirements for the award of the *Environmental Building Silver*. This has hopefully brought an improved indoor climate in the facilities and a more efficient electricity use.

This study aims at analysing how the indoor climate in the recently renovated computer rooms in the facilities is perceived, how the indoor climate actually is and how the indoor climate affects students. Furthermore, the use of energy in the computer rooms will be examined.

Measurements are made to produce the actual indoor climate with respect to carbon dioxide, relative humidity, temperature and particles. This will be examined in comparison to the number of students using the computer rooms. The measurements are also compared with the answers from a survey that addresses how the students experience the indoor climate.

The values that are generated from the measurements are usually within the limits of what are considered to be accepted and what should be regarded as a good indoor climate. On the other hand, the answers from the survey shows that there is some dissatisfaction found, which will be presented in the conclusion.

Furthermore, measurements and calculations are made on the electricity use. This is done on equipment in the computer room such as computers and screens and on the ventilation system.

The result shows that the computers are the equipment that uses most electricity per day, especially during nights and weekends. By centrally turning off computers during these times, electricity use can be reduced, as stated in the conclusion.

Keywords: computer room, indoor climate, temperature, relative humidity, carbon dioxide content, particles, electricity use.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 Inledning	1
1.1 <i>Bakgrund</i>	1
1.1.1 Inneklimat	1
1.1.2 Elenergianvändning	2
1.2 <i>Syfte</i>	2
1.3 <i>Avgränsningar</i>	3
2 Teori	4
2.1 <i>Beskrivning av datorsalar i V-huset</i>	4
2.1.1 Centralfläkten.....	4
2.1.2 Tilluftsdon och frånluftskanaler.....	5
2.1.3 Fläktluftskylare	6
2.1.4 Radiatorer.....	6
2.1.5 Belysning och övrig utrustning	6
2.2 <i>Datorsalar i M-huset</i>	7
2.3 <i>Mätutrustning</i>	7
2.3.1 Partikelmätare, P-trak.....	7
2.3.2 Koldioxidhalt-, temperatur- och relativ fuktighetsmätare, CP11.....	7
2.3.3 Effektmätare, ML10.....	8
2.4 <i>Internvärme</i>	8
2.5 <i>Luftfuktighet</i>	8
2.6 <i>Hälsoeffekter av dåligt inneklimat</i>	9
2.6.1 Partiklar.....	9
2.6.2 Koldioxid	9
2.6.3 Temperatur	10
2.6.4 Torr luft	10
3 Metod	11
3.1.1 Intervjuer.....	11
3.1.2 Mätningar av koldioxidhalt, relativ fuktighet, temperatur, antal personer och partiklar ..	11
3.1.3 Enkätundersökning.....	12
3.1.4 Elenergianvändning	12
4 Inneklimat	13
4.1 <i>Resultat av koldioxidhalt-, relativ fuktighet-, temperatur- och personmätningar</i>	13
4.1.1 Mätningar utförda den 21 februari.....	14
4.1.2 Mätningar utförda den 2 mars.....	15
4.1.3 Mätningar utförda den 7 mars.....	16
4.1.4 Mätningar utförda den 27 mars.....	17
4.1.5 Mätningar utförda den 28 mars.....	18
4.1.6 Mätningar utförda den 29 mars.....	19
4.1.7 Mätningar utförda den 4 april i M-huset.....	20
4.2 <i>Resultat av partikelmätningar</i>	21
4.3 <i>Resultat av enkätundersökning</i>	23
4.3.1 Enkätsvar angående temperaturförhållanden.....	23
4.3.2 Enkätsvar på luftkvalitet	25

4.4	<i>Diskussion om inneklimat</i>	26
4.4.1	Termiskt klimat i datorsalar	26
4.4.2	Luftkvalitet i datorsalar	27
4.4.3	Felkällor	28
4.4.4	Enkätsvarens trovärdighet.....	28
5	Elenergianvändning	29
5.1	<i>Datorer och datorskärmar</i>	29
5.2	<i>Ventilation</i>	30
5.3	<i>Belysning</i>	31
5.4	<i>Diskussion om elenergianvändning</i>	31
5.4.1	Datorenheter	32
5.4.2	Ventilation och belysning	32
5.4.3	Felkällor	33
6	Slutsats	34
7	Litteraturförteckning	36
8	Bilagor	1
8.1	<i>Bilaga I - enkätundersökning</i>	1
8.2	<i>Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning</i>	3
8.3	<i>Bilaga III - partikeldata</i>	6
8.4	<i>Bilaga IV - mätningar utförda den 30 mars i M-huset</i>	7
8.5	<i>Bilaga V – energiberäkningar</i>	9

1 INLEDNING

I detta avsnitt presenteras bakgrunden till studien. Bakgrunden delas upp i studiens två huvuddelar, inneklimat och elenergianvändning, som utgör den största delen av rapporten. Vidare presenteras studiens syfte som ligger till grund för hela arbetet. Till sist presenteras studiens avgränsningar.

1.1 Bakgrund

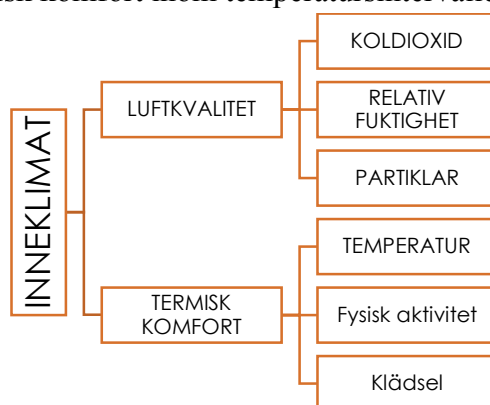
Utbildningslokalerna i V-huset på Chalmers är sedan 2016 nyrenoverade och har därefter uppnått energi- och klimatkrav som krävs för *Miljöbyggnad Silver* (Östlund, 2017). Detta skall ha medfört ett förbättrat inneklimat i lokalerna samt en effektivare elenergianvändning.

1.1.1 Inneklimat

Studietiden innefattar långa stillasittande stunder inomhus. Ett bra inneklimat är således viktigt för att studenter ska må bra och för att de ska uppnå full studiepotential. Det finns därmed anledning att undersöka det inneklimat som studenterna exponeras för varje dag.

I ett pressmeddelande rapporterar Europakommissionen att européer spenderar 90 % av deras tid inomhus (European Commission, 2003). Vidare i pressmeddelandet finns studier som visar att innemiljö kan vara närmare dubbelt så förorenad som utemiljö och att orsaken till astma är till 20 % orsakad av ohälsosamma inneklimat.

Boverket delar in inneklimatet i de två grupperna termisk komfort och luftkvalitet (Figur 1) (Boverket, 1998). Den termiska komforten beror av individens fysiska aktivitet, klädsel och huvudsakligen den omgivande temperaturen. Studier utförda av Boverket har visat att de flesta människor upplever god termisk komfort inom temperatursintervallet 20–24°C.



Figur 1. Schematisk bild över hur inneklimatet är definierat.

Luftkvaliteten beror av luftens koldioxidhalt som dels påverkas av utomhusluften, men även av människors utandningsluft (Boverket, 1998). Om inomhusluften överstiger 1000 ppm anses luften ha dålig lufthygien vilket kan jämföras med utomhus som ungefär har halten 350–400 ppm (World Meteorological Organization, 2016).

Vidare beror luftkvaliteten inomhus av luftens relativa fuktighet, vilken i sin tur huvudsakligen beror av utomhusluftens relativa fuktighet och temperatur (Boverket, 1998). Den relativa fuktigheten inomhus beror även av fuktproduktionen inne, innetemperaturen och ventilationsgraden.

I luften finns dessutom partiklar som främst kommer in med utomhusluften men också från textilier, rengöringsmedel vid städning, matlagning och brinnande ljus med mera (Folkhälsomyndigheten, 2016). Enligt Folkhälsomyndigheten bör inomhusluften ha så låga halter av partiklar som möjligt eftersom att människans hälsa påverkas negativt av dessa.

1.1.2 Elenergianvändning

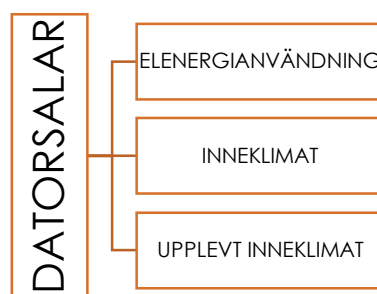
Studietiden innefattar en del arbete som kräver tillgång till särskilda datorprogram. Detta gör datorer och datorsalar till en viktig del av skolans resurser. I och med detta ökar skolans totala elenergianvändning och klimatpåverkan

Enligt en rapport från Svensk Energi har Sveriges elanvändning sedan 1960 talet ökat med över 200 % (Svensk Energi, 2010). Vidare i rapporten finns uppgifter på att svensk elproduktion står för 20 g CO₂/kWh. Det finns därmed anledning att undersöka elenergianvändningen som datorsalar bidrar med.

Under kontorstid använder ett vanligt kontor 44,6 kWh/m² och år, exklusive uppvärmning (Boverket, 2007). Detta kan jämföras med en vanlig svensk lägenhet på 85 m² som år 2003 i snitt använde 4070 kWh per år, vilket motsvarar ungefär 48 kWh/m² och år.

1.2 Syfte

Denna mätstudie har som syfte att analysera hur inneklimat i de nyrenoverade datorsalarna i V-huset upplevs, hur inneklimatet faktiskt är och hur inneklimatet påverkar studenterna (Figur 2). Vidare skall elenergianvändningen i datorsalar granskas.



Figur 2. Schematisk beskrivning av vad syftet med studien är.

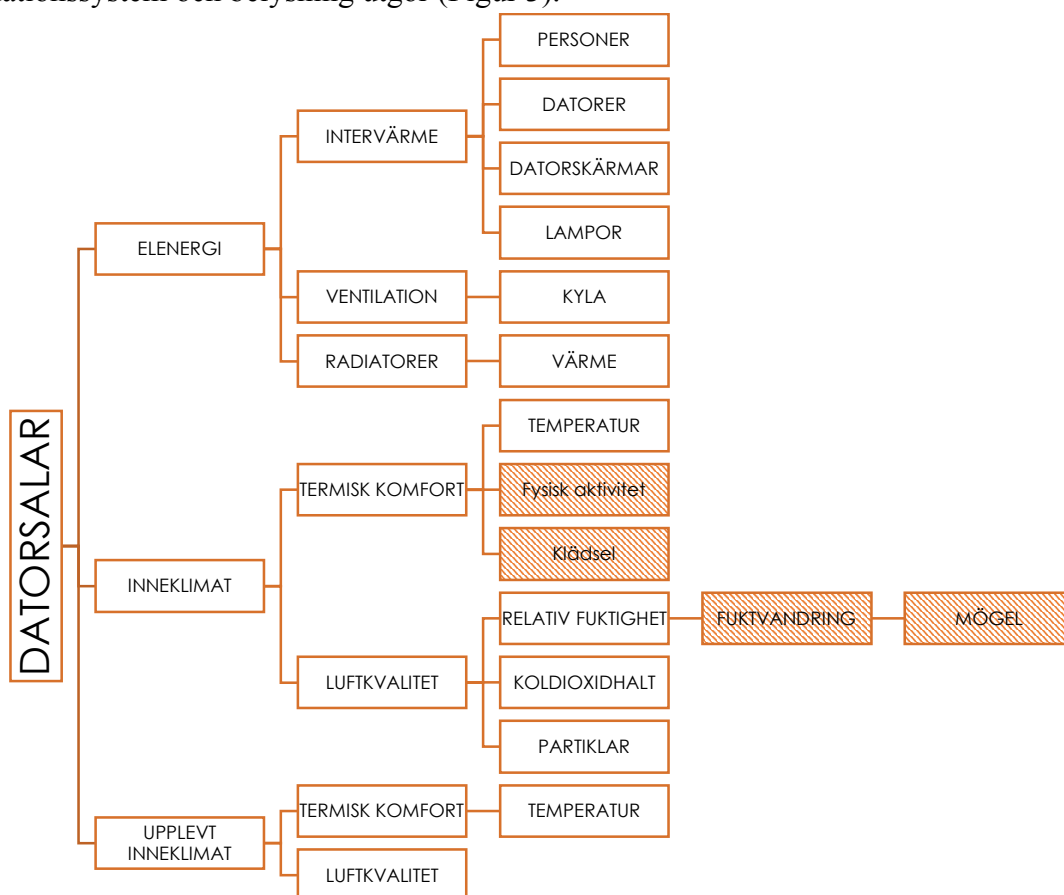
I studien utvärderas Väg- och vatten-/Samhällsbyggnadsprogrammets och Maskinprogrammets datorsalar på Chalmers tekniska högskola. I resterande delar av rapporten benämns Väg- och vatten-/Samhällsbyggnadsprogrammets hus som V-huset och Maskinprogrammets hus som M-huset.

1.3 Avgränsningar

Denna studie avgränsas till enbart analys av inneklimat i datorsalar i V-huset och M-huset. Studien behandlar således inga andra typer av lokaler.

Datorsalarna i V-huset har likadana planlösningar och anses därför vara identiska. M-husets datorsalar används främst som referens för att se om det är skillnad på nyrenoverade och äldre datorsalar. Mätningar i M-huset sker följaktligen i mindre utsträckning.

Inneklimatsanalysen avgränsas till mätning av temperatur, relativ fuktighet, koldioxidhalt och partiklar i luften. Störst vikt läggs vid de tre förstnämnda. Elenergianvändningsanalysen avgränsas till undersökning av den elenergianvändning datorer, datorskärmar, ventilationssystem och belysning utgör (Figur 3).



Figur 3. Schematisk beskrivning av avgränsningarna i studien. De överstrukna rutorna är sådant som inte behandlas.

Vidare begränsas studien till att mätningarna utförs från februari till april, 2017. Det här innebär att resultaten inte speglar inneklimatet under ett helt år. Någon medicinsk kompetens anlitas inte och diskussion om hälsoeffekter kommer att vara begränsad.

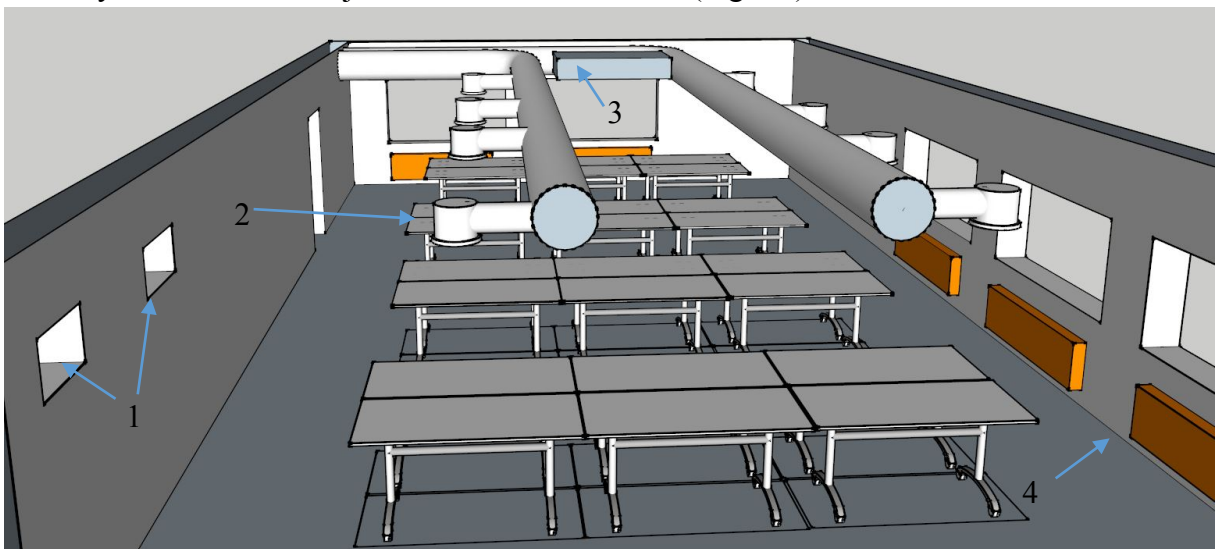
2 TEORI

I detta avsnitt presenteras datorsalarnas utformning och vad det finns för utrustning i lokalerna i form av datorer, skärmar, belysning, ventilation och radiatorer. Vidare beskrivs den använda mätutrustningen, innebörden av internvärme och luftfuktighet. Slutligen beskrivs även vilka hälsoeffekter som påverkar studenterna, med avseende på partiklar, koldioxid, temperatur och torr luft

2.1 Beskrivning av datorsalar i V-huset

Datorsalarna är belägna i V-huset östra del. Det finns fyra stycken salar med en kapacitet på 64 personer vardera (Petersson, 2017). Salarna har tre fönster som vetter österut samt två fönster som vetter norrut. Varje sal har 32 datorer och 32 datorskärmar som är igång dygnet runt. Anledning till att de är på dygnet runt är för att underlätta arbetet med att installera nödvändiga uppdateringar (Bengtsson, 2017).

I salens södra riktning sitter två frånluftskanaler, i taket sitter åtta tilluftsdon samt en fläktlufts kylare och under varje fönster finns en radiator (Figur 4).



Figur 4. Skiss över datorsal i V-huset, Till varje bord hör en dator, en skärm och två stolar. (1) frånluftskanal, (2) tilluftsdon, (3) Fläktlufts kylare, (4) radiator.

Under 2016 genomfördes en renovering V-huset. Enligt VVS-ingenjören Petersson (2017) är möjligheten att kyla salen det viktigaste att tänka på vid projektering av en datorsal. Vid renoveringen lades fler anslutningar till kylning in på ett antal ställen i byggnaden för att tillgodose möjligheten att byta salar för datorundervisning. Datorsalarna placerades i byggnadens östra del för att minimera värmeeffekten från solen.

2.1.1 Centralfläkten

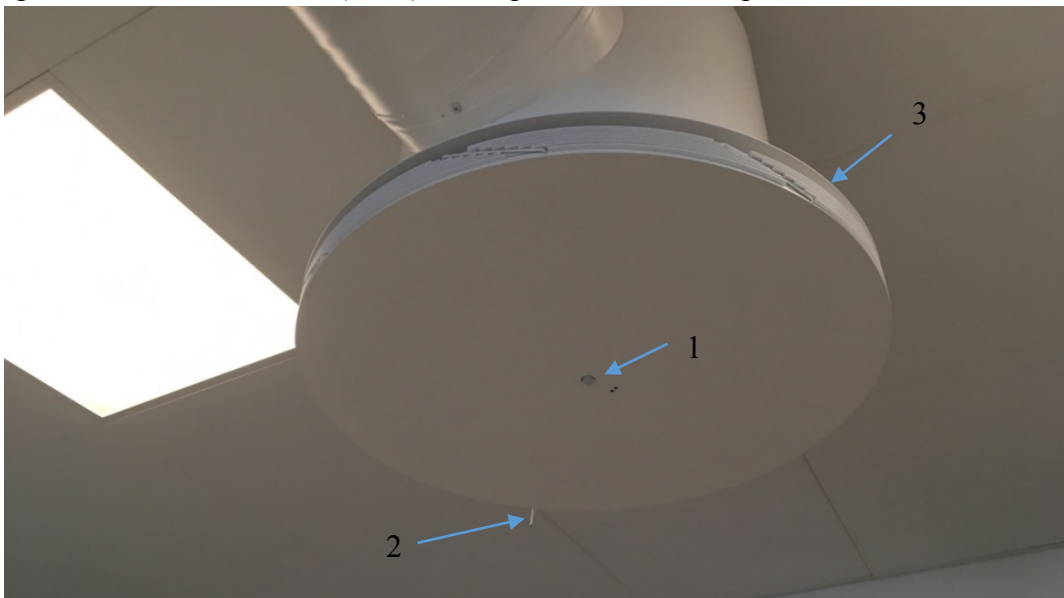
Tilluften som kommer in till varje datorsal i V-huset kommer från centralfläkten som är placerad på husets sjätte och översta våning (Karlsson, 2017). Mellan klockan 07:00 och 20:00

är centralfläkten och en värmeåtervinnare igång. Det finns två värmeåtervinnare som växelvis är igång en vecka i taget, om inte behovet är så stort att båda måste vara igång samtidigt. Ute- och avluften hämtas respektive släpps ut vid taket.

2.1.2 Tilluftsdon och frånluftskanaler

Datorsalarna är utrustade med åtta stycken aktiva taktilluftsdon av märket Lindinvent (Figur 5). Att donet är aktivt innebär att det är kopplat till temperaturgivare, koldioxidgivare, närvarogivare, kanaltemperaturgivare, kanaltryckgivare samt flödesgivare och kan reglera flödet utefter det (Lindinvent, 2017). När närvarogivaren registrerar rörelse aktiverar den temperaturgivaren som i sin tur reglerar spjället (Karlsson, 2017). Oavsett vilket flöde donen skickar ut, blir *kastlängden* alltid den samma (Pettersson, 2017).

I V-huset är temperaturen enligt VVS-ingenjören Pettersson (2017) inställd på 22°C. Men enligt drifttekniker Karlsson (2017) är temperaturen inställd på 23°C.



Figur 5. Ett av salens åtta Lindinvent-don i SB-D509. (1) närvarogivare, (2) temperaturgivare, (3) spjäll.

Mer specifikt regleras luftens flöde och temperatur ut ur donet av både temperatur och koldioxidhalt (Pettersson, 2017). När luften lämnar centralfläkten har den en temperatur mellan 14–18°C och genom kanalsystemet värms den upp med 1–3 °C. Vilken temperatur luften har när den lämnar centralfläkten beror på utomhustemperaturen. Temperaturen i lokalen styr luftflödet så länge koldioxidhalten håller sig under 800 ppm.

I frånluftskanalen sitter en kanalgivare för koldioxid (Pettersson, 2017). Då koldioxidhalten överskrider 800 ppm under mer än 30 minuter, forceras tilluftsflödet succesivt till dess att koldioxidhalten är under 750 ppm i 15 minuter. Då denna nivå uppnås, återgår systemet till att reglera på temperatur.

De två frånluftskanalerna (Figur 4) har ingen fläkt utan verkar genom övertryck (Karlsson, 2017). Luften som pumpas in i tilluftssystemet bildar ett övertryck i salen, vilket skall göra att

smutsig luft tar sig ut genom frånluftskanalerna. Frånluften trycks ut i korridoren som är utanför salen.

Det generella ventilationsflödet är 12 liter per person och sekund (Petersson, 2017). De åtta tilluftsdonen skickar tillsammans ut 80–650 liter per sekund då studenter befinner sig i salen. När datorsalen är tom är alltid ett grundflöde på 0,35 liter per sekund och kvadratmeter igång. I salarna, som är ungefär 170 kvadratmeter vardera, utgör det ett ventilationsflöde i varje sal på 59,5 liter per sekund.

Detta gäller under tiden centralfläkten är igång, det vill säga 07:00-20:00 (Karlsson, 2017). Under resten av kvällen och hela natten är ventilationen helt avstängd, men den går att starta med hjälp av en knapp som är belägen vid trapphusen på varje våningsplan i V-huset.

2.1.3 Fläktluftskylare

Om kyleffekten från tilluftsdonen inte räcker till så finns det ett komplement i form av en vattenburen fläktluftskylare (Petersson, 2017). Datorsalarna är den enda typen av rum i det nybyggda samhällsbyggarhuset som har fläktluftskylare installerat. De fungerar så att när tilluftsdonen når sin maximala kapacitet med avseende på kylning, skickar temperaturgivaren i donet en signal på vilken fläktluftskylaren startar.

Fläktluftskylaren i datorsalarna i V-huset ger ifrån sig torr kyla (Petersson, 2017). Detta innebär att fläktluftskylaren anpassar temperaturen med hänsyn till salens rådande luftfuktighet. Fläktluftskylaren placeras mest gynnsamt högt upp på väggen eller, som i fallet med V-datorsalarna, i taket (Figur 4).

2.1.4 Radiatorer

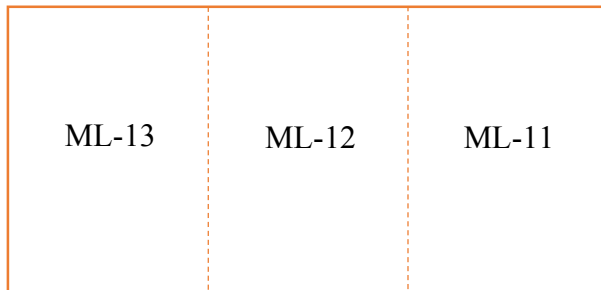
Under samtliga fem fönster är en radiator placerad (Figur 4). Deras huvudsakliga uppgift är att värma fönstren så att inte temperaturskillnad mellan inneluften och fönstrens ytor blir för stor (Karlsson, 2017). Om temperaturskillnaden är stor ökar risken för *kallras*, vilket kan upplevas som att det drar eller blåser kallt i rummet. Radiatorerna aktiveras på samma sätt som fläktluftskylaren (Petersson, 2017). Då donen inte själva klarar av att värma luften tillräckligt, skickar de en signal till radiatorerna.

2.1.5 Belysning och övrig utrustning

I salarna finns 24 lampor som sätts igång med strömbrytare och stängs av med strömbrytare eller med hjälp av närvarogivare. Varje lampa ger ifrån sig ett svagt ljus och fungerar som bakgrundsbelysning snarare än direkt belysning (Östlund, 2017). I övrigt finns det en projektor samt två modem i varje sal.

2.2 Datorsalar i M-huset

Datorsalarna är belägna i M-husets källare (Chalmers, 2017). Den ena salen har en kapacitet på tolv datorer och två personer vid varje dator, det vill säga 24 personer. Salen gränsar till två likadana salar och mellan de tre salarna finns det skjuddörrar (Figur 6). Salen kyls via tilluften och en fläktlufts kylare som finns i salen.



Figur 6. Skiss på hur datorsalarna i M-huset är utformade. Prickad linje symboliserar skjuddörrar.

Den andra salen har en kapacitet på 20 datorer med en person vid varje dator. Denna sal kyls med en fläktlufts kylare samt med kylbafflar som sitter i taket.

2.3 Mätutrustning

I mätstudien används tre olika sorters mätare, en mätare för partiklar; en mätare för koldioxid, temperatur, relativ fuktighet och en mätare för effekt. Nedan redovisas var och en av dem.

2.3.1 Partikelmätare, P-trak

För att mäta partikelmängden i luften används en teknisk utrustning som kallas för P-trak Ultrafine Particle Counter. Den förkortas vidare i rapporten som P-trak. Mätdata från P-trak förs över till en dator som en textfil, vilken kan läggas in i Excel för att sedan omvandlas till en graf över tid redovisad.

P-trak mäter partiklar av storleksordningen 0,02 till 1 micrometer (TSI Incorporated, 2012). Den kan mäta en koncentrationmängd av 0 till 500 000 partiklar/cm³. P-trak kan ställas in på olika tidsintervall för mätning. Minnet skulle vid ett inställt intervall med en dataregistrering per minut klara av att mäta i 1000 timmar.

2.3.2 Koldioxidhalt-, temperatur- och relativ fuktighetsmätare, CP11

För att mäta koldioxidhalt, temperatur och relativ fuktighet används Rotronic CP11. Den förkortas vidare i rapporten som CP11. Mätdata från CP11 förs över till en dator som ett kalkylark, vilket kan öppnas i Excel för att få upp en graf över tid redovisad.

CP11 mäter koldioxidhalten i parts per million [ppm] från 0 till 5000 ppm (Rotronic). Temperatur mäts i grader Celsius [°C] från -20 till 60°C. Relativ fuktighet mäts i procent [% RH] från 0,1 till 99,95 % RH.

2.3.3 Effektmätare, ML10

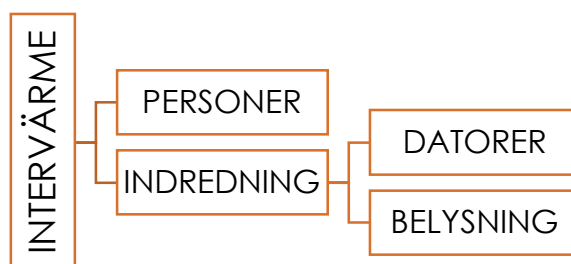
För att mäta datorutrustningens effekt används Enermet ML10 EK22. Den förkortas vidare i rapporten som ML10. ML10 har en diod som blinkar 10 000 gånger per kWh. Genom att räkna antalet sekunder mellan två blinkningar kan effekten räknas fram. Effekten mäts i enheten Watt [W].

2.4 Internvärme

En byggnads energianvändning beror delvis av materialval såsom isoleringens tjocklek, val av fönster och inre solavskärmningar. Invändigt påverkas en datorsal av olika värmegenererande komponenter så som inredning och personer (Figur 7).

Människor, som räknas till internvärmens, avger i genomsnitt 100 W i stillasittande tillstånd (Gustén, 2017). En stationär dator har en effekt på 117 W och en platt vanlig skärm med diametern 19 tum har en elenergieffekt på 39 W (Appel, 2007).

Datorerna med tillhörande skärm är således de komponenter med störst påverkan på inneklimatet vid undersökning av internvärme, om varje datorplats är dimensionerad för en användare. Eftersom att en datorsal har stor rulljängs på människor och antal datorer i användning behöver temperaturen regleras för att hållas på en jämn nivå. Detta görs i V-husets datorsalar med Lindinvent som det står mer om i avsnitt Tilluftsdon och frånluftskanaler.

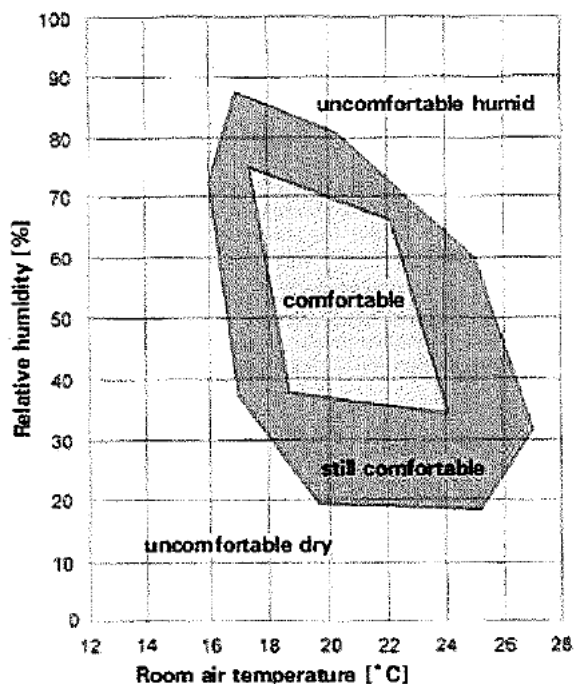


Figur 7. Schematisk bild över internvärme i datorsalarna.

2.5 Luftfuktighet

Hur hög relativ fuktighet det är i luften påverkar även hur temperaturen upplevs (SMHI, 2017). Om den relativa fuktigheten är för hög och det inte drar kan luften uppfattas som obehagligt klabbig och kvav.

Under vintertid, när det är kallt ute, blir det ofta torrt inomhus (SMHI, 2017). Detta beror på att den kalla luften med låg absolut fuktighet värms upp utan tillskott på vatten vilket leder till att luftens relativa fuktighet sjunker. Figur 8 visar vilken nivå luftens relativa fuktighet och temperatur bör vara för att uppfattas som behaglig.



Figur 8. Beskrivning av hur luft upplevs med avseende på relativ fuktighet och temperatur (Avdelningen för Installationsteknik, 2017).

I V-huset tillförs ingen fukt när luften tas utifrån (Pettersson, 2017). Detta kan leda till att luften vintertid har låg relativ fuktighet.

2.6 Hälsoeffekter av dåligt inneklimat

Ett dåligt inneklimat kan på olika sätt påverka människans hälsa. Det termiska klimatet, med avseende på temperatur kan vara hälsofarligt både vid för hög och för låg temperatur (Socialstyrelsen, 2005). Även den relativa fuktigheten kan påverka hälsan negativt, framförallt vid för låg relativ fuktighet. Vidare kan det handla om för höga partikelnivåer eller för hög koldioxidhalt.

2.6.1 Partiklar

Volatile organic compounds (VOCs), är organiska kemikalier som har ett högt ångtryck vid normal rumstemperatur (Nationalencyklopedin, 2017). Dessa kolföreningar övergår lätt i gasform och kan därmed få spridning i atmosfären och kan komma från flera olika källor. En del härstammar från bland annat barrträd och annan vegetation.

En annan vanlig VOC är *bensen* som är en mycket giftig produkt som återfinns i bensen, färger, lacker och lösningsmedel. Detta ämne klassas som cancerframkallande och kan framkalla benmargsskador och *leukemi* vid långvarig exponering (Eberson, 2017).

2.6.2 Koldioxid

Koldioxidhalten ger en god indikation på ventilationens effektivitet i ett rum (Abel & Elmroth, 2012). Utomhus ligger halten på 350–400 ppm. Medan koldioxiden är direkt

nödvändigt för växternas fotosyntes kan för höga halter inomhus leda till negativa hälsoeffekter för människan (Calectro AB, 2012).

Vid höga halter tränger koldioxiden undan och ersätter syret i luften vilket kan leda till en kvävande effekt med symtom som trötthet, illamående och huvudvärk (Calectro AB, 2012). Detta kan upplevas i liten utsträckning redan vid 2000–3000 ppm. Vid 10 000 ppm finns det risk för andningsförlamning och medvetslöshet och om halten fortsätter upp till 30 000 ppm föreligger risk för dödsfall.

Det rekommenderade inomhusgränsvärdet är 1000 ppm (Calectro AB, 2012). Vidare finns det ett hygieniskt gränsvärde på 5000 ppm som innebär att 5000 ppm är den maximala genomsnittliga koldioxidhalten som en människa får utsättas för under en arbetsdag, 8 timmar. Båda dessa gränsvärden är tillämpade i Sverige och en rad andra länder.

2.6.3 Temperatur

Svaret på vad som är en god termisk komfort varierar från individ till individ. Omfattande försök och studier har visat att flesta människor upplever god termisk komfort vid inomhustemperaturer i intervallet 20–24 grader (Boverket, 1998).

För höga inomhustemperaturer kan medföra allmänsymtom som huvudvärk eller illamående (Socialstyrelsen, 2005). För låga inomhustemperaturer kan påverka blodtryck och blodproppsbildning samt påverka och öka risken för lungrelaterade sjukdomar. Vidare kan personer med muskelsjukdomar som till exempel *reumatism* få ökade besvär vid för låga inomhustemperaturer.

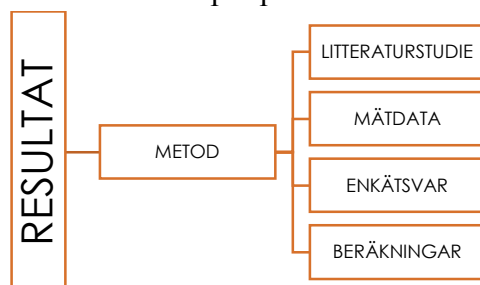
2.6.4 Torr luft

Den ideala relativa fuktigheten ligger på 40 % relativ fuktighet men människans tolerans är hög (Hillert, Matura, Emenius, Lundin, & Mattias, 2015). Luftigheten inomhus varierar och beror mycket på utomhusluftens temperatur och luftfuktighet. I en välventilerad byggnad kan den ligga på runt 60 % relativ fuktighet under sommaren och på vintern kan den krypa ner mot 15 % relativ fuktighet, då luften måste värmas.

Att vistas i ett rum med för torr luft kan medföra en rad olägenheter (Socialstyrelsen, 2005). Nivåer under 20 % relativ fuktighet kan ge problem med hud, slemhinnor och ögon som torkar ut. Med detta kan besvär som hudklåda, nässelutslag och fjällande *dermatit* uppstå.

3 METOD

Studien utgörs av litteraturstudie, mätdata, enkätsvar och beräkningar som tillsammans utgör resultatet (Figur 9). Litteraturstudien görs främst i form av intervjuer och information från nätet eller biblioteket. Arbetet med dessa löper parallellt.



Figur 9. Schematisk beskrivning av hur metoden för studien är utformad.

3.1.1 Intervjuer

För att få en bakgrundsfakta om hur datorsalarna är utformade, hur verksamheten i dem bedrivs och vilka tekniska system som är installerade har flertalet intervjuer med relevanta personer gjorts.

- Chalmersfastigheters energistrategi Bengt Bergsten. Chalmersfastigheter hyr lokalerna där undersökningarna genomförs.
- Akademiska hus drifttekniker Jan G Karlsson. Akademiska hus står för driften och äger lokalerna där undersökningarna genomförs.
- Chalmersfastigheters projektledare för renoveringen, Åsa Östlund och Akademiska hus projektledare, Jan Karlsson.
- Bengt Dahlgrens VVS-ingenjör Johan Petersson. Bengt Dahlgren har under renoveringen tagits in som konsultfirma för att förbättra inneklimatet i V-huset.

3.1.2 Mätningar av koldioxidhalt, relativ fuktighet, temperatur, antal personer och partiklar

Data innefattande koldioxidhalt, relativ fuktighet och temperatur mäts med CP11 – som beskrivs i Koldioxidhalt-, temperatur- och relativ fuktighetsmätare, CP11, och andel partiklar mäts med P-trak – som beskrivs i Partikelmätare, P-trak. Mätningar utförs under åtta olika tillfällen, varav sex mätningar sker i V-huset och resterande två i M-huset ().

Tabell 1).

Tabell 1, Beskriver när mätningar gjort i form av datum och tid. Vidare beskrivs i vilken byggnad och sal mätningar gjort samt vilka mätningar som gjorts för den dagen.

DATUM	SAL	HUS	TID	MÄTNING
21 FEBRUARI	SB-D209	V-huset	08:10-16:50	Personer, CO ₂ , luftfuktighet, temperatur
2 MARS	SB-D209	V-huset	07:40-17:40	Personer, CO ₂ , luftfuktighet, temperatur, partiklar

7 MARS	SB-D209	V-huset	07:50-17:00	Personer, CO ₂ , luftfuktighet, temperatur
27 MARS	SB-D409	V-huset	07:40-17:40	Personer, CO ₂ , luftfuktighet, temperatur, partiklar
28 MARS	SB-D509	V-huset	07:40-17:00	Personer, CO ₂ , luftfuktighet, temperatur, partiklar
29 MARS	SB-D509	V-huset	07:40-17:00	Personer, CO ₂ , luftfuktighet, temperatur, partiklar
30 MARS	MT-12	M-huset	07:40-17:00	Personer, CO ₂ , luftfuktighet, temperatur, partiklar
4 APRIL	MT-9	M-huset	08:00-17:00	Personer, CO ₂ , luftfuktighet, temperatur, partiklar

Två stycken CP11 används, en placeras vid rummets frånluft och en placeras i mitten av rummet. Partikelmätaren, P-trak, placeras i mitten av rummet. Mätningarna pågår ungefär från klockan 08:00 till klockan 17:00. Mätningarna sker både på tillfällena då det är lektion och salen har nått sin maxkapacitet samt när det inte är lektion och det är få människor i salen.

Mätvärden av koldioxidhalt, relativ fuktighet och temperatur tas automatiskt var tionde sekund. Mätning av partiklar tas också automatiskt var femte minut. Mätdata innefattande personer som vistas i datorsalen räknas manuellt var tionde minut under hela tidsintervallet.

Innan eller efter mätningarna tas referensvärde på utomhusluften. Detta görs med CP11 för koldioxid, luftfuktighet samt temperatur. Något referensvärde för partiklar tas inte.

3.1.3 Enkätundersökning

Enkäten är utformad enligt en standardmodell som kallas *Örebromodellen*. Enkäten som används i rapporten liknar till stor del en basenkät för arbetsmiljö på kontor, en så kallad MM-enkät, som är framtagen på Arbets- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro år 1985 (Norman, 2017).

Enkätens fokus ligger istället på termisk komfort och arbetsmiljö (Bilaga I - enkätundersökning). Enkäten testades först på drygt 30 studenter för att en felsökning och revidering skulle kunna genomföras innan slutgiltig enkät delades ut.

Den reviderade och den färdigställda enkäten delades sedan ut till studenter i datorsalen där mätningen var aktiv. Totalt svarade 96 studenter på den reviderade och slutgiltiga enkäten som används i denna studie. För att enkätsvaren skulle spegla samma tidsperiod som de tekniska mätningarna utfördes dessa två steg parallellt i denna studie.

3.1.4 Elenergianvändning

Mätdata innefattande datorernas effekt anskaffas med en ML10 som beskrivs i Effektmätare. ML10 kopplas mellan vägguttaget och en dator och en datorskärm. Mätningen av dessa två enheter sker separat.

Datorn mäts vid belastningarna viloläge, normal belastning samt hög belastning. Datorskärmen mäts vid belastningarna viloläge samt normal användning. Hög belastning innebär att ett krävande datorprogram används och normalbelastning innebär surfande samtidigt som arbete i Word utförs.

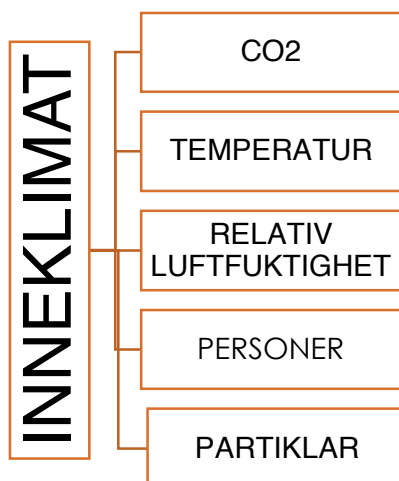
Vidare görs beräkningar för effekt och elenergianvändning schematiskt utifrån hur många datorer och datorskärmar det finns i salen. Kombinationen av en dator och en datorskärm kallas för datorenhet i denna rapport.

4 INNEKLIMAT

I detta avsnitt presenteras resultat från de mätningar som gjorts angående koldioxid, relativ fuktighet, temperatur, personer i salen och partiklar. Utöver det så redovisas även resultatet från enkätundersökningen. Vidare diskuteras resultatet från mätningarna och enkätundersökningen tillsammans.

4.1 Resultat av koldioxidhalt-, relativ fuktighet-, temperatur- och personmätningar

Mätningarna som gjorts med CP11, det vill säga koldioxidhalt, relativ fuktighet och temperatur redovisas tillsammans med mätningarna angående hur många studenter som vistas i salen (Figur 10). Detta redovisas var mätning för sig tillsammans med ett referensvärde på koldioxidhalten, relativ fuktighet och temperatur som är uppmätt utomhus innan eller efter mätningen inomhus.



Figur 10. Schematisk bild över vad det är som påverkar inneklimatet.

För vardera dagen redovisas mätdata från en av de två mätarna. Mätdata från den andra mätaren finns i Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning. Mätdata från den 30 mars, mätning i M-huset finns i Bilaga IV - mätningar utförda den 30 mars i M-huset.

Referensvärden utomhus saknas för mätningen utförd den 2 mars. Övriga diagram är kompletta.

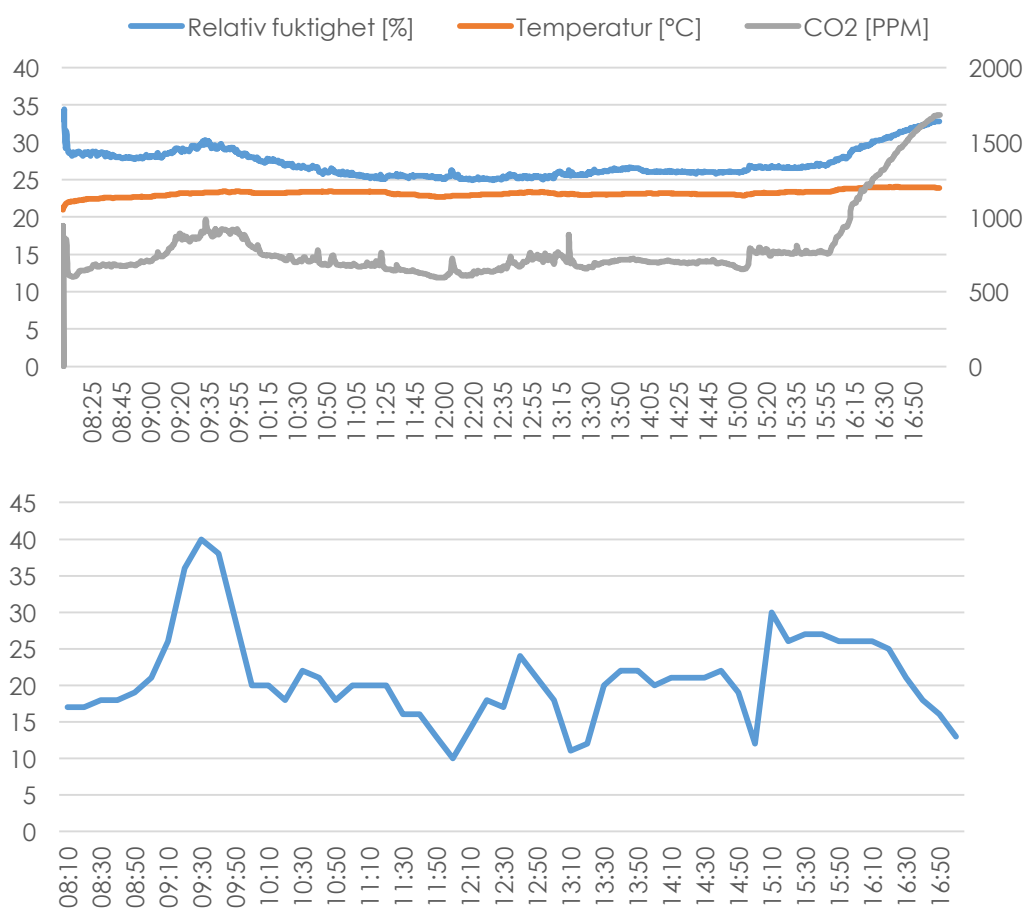
4.1.1 Mätningar utförda den 21 februari

Relativ fuktighet, temperatur och koldioxidhalt utomhus den 21 februari redovisas i Tabell 2. Referensmätningen görs på morgonen innan mätningarna inne i salen påbörjas.

Tabell 2. Uppmätta referensvärden utomhus för den 21 februari.

RF [%]	TEMPERATUR [°C]	KOLDIOXIDHALT [PPM]
72	4,2	423

Figur 11a visar resultatet från CP11 placerad mitt i rummet i SB-D209 den 21 februari. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 1684 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 24,9 % och uppgår som högst till 34,4 %. Temperaturen är som lägst 20,9°C och som högst 24°C. Figur 11b visar resultat från personmätning i SB-D209 den 21 februari. Maximalt vistas 40 personer i salen och i medeltal 21 personer. Diagram för mätningar vid frånluften finns i Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning.



Figur 11. a) Resultat av RF, Temperatur samt CO₂ mitt i rummet den 21 februari. Y-axeln till vänster anges i [%] för den relativa fuktigheten och [°C] för temperatur. Y-axeln till höger anges i [ppm] för koldioxid. b) Mätresultat av hur många personer som vistats i salen den 21 februari.

Mellan ungefär klockan 09:00 och 10:00 var det mer människor än genomsnittligt för dagen (Figur 11b). Detta ger inverkan på koldioxidhalten och den relativa fuktigheten vilket syns i Figur 11a. Vid klockan 16:00 så ökar koldioxidhalten, den relativa fuktigheten samt

temperaturen. Detta beror på att ventilationen av någon anledning stängts av vid denna tidpunkten. Östlund (2017) bekräftar detta under intervjun efter översiktlig analys av Figur 11a.

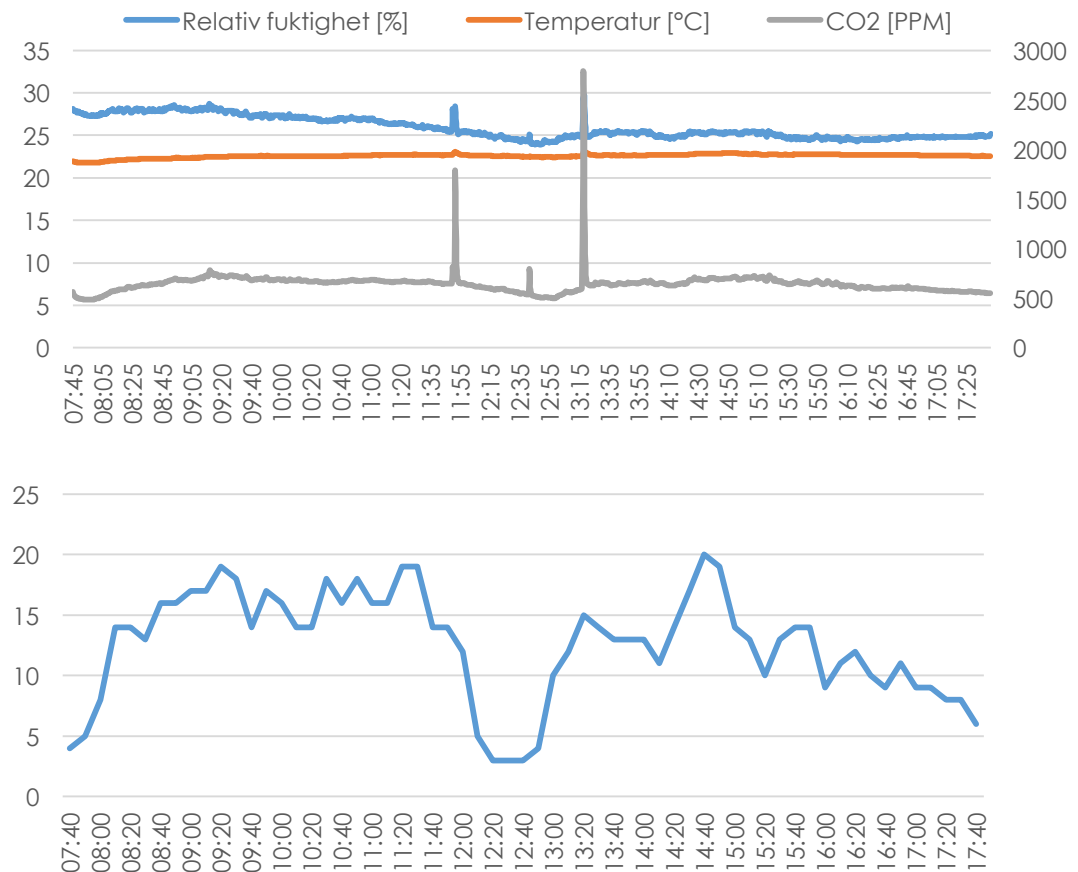
4.1.2 Mätningar utförda den 2 mars

Relativ fuktighet, temperatur och koldioxidhalt utomhus den 2 mars saknas.

Tabell 3. Uppmätta referensvärden utomhus den 2 mars saknas.

RF [%]	TEMPERATUR [°C]	KOLDIOXIDHALT [PPM]
-	-	-

Figur 12a visar resultatet från CP11 placerad vid frånluften i SB-D209 den 2 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 2794 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 23,9 % och uppgår som högst till 37,8 %. Temperaturen är som lägst 21,1°C och som högst 23,1°C. Figur 12b visar resultat från personmätning i SB-D209 den 2 mars. Maximalt vistas 20 personer i salen och i medeltal 13 personer. Diagram för mätningar mitt i rummet finns i Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning.



Figur 12. a) Resultat av RF, Temperatur samt CO₂ vid frånluften den 2 mars. Y-axeln till vänster anges i [%] för den relativa fuktigheten och [°C] för temperatur. Y-axeln till höger anges i [ppm] för koldioxid. b) Mätresultat av hur många personer som vistats i salen den 2 mars.

Antalet studenter håller ungefär samma nivå under hela dagen, med undantag för mellan klockan 12:00 och 13:00 (Figur 12b). Det ger även viss inverkan på koldioxidhalten och luftfuktigheten (Figur 12a). I Figur 12a syns två större och en mindre avvikelse, detta beror förmodligen på något fel på mätutrustningen eller att någon student har manipulerat mätresultatet genom att andas på mätutrustningen.

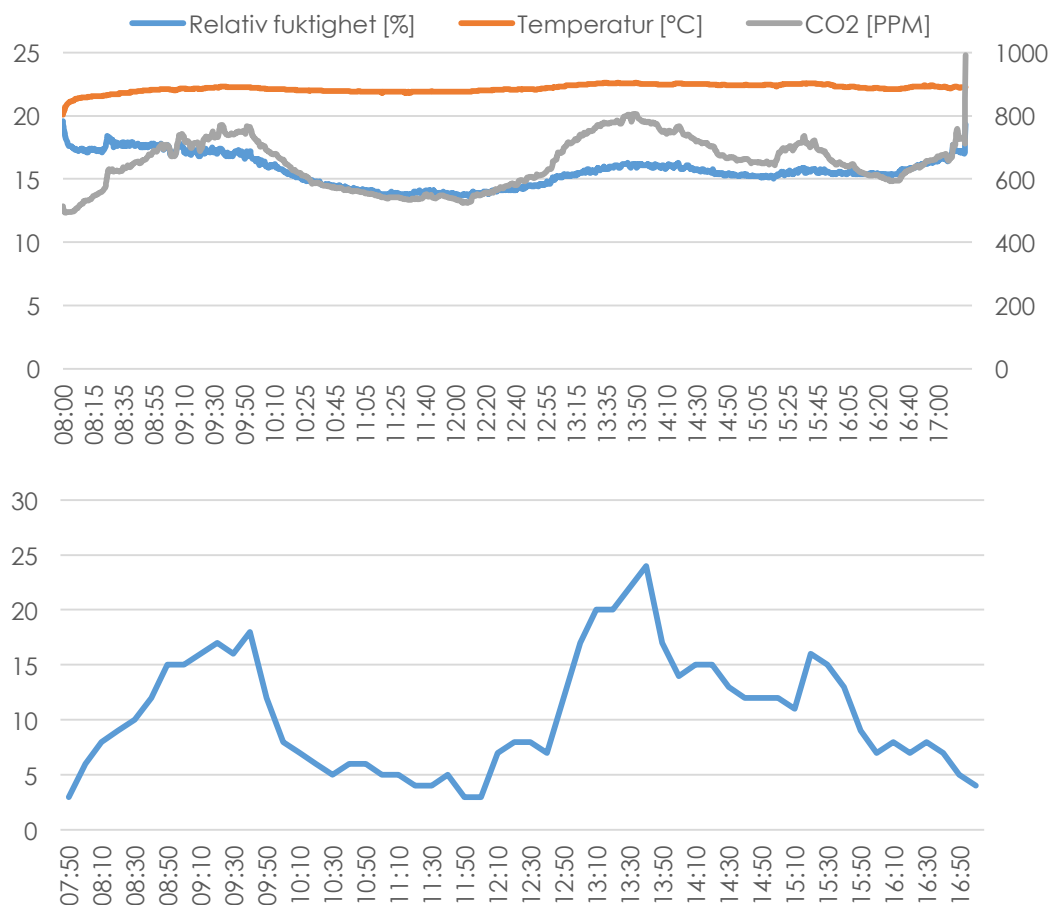
4.1.3 Mätningar utförda den 7 mars

Relativ fuktighet, temperatur och koldioxidhalt utomhus den 7 mars redovisas i Tabell 4. Referensmätningen görs på morgonen innan mätningarna inne i salen påbörjas.

Tabell 4. Uppmätta referensvärden utomhus för den 7 mars.

RF [%]	TEMPERATUR [°C]	KOLDIOXIDHALT [PPM]
37,6	0,78	421

Figur 13a visar resultatet från CP11 placerad vid frånluften i SB-D209 den 7 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 806 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 13,6 % och uppgår som högst till 18,4 %. Temperaturen är som lägst 21,5°C och som högst 22,6°C. Figur 13b visar resultat från personmätning i SB-D209 den 7 mars. Maximalt vistas 24 studenter i salen och i medeltal 10 studenter. Diagram för mätningar mitt i rummet finns i Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning.



Figur 13. a) Resultat av RF, Temperatur samt CO₂ vid frånluften den 7 mars. Y-axeln till vänster anges i [%] för den relativa fuktigheten och [°C] för temperatur. Y-axeln till höger anges i [ppm] för koldioxid. b) Mätresultat av hur många personer som vistats i salen den 7 mars.

Antalet studenter som vistas i salen är relativt lågt för dagen men har två större pikor vid klockan 09:30 och 13:30 (Figur 13b). Det ger även inverkan på koldioxidhalten som ökar vid dessa tillfällen (Figur 13a). Den relativa fuktigheten håller en låg nivå med lägsta värde på 13,6 %.

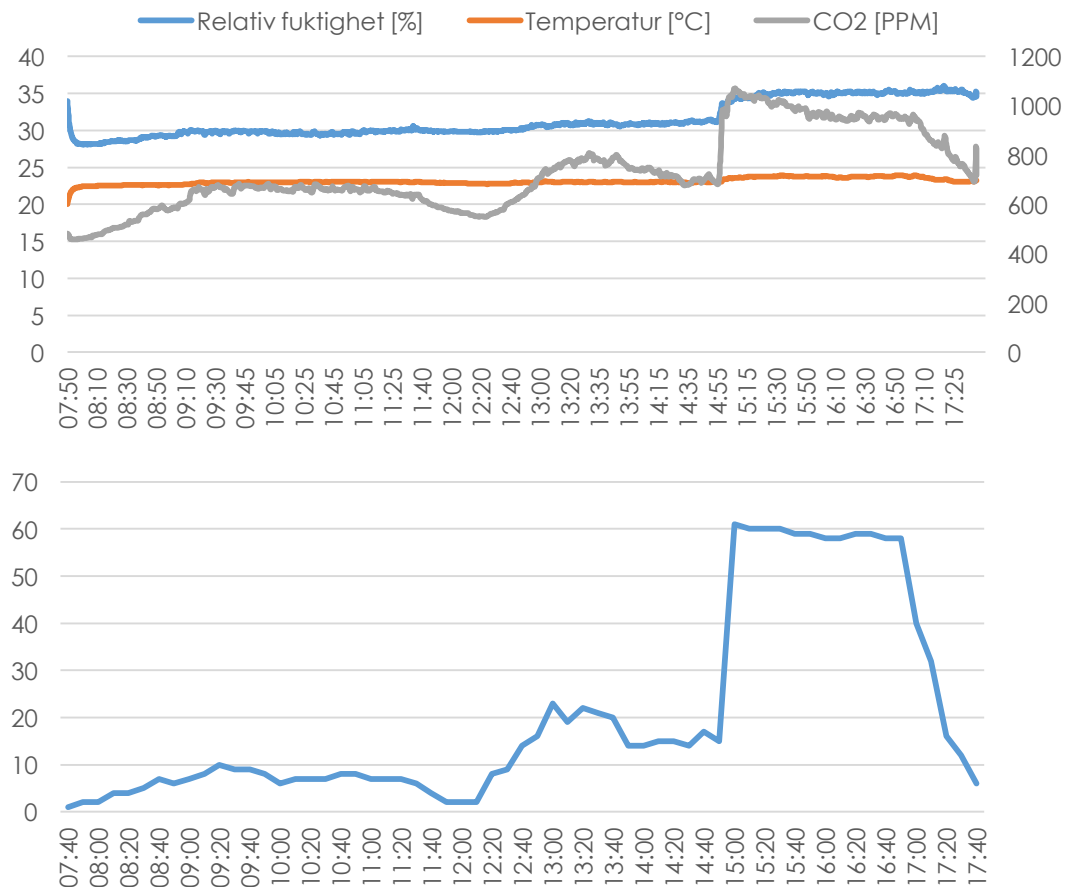
4.1.4 Mätningar utförda den 27 mars

Relativ fuktighet, temperatur och koldioxidhalt utomhus den 27 mars redovisas i Tabell 5. Referensmätningen görs på morgonen innan mätningarna inne i salen påbörjas.

Tabell 5. Uppmätta referensvärden utomhus för den 27 mars.

RF [%]	TEMPERATUR [°C]	KOLDIOXIDHALT [PPM]
55,1	9,11	430

Figur 14a visar resultatet från CP11 placerad vid frånluften i SB-D409 den 27 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 1072 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 28,1 % och uppgår som högst till 35,4 %. Temperaturen är som lägst 22,5°C och som högst 23,9°C. Figur 14b visar resultat från personmätning i SB-D409 den 27 mars. Maximalt vistas 61 personer i salen och i medeltal 20 personer. Diagram för mätningar mitt i rummet finns i Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning.



Figur 14. a) Resultat av RF, Temperatur samt CO₂ vid frånluften den 27 mars. Y-axeln till vänster anges i [%] för den relativa fuktigheten och [°C] för temperatur. Y-axeln till höger anges i [ppm] för koldioxid. b) Mätresultat av hur många personer som vistats i salen den 27 mars.

Antalet studenter i salen ökar markant precis innan klockan 15:00 då en lektion startar i salen (Figur 14b). Koldioxidhalten ökar från 688 till 1064 ppm under tio minuter samtidigt som antalet studenter ökar (Figur 14a). Temperaturen ökar från att tidigare under dagen varit runt 23°C till runt 23,8°C under samma tidsintervall.

4.1.5 Mätningar utförda den 28 mars

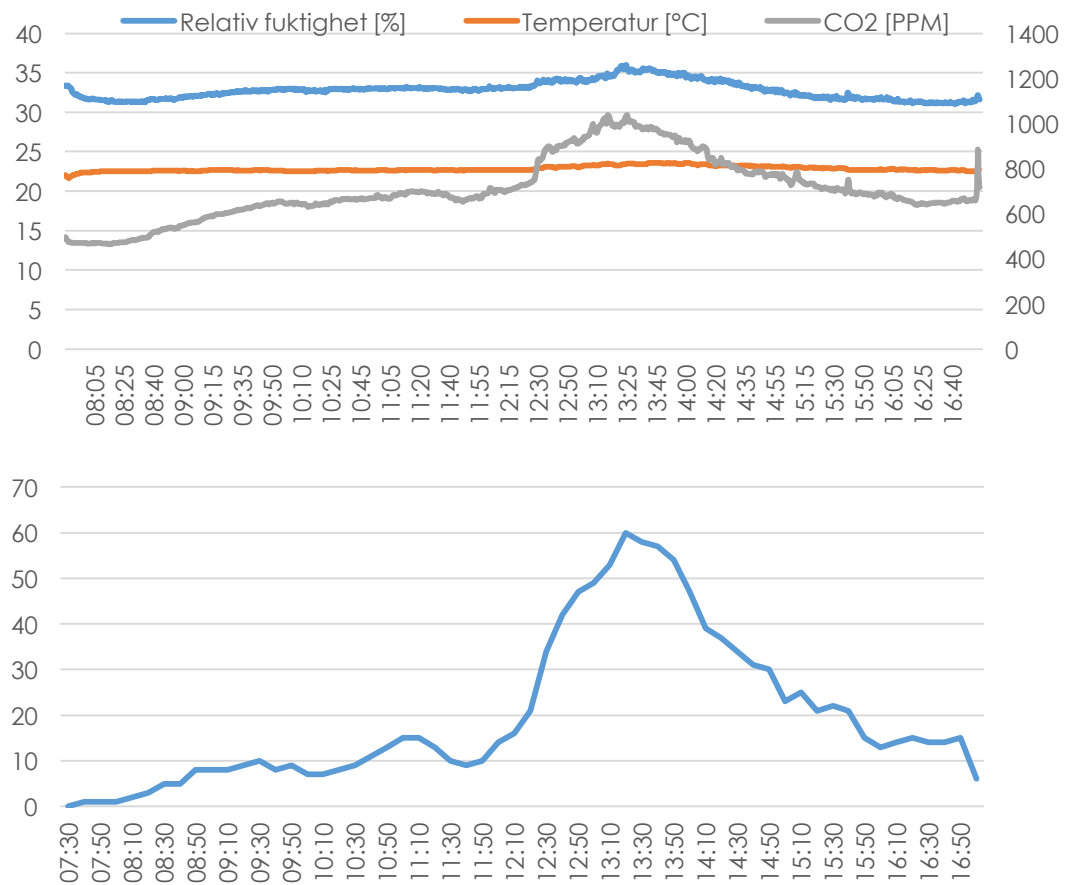
Relativ fuktighet, temperatur och koldioxidhalt utomhus den 28 mars redovisas i Tabell 6. Referensmätningen görs på morgonen innan mätningarna inne i salen påbörjas.

Tabell 6. Uppmätta referensvärden utomhus för den 28 mars.

RF [%]	TEMPERATUR [°C]	KOLDIOXIDHALT [PPM]
52,1	9,94	426

Figur 15a visar resultatet från CP11 placerad vid frånluften i SB-509 den 28 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 1039 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 31 % och uppgår som högst till 36 %. Temperaturen är som lägst 22,4°C och som högst 23,6°C.

Figur 15b visar resultat från personmätning i SB-D509 den 28 mars. Maximalt vistas 60 personer i salen och i medeltal 20 personer. Diagram för mätningar mitt i rummet finns i Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning.



Figur 15. a) Resultat av RF, Temperatur samt CO₂ vid frånluften den 28 mars. Y-axeln till vänster anges i [%] för den relativa fuktigheten och [°C] för temperatur. Y-axeln till höger anges i [ppm] för koldioxid. b) Mätresultat av hur många personer som vistats i salen den 28 mars.

Antalet studenter i salen stiger ordentligt från klockan 12:00 och gör det fram till klockan 13:30 då 60 stycken studenter befinner sig i salen. Antalet avtar sedan (Figur 15b).

4.1.6 Mätningar utförda den 29 mars

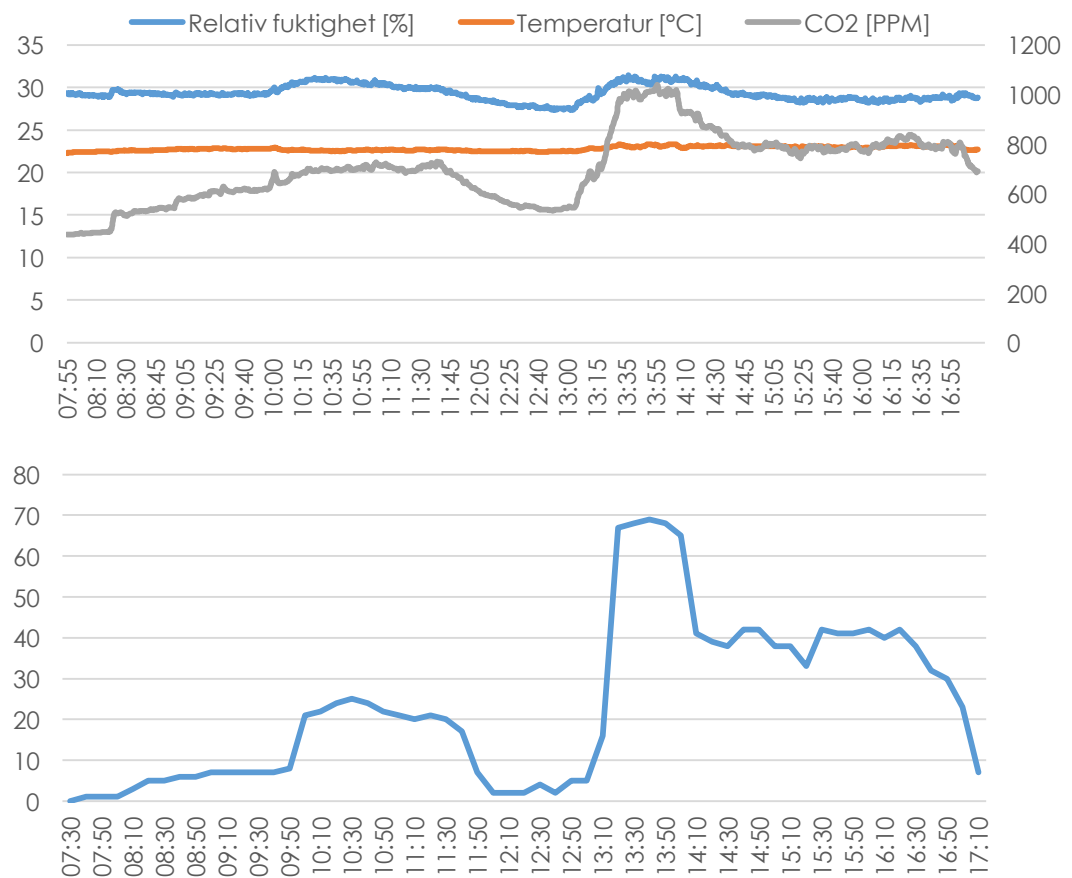
Relativ fuktighet, temperatur och koldioxidhalt utomhus den 29 mars redovisas i Tabell 6. Referensmätningen görs på morgonen innan mätningarna inne i salen påbörjas.

Tabell 7. Uppmätta referensvärden utomhus för den 29 mars.

RF [%]	TEMPERATUR [°C]	KOLDIOXIDHALT [PPM]
66,8	8,22	440

Figur 16a visar resultatet från CP11 placerad vid frånluften i SB-509 den 29 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 1039 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 27,4 % och uppgår som högst till 31,4 %. Temperaturen är som lägst 22,4°C och som högst

23,3°C. Figur 16b visar resultat från personmätning i SB-D509 den 29 mars. Maximalt vistas 69 personer i salen och i medeltal 24 personer. Diagram för mätningar mitt i rummet finns i Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning.



Figur 16. a) Resultat av RF, Temperatur samt CO₂ vid frånluften den 29 mars. Y-axeln till vänster anges i [%] för den relativa fuktigheten och [°C] för temperatur. Y-axeln till höger anges i [ppm] för koldioxidhalt. b) Mätresultat av hur många personer som vistats i salen den 29 mars.

Antalet studenter ökar från fem till 67 stycken under 20 minuters tid från och med klockan 13:00(Figur 16a). Sedan är antalet studenter i datorsalen mellan 67–69 fram till klockan 14:00. Denna ökning återspeglas i grafen för koldioxidhaltmätningen som mellan 13:00 och 13:35 ökar från 544 ppm till ungefär 1000 ppm (Figur 16a). Koldioxidhalten håller sedan en ganska jämn nivå fram till klockan 14:05.

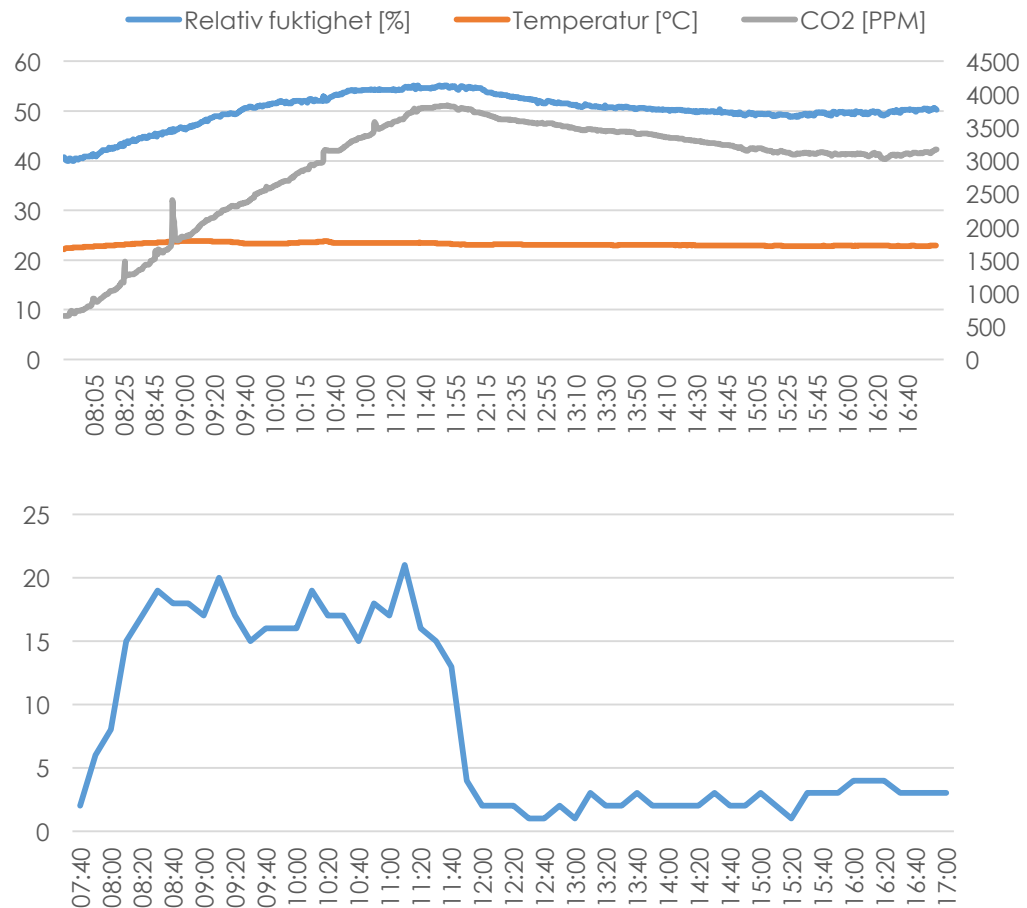
4.1.7 Mätningar utförda den 4 april i M-huset

Relativ fuktighet, temperatur och koldioxidhalt utomhus den 4 mars redovisas i Tabell 8. Referensmätningen görs på eftermiddagen efter mätningarna inne i salen påbörjas.

Tabell 8. Uppmätta referensvärden utomhus för den 4 april.

RF [%]	TEMPERATUR [°C]	KOLDIOXIDHALT [PPM]
51,8	11,61	420

Figur 17a visar resultatet från CP11 placerad mitt i rummet i MT-9 den 4 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 3833 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 39,9 % och uppgår som högst till 55,1 %. Temperaturen är som lägst 20,1°C och som högst 23,8°C. Figur 17b visar resultat från personmätning i MT-9 den 4 april. Maximalt vistas 21 personer i salen och i medeltal 8 personer. Diagram för mätningar vid frånluften finns i Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning.



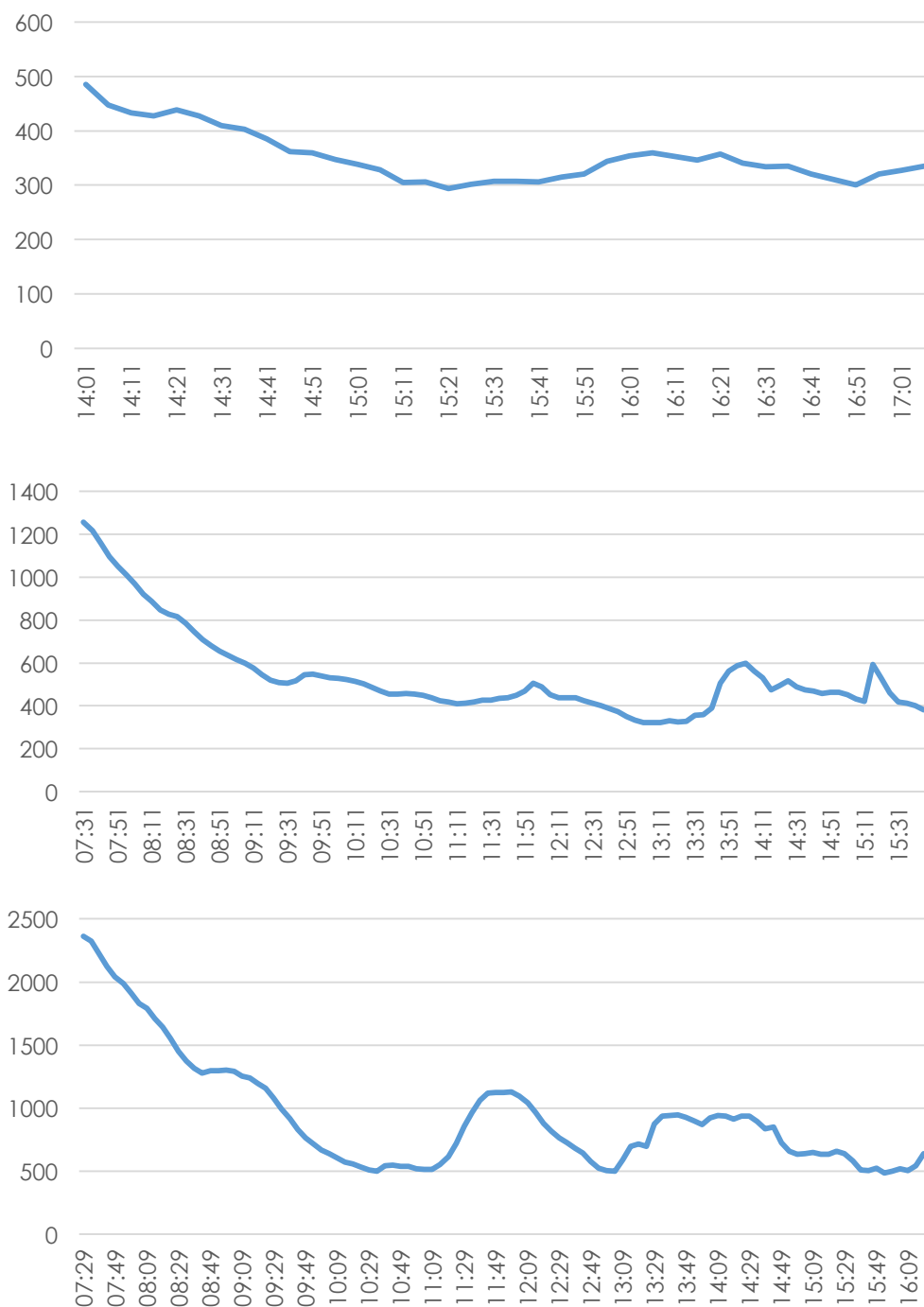
Figur 17. a) Resultat av RF, Temperatur samt CO₂ mitt i rummet den 4 april. Y-axeln till vänster anges i [%] för den relativa fuktigheten och [°C] för temperatur. Y-axeln till höger anges i [ppm] för koldioxidhalt. b) Mätresultat av hur många personer som vistats i salen den 4 april

Under förmiddagen, det vill säga från klockan 08:00 till 11:30 är det knappt 20 personer i salen (Figur 17a). Koldioxidhalten ökar under samma tid från ungefär 650 ppm till 3800 ppm. Under resten av dagen är det 2–3 studenter i datorsalen och koldioxidhalten ligger över 3000 ppm under hela detta tidsintervall.

4.2 Resultat av partikelmätningar

Figur 18a visar resultatet från P-trak i SB-D409 den 27 mars. Maximalt är det 486 pt/cc och i snitt 352 pt/cc. Notera att mätningen påbörjades klockan 14:01:32 på grund av tekniska problem. Figur 18b visar resultatet från P-trak i SB-D509 den 28 mars. Maximalt är det 1258

pt/cc och i snitt 539 pt/cc. Figur 18c visar resultatet från P-trak i SB-D509 den 29 mars. Maximalt är det 2363 pt/cc och i snitt 934 pt/cc. Partikeldata från övriga dagar redovisas i Bilaga III - partikeldata.



Figur 18. a) Mätresultat över partikelhalt i rummet den 27 mars. b) Mätresultat över partikelhalt i rummet den 28 mars. c) mätresultat över partikelhalt i rummet den 29 mars.

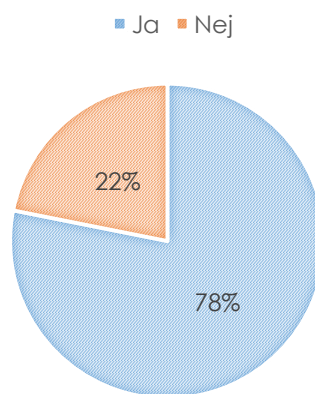
Mätningarna av partikelhalten visar att differensen från dag till dag är stor. Men vad alla tre grafer har gemensamt är att halten är som störst under mätningens första timmar. Detta kan bero på att ventilationen har varit avstängd under natten, vilket har medfört att partiklar inte

kunnat ventileras ut ur rummet. När sedan ventilationen aktiveras minskar partikelhalten succesivt.

4.3 Resultat av enkätundersökning

Nedan presenteras enkätsvaren med hjälp av grafer och figurer. Totalt medverkade 96 stycken studenter i enkätundersökningen.

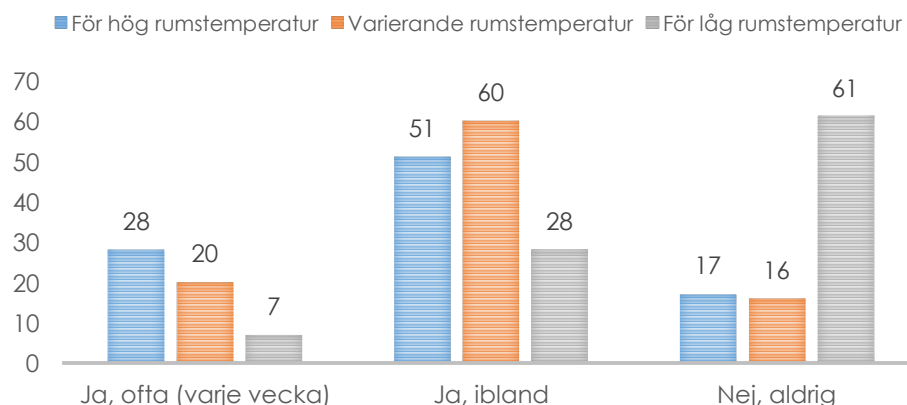
Figur 19 baseras på svarsdata från Bilaga I - enkätundersökning där 75 av 96 studenter anser att inneklimatet i datorsalen påverkar deras studieförmåga. Detta resultat tolkas främst som att studenterna tycker att inneklimatet i datorsalarna är viktigt. Men att 22% har svarat att det inte är viktigt kan också tolkas som att de aldrig upplevt ett dåligt inneklimat i datorsalarna, och därmed inte ser det som ett problem.



Figur 19. Enkätsvar på frågan "anser du att inneklimatet i datorsalen påverkar din studieförmåga?"

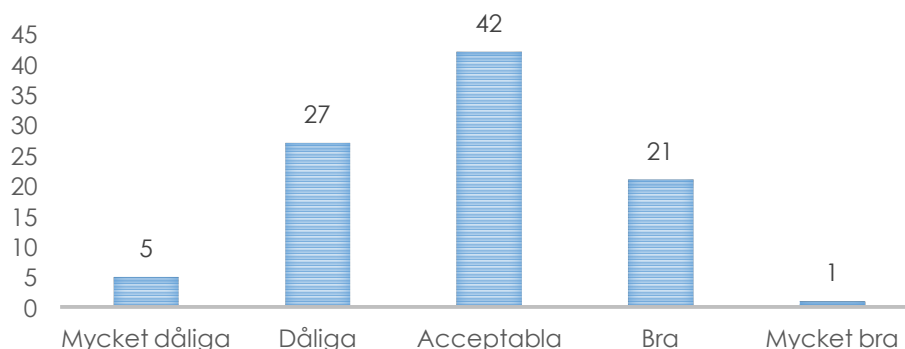
4.3.1 Enkätsvar angående temperaturförhållanden

Figur 20 baseras på svarsdata från Bilaga I - enkätundersökning och redovisar hur temperaturerna upplevs i V-husets datorsalar. Temperaturen upplevs generellt som lagom till för hög i datorsalarna. Slutsatsen dras framförallt från att 60 av 96 personer upplever temperaturen som varierande och 51 av 96 personer upplever den som för hög ibland. Men detta baseras även på att en majoritet, 61 av 96, aldrig upplever en för låg rumstemperatur.



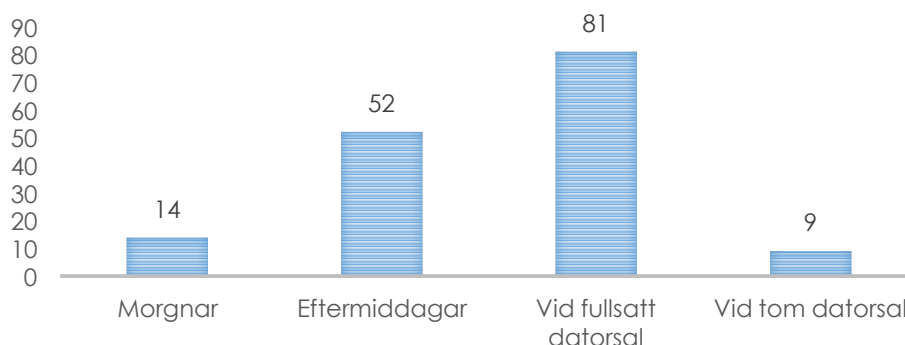
Figur 20. Upplevd temperatur i datorsalar.

Figur 21 baseras på svarsdata från Bilaga I - enkätundersökning, frågan har rubriken ”Vad anser du generellt om temperaturförhållandena i V-husets datorsalar?”. 42 av 96 studenter anser att temperaturförhållandena är acceptabla och utgör en majoritet. Det är däremot fler som upplever temperaturförhållandena som dåliga eller mycket dålig än bra eller mycket bra.



Figur 21. Enkätsvar på frågan ”Vad anser du generellt om temperaturförhållandena i V-husets datorsalar?”

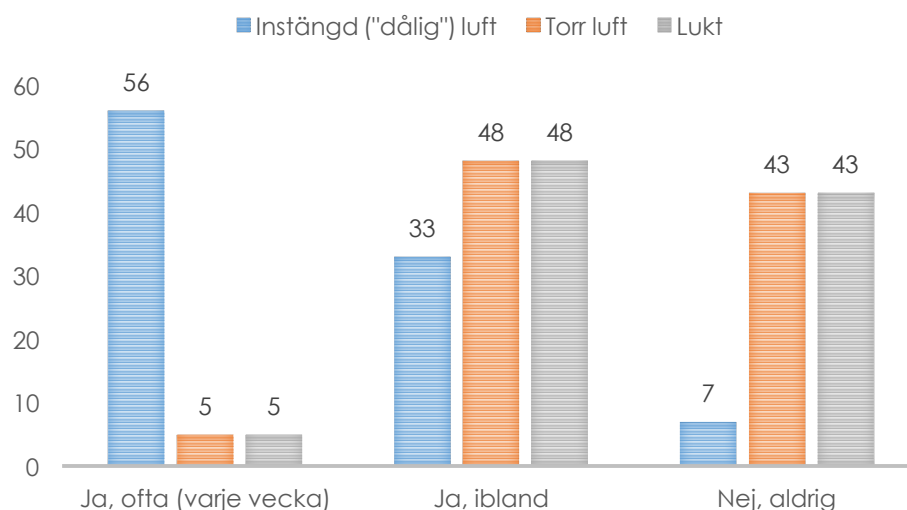
Figur 22 baseras på svarsdata från Bilaga I - enkätundersökning, frågan har rubriken ”Om problem med temperaturen, när? (Ett eller flera alternativ)”. Majoriteten upplever problem med temperaturen när datorsalen är fullsatt. Svaren tolkas som att de studenter som upplever problem med temperaturen på eftermiddagar eller vid fullsatt datorsal upplever det som för varmt, medan de studenter som upplever problem på morgonen eller vid tom datorsal upplever det som för kallt.



Figur 22. Enkätsvar på frågan ”Om problem med temperaturen, när?”

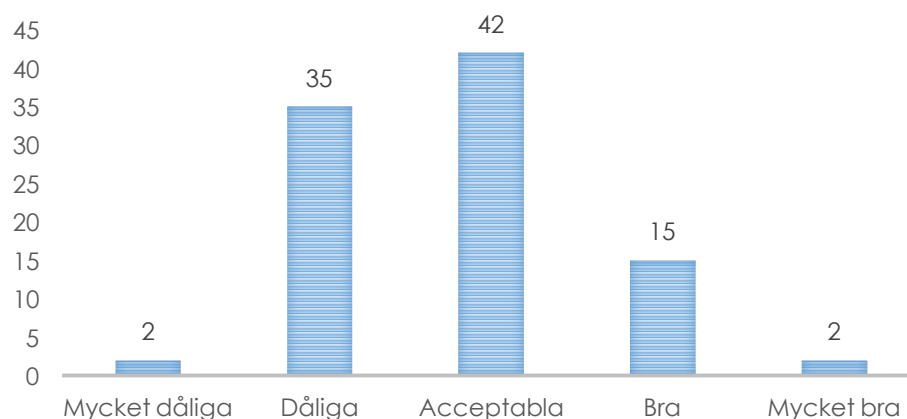
4.3.2 Enkät svar på luftkvalitet

Figur 23 baseras på svarsdata från Bilaga I - enkätundersökning angående hur luftkvaliteten upplevs i datorsalar i V-huset. Många upplever problem ofta eller ibland med instängd ("dålig") luft. Lukt och torr luft upplevs mestadels ibland eller aldrig som ett problem.



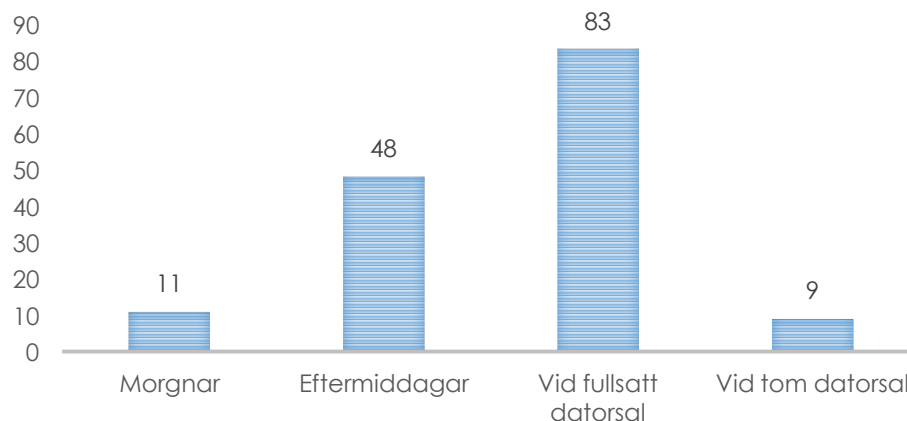
Figur 23. Upplevd luftkvalitet i datorsal.

Figur 24 baseras på svarsdata från Bilaga I - enkätundersökning, frågan har rubriken "Vad anser du generellt om luftkvaliteten i V-husets datorsalar?". 42 av 96 studenter anser att luftkvaliteten är acceptabel och utgör en majoritet. Det är däremot mer än dubbelt så många, 35 mot 15, som upplever luftkvaliteten som dålig snarare än bra.



Figur 24. Enkät svar på frågan "Vad anser du generellt om luftkvaliteten i V-husets datorsalar?"

Figur 25 baseras på svarsdata från Bilaga I - enkätundersökning, frågan har rubriken "Om problem med luftkvaliteten, när?". De flesta studenterna upplever problem med luftkvaliteten vid fullsatt datorsal eller på eftermiddagar.



Figur 25. Enkät svar på frågan "Om problem med luftkvaliteten, när?"

4.4 Diskussion om inneklimat

Det framgår tydligt ur enkätundersökningarna att ett sunt inneklimat i datorsalar är väsentligt för att utföra ett bra arbete (Figur 19). 78 % svarar ja på frågan om inneklimatet i datorsalarna påverkar deras studieförmåga. Med detta i åtanke och att 56 av 96 personer upplever instängd ("dålig") luft varje vecka finns anledning att ifrågasätta inneklimatet i datorsalarna (Figur 23).

Resultatet av enkätundersökning tyder på att de nyrenoverade datorsalarna inte upplevs som felfria och uppfyller därmed inte studenternas preferenser. Däremot visar majoriteten av mätningarna att inneklimatet håller sig inom de kriterier som Socialstyrelsen och Boverket belyser, det vill säga en temperatur mellan 20–24°C, läs mer om detta i Inneklimat. Även luftfuktighet håller sig för det mesta inom de komfortabla zonerna, Figur 8 i Luftfuktighet, och en koldioxidhalt under 1000 ppm. Dessa värden kommer användas som referenser i resterande diskussion.

De värden som uppmäts i M-huset diskuteras inte i samma utsträckning som värdena i V-huset då det primära syftet med rapporten är att analysera V-husets datorsalar.

4.4.1 Termiskt klimat i datorsalar

Den 21 februari skiljer sig temperaturen som mest 3,1°C (Figur 11a) i SB-D209. Denna differens skiljer sig dock väsentligt från andra dagar i datorsalarna. Den dag som skiljer sig näst mest, den 2 mars, uppgår till en differens på 2,4°C (Figur 12a) medan de övriga dagarna uppgår till 1–2°C skillnad under dagen.

Att den 21 februari har en så relativt stor differens förklaras sannolikt av att någonting händer med ventilationen klockan 16:00 den dagen (Figur 11a). Detta antagande baseras på att koldioxidhalten, temperaturen och den relativa fuktigheten ökar drastiskt efter klockan 16:00 under den dagen i SB-D-209 vilket också bekräftades av Östlund.

Dessa temperaturer och temperaturvariationer kan jämföras med mätningarna i M-huset där det skilde sig 3,7 °C (Bilaga IV - mätningar utförda den 30 mars i M-huset) under första mätningen och 3,2°C (Figur 17a) och under andra mätningen. Trots färre studenter har M-husets datorsalar en generellt högre temperaturvariation än samtliga datorsalar i V-huset.

Andra anledningar till att temperaturen kan kännas varierande är studentens klädval, lufthastigheten, luftfuktigheten i rummet samt arbetsintensiteten.

4.4.2 Luftkvalitet i datorsalar

Luftkvaliteten i datorsalarna upplevs generellt som acceptabel enligt enkätsvar som redovisas i Figur 24, där 42 av 96 studenter anser att luftkvaliteten är acceptabel. Det är däremot mer än dubbelt så många, 35 mot 15, som upplever luftkvaliteten som dålig snarare än bra.

Enligt mätdata från samtliga mättillfällen i V-huset, med endast ett fåtal undantag, är koldioxidhalten och den relativa fuktigheten på en godtagbar nivå. Därmed stämmer mätresultaten huvudsakligen överens med resultatet från enkätundersökningen.

Att vissa uppfattar luftkvaliteten som dåligt kan förklaras med att det finns andra faktorer än den faktiska luftkvaliteten som påverkar hur luftkvaliteten uppfattas. Att en student till exempel känner sig trött behöver inte bero på att luftkvaliteten är dålig, utan kan bero på att studenten har sovit dåligt eller inte ätit på länge. Sådana faktorer kan påverka hur studenten väljer att svara på enkäten.

De tillfällen som luftkvaliteten i datorsalarna upplevs som dålig är vid fullsatt datorsal. 83 av 96 studenter upplever luftkvaliteten som ett problem då datorsalen är fullsatt (Figur 25). Detta bekräftas tydligt i Figur 13, Figur 14 och Figur 15, där koldioxidhalten ökar i takt med att antalet studenter.

53 studenter anser även att luftkvaliteten på eftermiddagen är ett problem. Här finns däremot inget tydligt samband, mätningarna visar inte några särskilda förändringar på eftermiddagarna. En förklaring kan vara att de lektioner med mycket studenter ligger, enligt studiens mätningar, på eftermiddagarna vilket gör att enkätsvaren för fullsatt datorsal blir samma som för eftermiddagar. En annan förklaring kan vara att trötthet under eftermiddagarna kan, för studenterna, tolkas som dålig luftkvalitet.

Koldioxidhalten går upp till värden över 1000 ppm vid vissa tillfällen (till exempel klockan 15:10 Figur 14), men inte alls i samma utsträckning som i M-husets datorsal M-9 där koldioxidhalten sällan låg under 3000 ppm. Detta visar på följderna av ett väl utformat, respektive sämre utformat ventilationssystem.

43 studenter upplever att det förekommer torr luft ibland, medan en majoritet på 48 studenter inte känner av detta problemet i datorsalarna (Figur 23). Mätningarna visar att den relativa fuktigheten befinner sig inom acceptansnivå, över 20 % (Figur 8), under alla mätningar i V-huset

Detta med undantag för den 7 mars där den relativa fuktigheten befinner sig mellan 12,8–20,9 %. Studenter som svarade på enkäten under denna dag kan därmed ha haft anledning att känna av den torra luften, vilket kan ha medfört att en så stor del upplevde lukt och torr luft ibland.

Som nämnt i Torr luft beror luftens relativa fuktighet till störst del av temperaturen. Detta kan också vara en förklaring till varför mätningen den 7 mars upplevdes som torr, då det var den dagen med kallast utetemperatur, precis över 0°C (Tabell 4). Vidare kan detta vara en förklaring på varför vissa studenter upplever torr luft när inte mätningarna visar det. Eftersom de flesta av våra mätningar har gjorts under relativt varma utetemperaturer.

Partikelhalten kan varken kopplas till antalet studenter som vistas i datorsalen eller enkätundersökningens resultat. Det syns heller inte något samband mellan partikelhalt och koldioxidhalt, temperatur eller relativ fuktighet. Däremot finns det troligtvis ett samband mellan partikelhalt och ventilation enligt Resultat av partikelmätningar.

4.4.3 Felkällor

Mätresultat av koldioxid, relativ fuktighet och temperatur i salarna påverkas av hur studenter i salen rör sig och vart de befinner sig i förhållande till mätaren. Vid flertalet tillfällen har personer gått fram och andats på mätaren vilket syns tydligt på mätresultatet från mätaren som är placerad mitt i rummet jämfört med mätresultatet från mätaren vid frånluften. Ett exempel på detta syns tydligt i Figur 15a i resultatkapitlet jämfört med Figur 31 i Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning mellan klockan 12:00-15:00.

Mätningar angående hur många studenter som vistas i salen kan ge felaktigt utfall då det kan ske förändringar mellan de tio minuter varje räkning görs. Räkningen kan även bli fel då det kan vara svårt att räkna när det är många studenter i salen. Vid högt antal studenter i salen kan antalet skilja med en till tre studenter mot det redovisade resultatet.

Mätningarna har till största del utförts under perioden februari till april, vilket innebär att mätningarna inte speglar hela året.

4.4.4 Enkätsvarens trovärdighet

Enkätundersökningen är en del i en strategi och den kan inte ensam besvara alla frågor. För att inte påverka utfallet är det viktigt att noggrant informera om syftet med enkäterna.

Vid enkätundersökningar är det viktigt att nå den målgrupp som definierats. Denna enkätundersökning riktade sig till användare av datorsalar i V-huset och delades ut under mätningarna vilket gav en 100 % träffsäkerhet vad gäller målgrupp.

Antalet besvarade enkäter per tillfälle skiljer sig mycket från dag till dag, något som är viktigt att ta hänsyn till vid analys. Enkäten är dessutom inte uppdelad i tillfällen vilket utesluter chanserna att se trender baserat på hur kallt det var utomhus eller hur många användare som fanns i salen vid svarstillfället till exempel.

Slutligen har enkäten besvarats av 96 studenter, vilket gör att varje svar påverkar svarsresultatet med över 1 %. Enkäten har dessutom enbart nått ut till de som använt sig av en datorsal under denna specifika tidsperiod.

5 ELENERGIANVÄNDNING

I detta avsnitt redovisas uträkningsmetoder och resultat angående elenergianvändning av datorer, ventilation och belysning. Vidare utförs en diskussion om elenergianvändningen i datorsalarna i V-huset.

5.1 Datorer och datorskärmar

Den uppmätta effekten per dator och datorskärm, det vill säga per datorenhet, har multiplicerats med faktorn 32, vilket är antalet enheter i en datorsal i V-huset. Resultatet redovisas i Tabell 9.

Tabell 9. Redovisning av effekten för dator, datorskärm samt den sammanlagda effekten med avseende på alla datorer och datorskärmar i salen.

Typ av belastning	Effekt [W]	Effekt [W] hela salen
Viloläge (dator)	33	1056
Normal (dator)	50	1600
Hög (dator)	75	2400
Viloläge (skärm)	0	0
Normal (skärm)	18	576

För att beräkna datorenheternas elenergianvändning för en datorsal under ett dygn har följande antaganden gjorts för ett normalt arbetsdygn. 16 av salens 32 datorenheter används under arbetsdagens 8 timmar, resterande 16 står i viloläge under samma tid. Av dessa 16 datorer används 8 med normal belastning och 8 med högbelastning. Under dygnets resterande 16 timmar står samtliga 32 datorenheter i viloläge. Resultatet redovisas i Tabell 10.

Tabell 10. Redovisning av elenergianvändningen för salens alla datorenheter under ett normalt arbetsdygn.

Tid på dygnet	Antal timmar	Antal datorenheter	Belastning	Effekt [W] per datorenhet	Elenergianvändning [kWh]
08:00-16:00	8	8	Normal	68	4,4
08:00-16:00	8	8	Hög	93	6,0
08:00-16:00	8	16	Viloläge	33	4,2
16:00-08:00	16	32	Viloläge	33	16,9
				Total elenergianvändning för en sal under ett dygn	31,4

Vidare redovisas det fall då inga studenter brukar en datorsal under ett dygn i Tabell 11. Då står samtliga 32 datorenheter i viloläge under 24 timmar. Således har det totala antalet datorenheter multiplicerats med effekten för en datorenhet i viloläge för att få fram datorsalens totala effekt. Sedan har denna effekt multiplicerats med 24 timmar för att få dygnets totala elenergianvändning.

Tabell 11. Redovisning av elenergianvändningen för salens alla datorenheter under ett dygn då ingen student eller lärare besöker lokalen, det vill säga datorenheterna står i viloläge hela dygnet.

Tid på dygnet	Antal timmar	Antal datorenheter	Belastning	Effekt [W] per datorenhet	Elenergianvändning [kWh]
00:00-24:00	24	32	Viloläge	33	25,3
				Total elenergianvändning för en sal under ett dygn	25,3

5.2 Ventilation

Figur 26 redovisar centralfläktens erfordrade effekt för att tillgodose en datorsal ventilation under en normal arbetsdag, 08:00-17:00. Först räknas ventilationsflödet ut var tionde minut av en hel arbetsdag. Detta görs med ekvation (6-1) som tar hänsyn till koldioxidhalten i salen och utomhus, antal människor i salen och med ett ungefärligt värde på hur mycket koldioxid en människa alstrar, 18 l/h. Uträkningarna är utförda på mätresultat från den 27 mars (Tabell 5), (Figur 11), (Figur 14). Sedan fås centralfläktens erfordrade effekt med ekvation (6-2) som tar hänsyn till fläktens verkningsgrad, tryckfallet i ventilationskanalerna och ventilationsflödet vid aktuell tidpunkt. Fläktens verkningsgrad antas vara 0,7 och tryckfallet antas vara 800 Pa.

$$\dot{V} = \dot{V}_{int} / (C^* - C_T) \quad (6-1)$$

\dot{V} = ventilationsflöde [m^3/s]

\dot{V}_{int} = alstrad koldioxid per person [l/h]

C_T = koldioxidhalt utomhus [ppm]

C^* = koldioxidhalt i datorsalen [ppm]

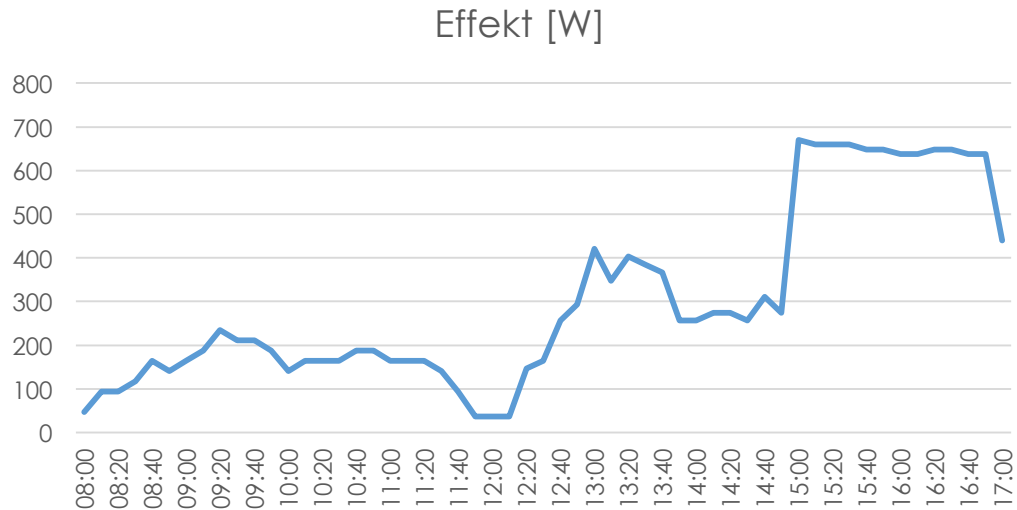
$$\dot{w}_t = \frac{1}{\eta} \Delta P \dot{V} \quad (6-2)$$

\dot{w}_t = centralfläktens effekt [W]

η = centralfläktens verkningsgrad [-]

ΔP = tryckfallet i ventilationskanalerna [Pa]

\dot{V} = ventilationsflöde [m^3/s]



Figur 26. Diagram över centralfläktens erforderade effekt för att förse datorsal SB-D409 med ventilation under en arbetsdag 08:00-17:00. Diagrammet är hämtat ur beräkningarna från bilaga V.

Enligt drifttekniker Karlsson (2017) är all ventilation avstängd mellan 20:00-07:00 samt mellan 20:00 på fredag till 07:00 på måndag. Alltså har timmarna i tidsintervallen 07:00-08:00 och 17:00-20:00 inte tagits hänsyn till. Detta görs genom att grundflödet multipliceras med salens area och sedan fås effekten på samma sätt som ovan under de resterande 4 timmarna.

Med ovan som underlag beräknas elenergianvändningen genom att effekten för ett visst tiominutersintervall multipliceras med 10 minuter. Resultatet blev att centralfläkten använder 3,04 kWh för att tillföra en datorsal ventilation under ett normalt arbetsdygn.

Den tillförda luften ska även lämna V-huset, vilket också kräver elenergi. För att ta hänsyn till detta multipliceras elenergianvändningen i stycket ovan med faktorn två. Den totala elenergianvändningen för att ventilera en datorsal blir då ungefär 6,1 kWh. Beräkningarna av elenergianvändningen för centralfläkten utförs i Excel och finnes bifogade i bilagor.

5.3 Belysning

Datorsalens lampor antas vara igång 08:00-17:00 under ett normalt arbetsdygn, det vill säga 9 timmar. En lampa antas ha en effekt på 30 W och antalet lampor räknas till 24 stycken. Följaktligen blir elenergianvändningen för lamporna under ett normalt dygn $0,03 * 24 * 9 \approx 6,5 \text{ kWh}$.

5.4 Diskussion om elenergianvändning

Den sammanlagda elenergianvändningen för en datorsal i V-huset under ett normalt arbetsdygn är $31,4 + 6,1 + 6,5 = 44,0 \text{ kWh}$. Då är elenergianvändningen för datorenheter, ventilationen och belysning medräknad.

Att datorenheterna står i viloläge under kvällen och natten bidrar mer till dygnets totala elenergianvändning än vad datorenheterna bidrar med under hela arbetsdagen. Detta förklaras

framförallt med att datorsalen används i åtta timmar och inte används i 16 timmar, men tyder även på att datorenheterna använder mycket elenergi även i viloläge.

Under helgen antas belysning och ventilation vara avstängd dygnet runt. Då beror den sammanlagda elenergianvändningen endast av att datorenheterna står i viloläge och den beräknas till 25,3 kWh, enligt Tabell 11.

5.4.1 Datorenheter

Datorerna har överlag en låg elenergianvändning. Under hög belastning är effekten 75 W, vilket kan jämföras med effekten 117 W som enligt Internvärme är normal effekt. Även skärmarna har en betydligt lägre effekt än väntat, 18 W mot 39 W.

I V-huset finns fyra likadana datorsalar av typen som är beskriven i avsnitt Beskrivning av datorsalar i V-huset. Tillsammans använder de 176 kWh under ett normalt arbetsdygn, med tidigare beräkningar och antagandet om att datorsalarna är helt identiska. Nämnvärt är att elenergianvändningen under helgen, då få studenter använder datorsalen, är 101,2 kWh per dygn.

För att få en uppfattning av elenergianvändningens storlek går datorsalens elenergianvändning att jämföra med en vanlig svensk lägenhet som nämns i Elenergianvändning. En lägenhet av storleken 85 m² har en årlig elenergianvändning på 4070 kWh vilket motsvarar 11,15 kWh per dygn.

Jämförelsevis använder alltså datorsalarna under veckodagarna i V-huset över 16 gånger så mycket elenergi som en vanlig lägenhet. Motsvarande siffra under helgen, då salarna knappt används, blir nästan nio gånger mer elenergi per dygn.

Antag att alla datorenheter stängs av helt under samma timmar som ventilationen är avstängd, 20:00-07:00. Det skulle innebära att 46,4 kWh sparas för hela V-huset under ett normalt arbetsdygn, vilket motsvarar 26,4 % av den totala elenergianvändningen. Om datorenheterna även skulle stängas av under helgen skulle datorsalarna inte använda någon elenergi alls, vilket innebär att 101,2 kWh sparas dagligen under helgen.

5.4.2 Ventilation och belysning

Centralfläkten använder lite elenergi i datorsalarna jämfört med datorerna. När det är som mest studenter i salen har centralfläkten en effekt på knappt 1400 W, vilket är i samma storleksordning som ungefär 19 datorenheter vid normal belastning.

Ventilationen stängs av under nätterna och helgerna. Centralfläkten förser förvisso hela byggnaden med ventilation och det är svårt att dra en slutsats över hur mycket elenergi som sparas med detta. Efter vår analys är det svårt att få en uppfattning om hur mycket elenergi som går åt till att ventilera hela V-huset eftersom endast datorsalarna har undersökts.

Att låta centralfläkten vara igång 20:00-07:00 hade kostat totalt 2,2 kWh för samtliga fyra datorsalar under ett dygn. Denna siffra är liten jämfört med 46,4 kWh, som hade sparats om datorenheterna stängdes av. Värt att nämna är att centralfläktens totala elenergianvändning är större än beräknat. Centralfläkten tillhör ett system som förser hela V-huset med ventilation, medan rapportens beräkningar endast avser de fyra datorsalarna.

För beräkningarna antas centralfläktens verkningsgrad vara 0,7. Detta är en verkningsgrad som är svår att uppnå. Skulle centralfläktens verkningsgrad istället antas vara 0,5 skulle den

totala elenergianvändningen vara 8,5 kWh, istället för 6,1 kWh. Detta tyder på att centralfläktens verkningsgrad har en relativt stor betydelse för ventilationens elenergianvändning.

5.4.3 Felkällor

Eftersom att centralfläktens verkningsgrad antas vara 0,7 kan beräkningarna för centralfläktens elenergianvändning vara felaktiga. Den faktiska elenergianvändningen kan både vara lägre eller högre.

Hänsyn har heller inte tagits till att värmeväxlaren använder elenergi. Detta är något som ökar ventilationens elenergianvändning ytterligare. Men på grund av otillräckligt underlag var beräkningar för värmeväxlaren svåra att genomföra.

Enligt mätningarna var elenergianvändningen noll för datorskärmar i viloläge. Den är förmodligen högre än så, men då den kommer att ha så liten påverkan på det totala resultat kan den antas vara noll.

6 SLUTSATS

Inneklimatet i V-husets datorsalar upplevs generellt sett som bra. Vissa studenter är missnöjda och anser att det är för varmt, för kallt eller att luften känns instängd. Men att utforma en datorsal som är anpassad efter alla studenters olika preferenser är svårt, eftersom att människor har olika uppfattning om vad som är ett bra inneklimat.

Framförallt när det kommer till temperatur som enligt mätningarna håller en jämn nivå, men trots detta uppfattas som antingen för varm eller för kall. Detta kan bero på att de som känner att salen är för varm eventuellt rör sig mer, bär kläder som håller värmen bättre eller har annorlunda blodcirkulation jämfört med studenter som känner av kyla i datorsalarna.

Att luftkvaliteten till viss del uppfattas som instängd eller torr stämmer till viss del eftersom att koldioxiden vid vissa tidpunkter är för hög eller luftfuktigheten ibland är för låg. Däremot kan studentens fysiska tillstånd på grund av sjukdom eller andra anledningar variera och klimatet kan då upplevas som dåligt, även om värdena är inom accepterade nivåer.

Att elenergianvändningen i datorsalarna är relativt hög är inte helt oväntat. Men hur stor andel av elenergin som används när salen inte brukas under nätter eller helger är förvånande. Att datorerna står i viloläge på grund av eventuella uppdateringar är kostsamt i använda kWh som i slutändan kan ses som ohållbart ur miljö- och kostnadsperspektiv.

Förmodligen skulle inte partikelhalten vara så hög tidigt på morgonen om datorerna stod avstängda nattetid.

Ingen data angående hur ofta uppdateringar görs har tagits fram i denna studie. Det är därmed svårt att dra någon slutsats om ifall det är möjligt att hålla datorerna avstängda på nätterna eller inte. Ett förslag är att kartlägga när uppdateringar utförs och sedan undersöka om datorerna kan programmeras till att vara avstängda när uppdateringar inte är schemalagda.

Att öka ventilationsnivån kommer förmodligen att sänka koldioxidhalten ytterligare under dagen så att värden över 1000 ppm kan undvikas. De besparingar som görs om datorerna får hållas avstängda under natten kan täcka upp för elenergianvändningen för det ökade ventilationsflödet.

Fläktluftskylaren har aldrig varit igång under mätningarna och Lindinvent-systemet har lyckats hålla temperaturen runt 23°C. Det är snarare koldioxiden som är ett problem när det är många studenter i salen, och det kan inte fläktluftskylaren påverka.

Sammanfattningsvis rekommenderas följande åtgärder:

- kartlägga när uppdateringar av datorer utförs och sedan undersöka om datorerna kan programmeras till att vara avstängda när uppdateringar inte är schemalagda
- undersöka om koldioxidhalten sjunker ifall ventilationsnivån ökas så att värdena aldrig överstiger 1000 ppm trots fullsatt datorsal. Samtidigt rekommenderas en utvärdering angående i vilken utsträckning elenergianvändningen ökar med ett ökat ventilationsflöde
- vidare undersökning bör göras angående om luftfläktkylaren fyller någon funktion eller inte. Detta grundas i att mätningarna indikerar på att det snarare är koldioxidhalten som är ett problem och inte temperaturen. Men denna eventuella

undersökning bör göras under varmare tidsperioder och när datorsalarna är fullsatta under en hel arbetsdag

- göra vidare undersökningar i M-husets datorsal MT-9, då koldioxidvärdena i denna datorsal var oroväckande höga.

7 LITTERATURFÖRTECKNING

- Abel, E., & Elmroth, A. (2012). *Byggnaden som system*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Appel, M. (2007). Stäng av IT-prylarna - så mycket sparar du. *PC för alla*.
- Arbetsmiljöverket. (den 1 September 2015). *Temperatur och klimat*. Hämtat från Arbetsmiljöverket: <https://www.av.se/inomhusmiljo/temperatur-och-klimat/>
- Avdelningen för Installationsteknik. (den 2 maj 2017). Utbildningsmaterial. Göteborg, Västra Götelandsregionen, Sverige.
- Bengtsson, J. (den 30 mars 2017). Datorer på Chalmers Tekniska Högskola. (P. Persson, Intervjuare)
- Boverket. (1998). *Kriterier för sunda byggnade och material*. Boverket, Byggavdelningen. Karlskrona: Boverket, Byggavdelningen.
- Boverket. (2007). *Indata för energiberäkningar i kontor och småhus*. Karlskrona: Boverket.
- Calectro AB. (2012). *Handbok för CO2 detektering*. Göteborg: Calectro AB.
- Chalmers. (den 27 03 2017). *Chalmers maps*. Hämtat från <http://maps.chalmers.se/#e1633b1c-d885-4c7f-aa9e-2013d9a617c5>
- Eberson, L. (den 28 Mars 2017). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från Bensen: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bensen>
- Eckert, E. M. (den 9 september 2015). *New Research Confirms How to Take Better Workday Breaks*. Hämtat från Baylor: <https://www.baylor.edu/mediacommunications/news.php?action=story&story=159785>
- Energimyndigheten. (den 25 oktober 2016). *Smarta LED-lampor*. Hämtat från Energimyndigheten: <http://www.energimyndigheten.se/tester/tester-a-o/smarta-led-lampor/>
- European Commission. (den 22 september 2003). *European Commission*. Hämtat från Indoor Air Pollution: new EU research reveals higher risks than previously thought: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-03-1278_en.htm
- Folkhälsomyndigheten. (den 31 Maj 2016). *Folkhälsomyndigheten*. Hämtat från Luftkvalitet: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/inomhusmiljo-allmanna-lokaler-och-platser/luftkvalitet/>
- Gustén, J. (den 22 03 2017). Internvärme. (S. Nilsson, V. Skoglund, & P. Persson, Intervjuare)
- Hagentoft, C.-E. (2001). *Introduction to Building Physics*. Studentlitteratur AB.
- Hillert, L., Matura, M., Emenius, G., Lundin, A., & Mattias, S. (2015). Hälsobesvär av inomhusmiljön. *Faktablad*. Stockholm, Stockholms län, Sverige: Centrum för arbets- och miljömedicin.
- Karlsson, J. G. (den 20 03 2017). Drifttekniker vid Akademiska hus. (P. Persson, & N. Simon, Intervjuare)
- Lindinvent. (den 27 03 2017). *www.lindinvent.se*. Hämtat från Lindinvent: <https://www.lindinvent.se/produkter/tilluftsdon/ttc/>
- Nationalencyklopedin. (den 12 maj 2017). *Nationalecyklopedin*. Hämtat från Leukemi: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/leukemi>

- Nationalencyklopedin. (den 28 Mars 2017). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från Flyktiga organiska ämnen: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/flyktiga-organiska-%C3%A4mnen>
- Nationalencyklopedin. (den 12 maj 2017). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från Reumatism: <http://www.ne.se/uppslagsverk/ordbok/svensk/reumatism>
- Nationalencyklopedin. (den 12 maj 2017). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från Dermatit: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/dermatit>
- Norman, K. (den 24 januari 2017). *Region Örebro län*. Hämtat från Enkäter inneklimat: <https://www.regionorebrolan.se/PageFiles/6490/MM040NA%20Kontor.pdf>
- Persson, A. (2002). *Energianvändning i bebyggelsen*. Eskilstuna: Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien.
- Petersson, J. (den 4 April 2017). VVS-ingenjör på Bengt Dahlgren. (S. Nilsson, Intervjuare) Rotronic. (u.d.). *CP11 - Handheld instrument for CO2, humidity and temperature*. Hämtat från www.rotronic.com: <https://www.rotronic.com/en-us/cp11.html> den 10 5 17
- SGBC. (den 12 maj 2017). *Sweden Green Building Council*. Hämtat från Miljöbyggnad: <https://www.sgbc.se/>
- SMHI. (den 20 03 2017). <http://www.smhi.se/>. Hämtat från SMHI: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet-1.3910>
- Socialstyrelsen. (2005). *Temperatur inomhus*. Socialstyrelsen.
- Sweden Green Building Council. (den 18 april 2017). *Sammanfattning av betygskriterier för befintliga byggnader*. Hämtat från Sweden Green Building Council: <https://www.sgbc.se/docman/miljobyggnad-2014/445-sammanfattning-betygskriterier-mb-bef-2-2-141104/file>
- Svensk Energi. (2010). *Den svenska elens miljöpåverkan*. Stockholm: Svensk Energi - Swedenergy - AB.
- TSI Incorporated. (2012). *8525 P-trak Ultrafine Particle Counter*. Hämtat från www.tsi.com: http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Spec_Sheets/PTrak_Spec2980197.pdf den 10 05 2017
- World Health Organization. (den 28 Mars 2017). *Environment and health*. Hämtat från Air quality: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/air-quality>
- World Meteorological Organization. (2016). *WMO GREENHOUSE GAS BULLETIN*. Geneva: World Meteorological Organization.
- Östlund, Å. (den 4 april 2017). Intervju om renoveringen av SB-huset. (S. Nilsson, & V. Skoglund, Intervjuare)

8 BILAGOR

8.1 Bilaga I - enkätundersökning

Datorsalars inneklimat i SB-huset

En enkätundersökning till grund för kandidatarbete

*Obligatorisk

1. Dagens datum *

Exempel: den 15 december 2012

2. Inneklimat i datorsal *

Markera endast en oval per rad.

	Ja, ofta (varje vecka)	Ja, ibland	Nej, aldrig
För hög rumstemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Varierande rumstemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
För låg rumstemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instängd ("dålig") luft	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Torr luft	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lukt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. *

Markera endast en oval per rad.

	Mycket bra	Bra	Acceptabla	Dåliga	Mycket dåliga
Vad anser du generellt om temperaturförhållandena i SB-husets datorsalar?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Om problem med temperaturen, när? (Ett eller flera alternativ)

Markera alla som gäller.

- Morgnarna
- Eftermiddagarna
- Vid fullsatt datorsal
- Vid tom till halvtom datorsal

5. Vad anser du om luftkvaliteten i SB-husets datorsalar? *

Markera endast en oval.

- Mycket bra
- Bra
- Acceptabla
- Dåliga
- Mycket dåliga

6. Om problem med luftkvaliteten, när? (Ett eller flera alternativ)


Markera alla som gäller.

- Morgnarna
- Eftermiddagarna
- Vid fullsatt datorsal
- Vid tom till halvtom datorsal

7. Anser du att inneklimatet i datorsalen påverkar din studieförmåga? *

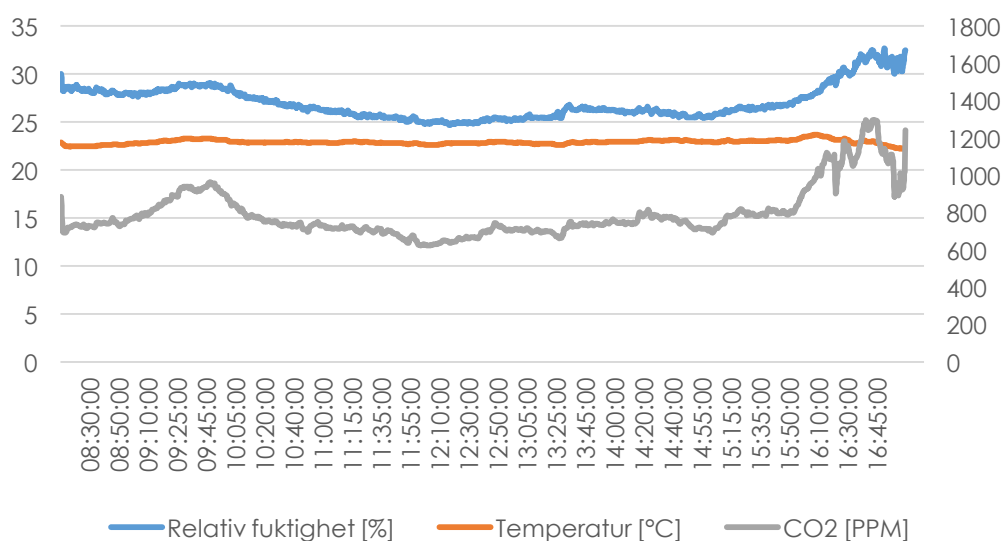
Markera endast en oval.

- Ja
- Nej

Tillhandahålls av
 Google Forms

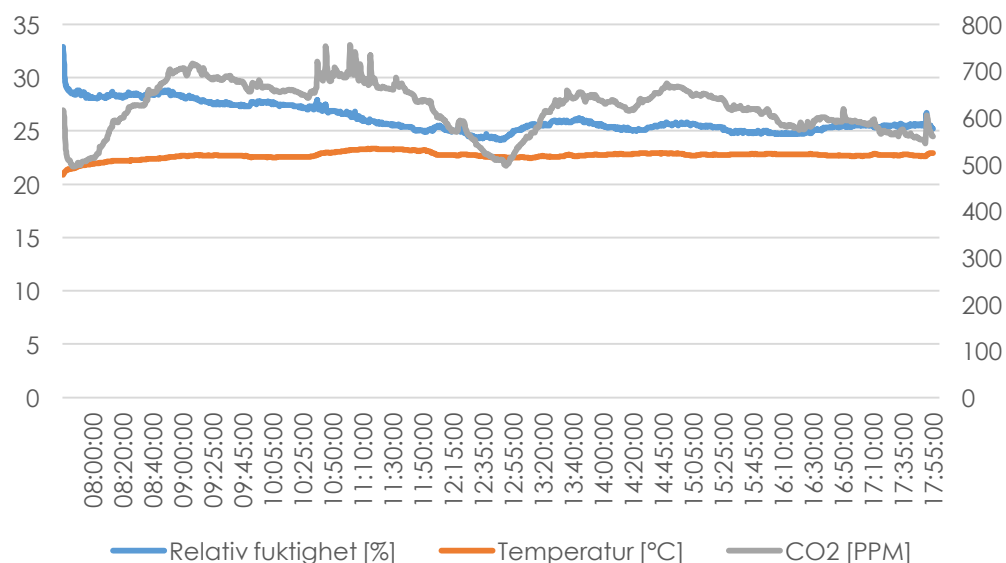
8.2 Bilaga II - koldioxidhalt-, relativ fuktighet och temperaturmätning

Figur 27 visar resultatet från *CP11* placerad vid frånluften i SB-D209 den 21 februari. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 1300 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 24,7% och uppgår som högst till 32,7 %. Temperaturen är som lägst 22,2°C och som högst 23,7°C. Även vid frånluften stiger koldioxidvärdet över 1000 ppm vilket indikerar att ventilationssystemet slutat verka.



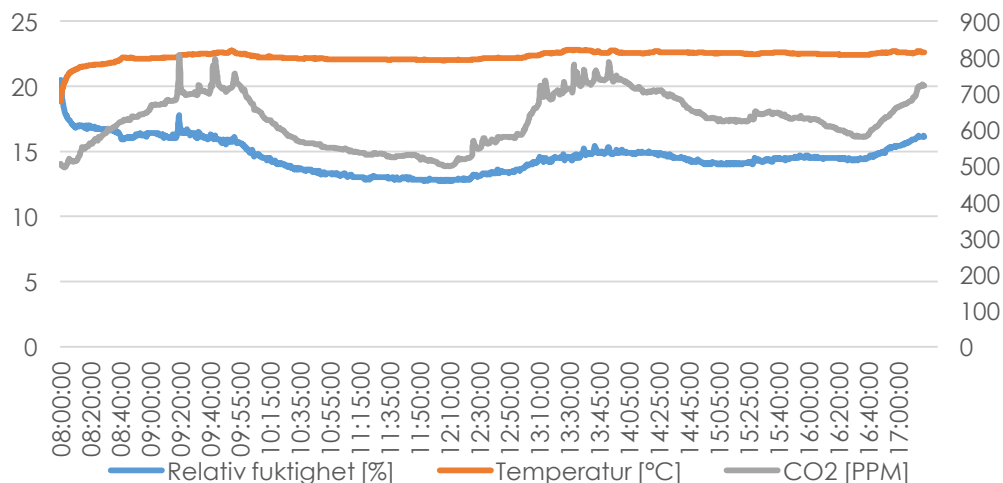
Figur 27. Mätresultat av RF, temperatur samt CO₂ vid frånluften den 21 februari.

Figur 28 visar resultatet från *CP11* placerad mitt i rummet i SB-D209 den 2 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 756 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 24,1 % och uppgår som högst till 32,9 %. Temperaturen är som lägst 20,9°C och som högst 23,3°C.



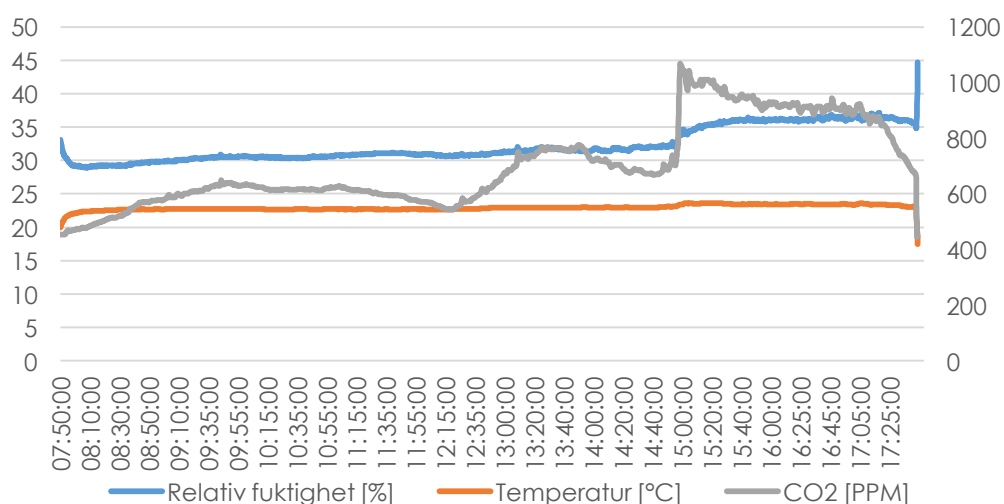
Figur 28. Mätresultat av RF, temperatur samt CO₂ mitt i rummet den 2 mars.

Figur 29 visar resultatet från CP11 placerad mitt i rummet i SB-D209 den 7 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 806 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 12,7 % och uppgår som högst till 17,8 %. Temperaturen är som lägst 21,4°C och som högst 22,8°C.



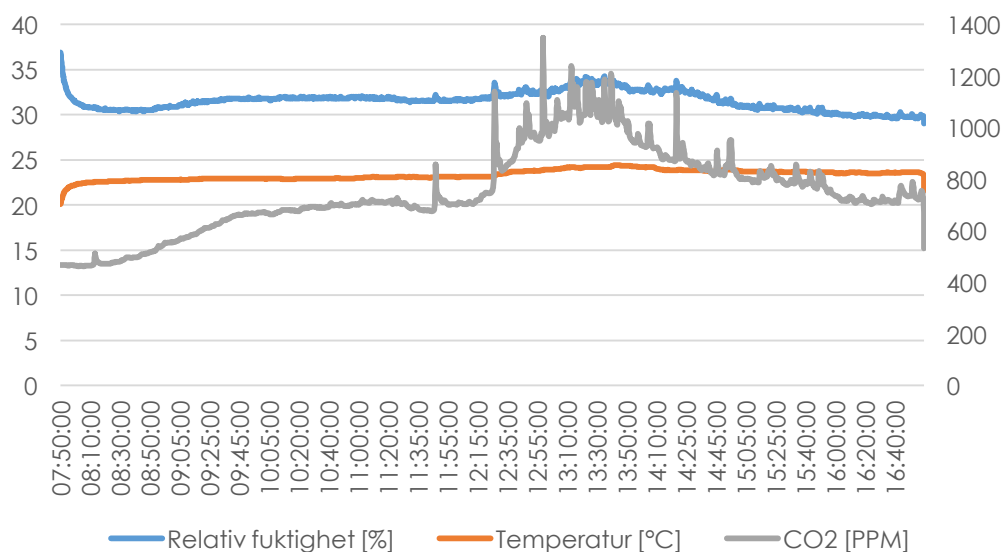
Figur 29. Mätresultat av RF, temperatur samt CO₂ mitt i rummet den 7 mars.

Figur 30 visar resultatet från CP11 placerad mitt i rummet i SB-409 den 27 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 1069 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 28,9 % och uppgår som högst till 36,8 %. Temperaturen är som lägst 22,3°C och som högst 23,6°C.



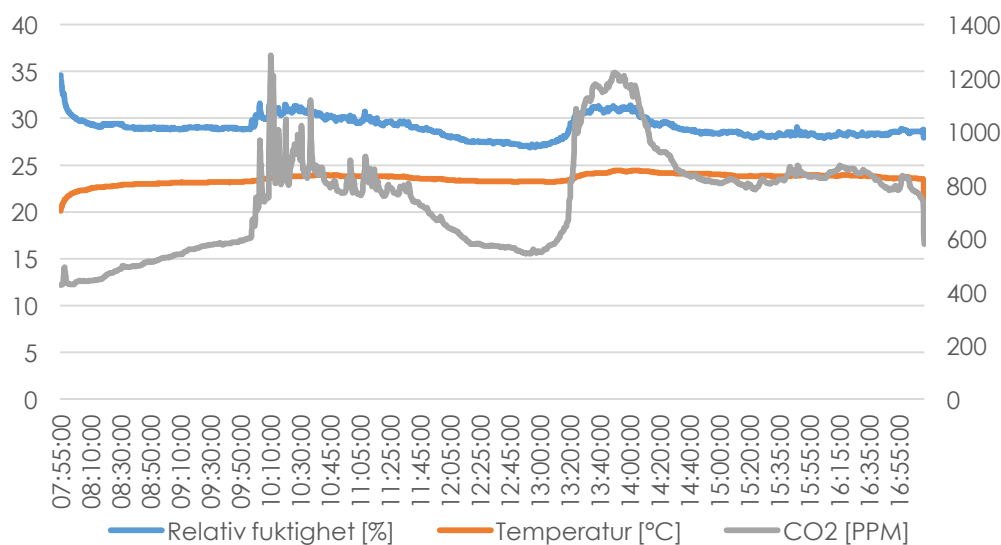
Figur 30. Mätresultat av RF, temperatur samt CO₂ mitt i rummet den 27 mars.

Figur 31 visar resultatet från CP11 placerad mitt i rummet i SB-509 den 28 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 1348 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 29,6 % och uppgår som högst till 34,3 %. Temperaturen är som lägst 22,4°C och som högst 24,4°C.



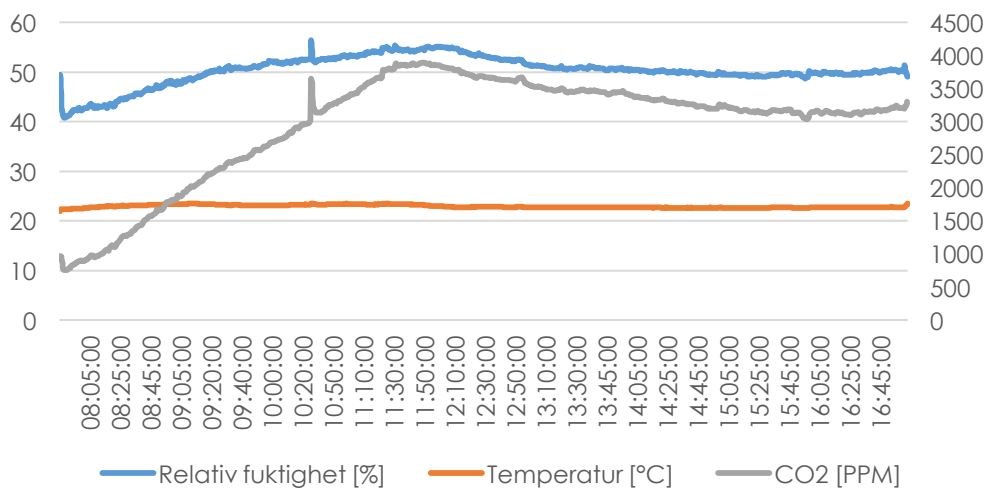
Figur 31. Mätresultat av RF, temperatur samt CO₂ mitt i rummet den 28 mars.

Figur 32 visar resultatet från CP11 placerad mitt i rummet i SB-509 den 29 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 1286 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 26,9 % och uppgår som högst till 32 %. Temperaturen är som lägst 22,2°C och som högst 24,4°C.



Figur 32. Mätresultat av RF, temperatur samt CO₂ mitt i rummet den 29 mars.

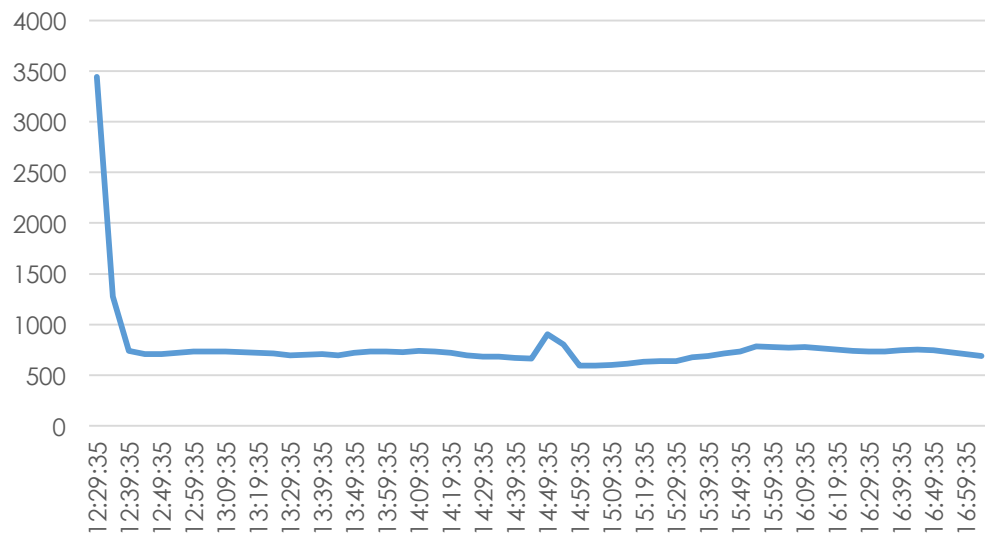
Figur 33 visar resultatet från CP11 placerad vid frånluften i MT-9 den 4 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 3897 ppm. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 39,6 % och uppgår som högst till 64,6 %. Temperaturen är som lägst 20,0°C och som högst 23,7°C.



Figur 33. Mätresultat av RF, temperatur samt CO₂ vid frånluften den 4 april.

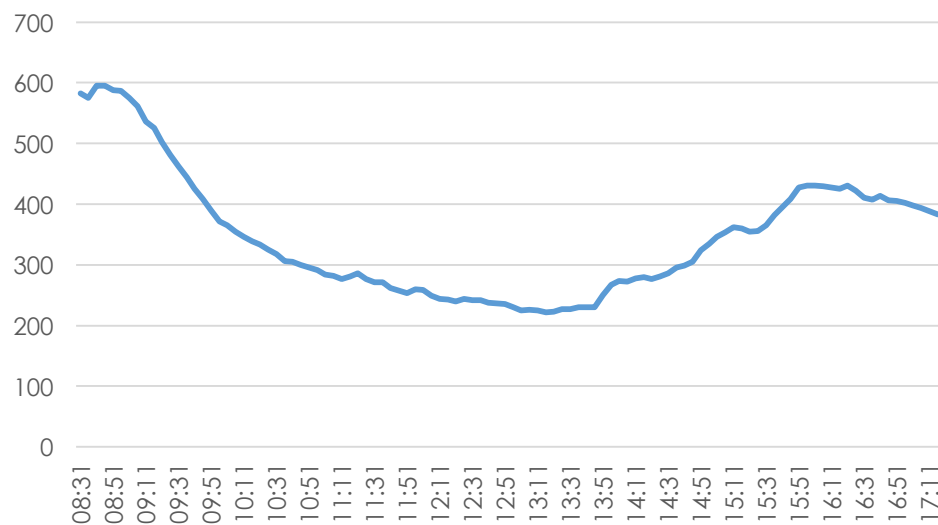
8.3 Bilaga III - partikeldata

Figur 34 visar resultatet från P-trak i SB-D209 den 2 mars. Maximalt är det 3443 pt/cc och i snitt 853 pt/cc. Notera att mätningen påbörjades klockan 12:29:35 på grund av tekniska problem.



Figur 34. Mätresultat över partiklar i rummet den 2 mars.

Figur 35 visar resultatet från P-trak i MT-9 den 4 april. Maximalt är det 595 pt/cc och i snitt 346 pt/cc.



Figur 35. Mätresultat över partiklar i rummet den 4 april.

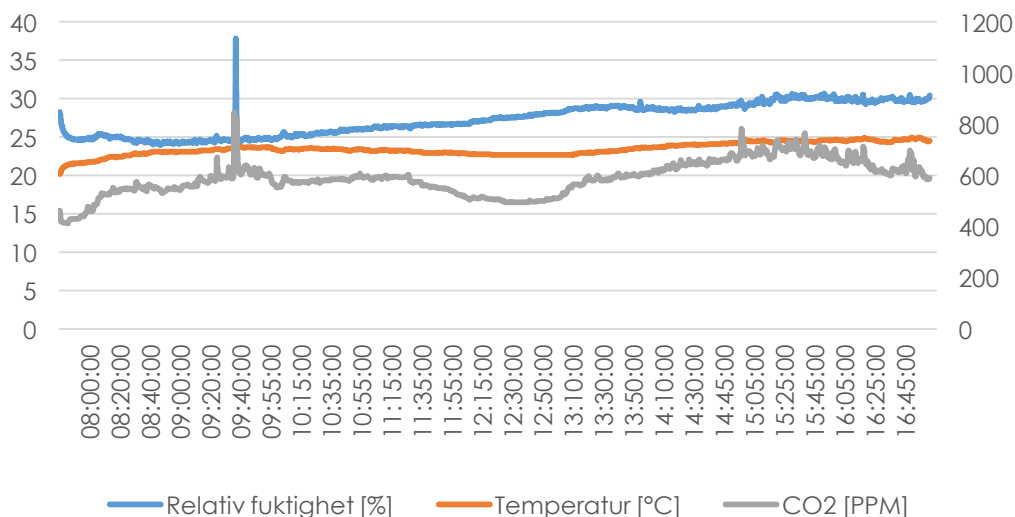
8.4 Bilaga IV - mätningar utförda den 30 mars i M-huset

Relativ fuktighet, temperatur och koldioxidhalt utomhus den 30 mars redovisas i Tabell 12. Referensmätningen görs på eftermiddagen efter mätningarna inne i salen påbörjas.

Tabell 12. Uppmätta referensvärden utomhus för den 30 mars.

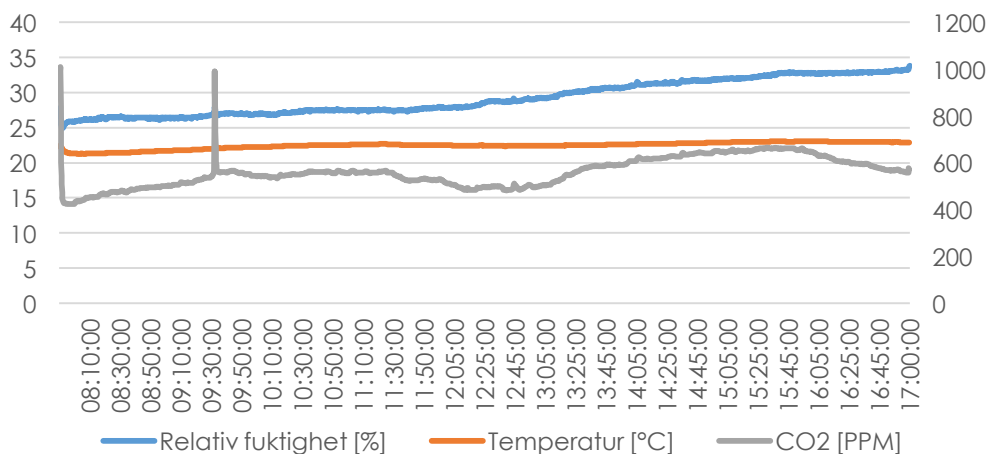
RF [%]	TEMPERATUR [°C]	KOLDIOXIDHALT [PPM]
65,2	11,83	422

Figur 36 visar resultatet från *CP11* placerad mitt i rummet i MT-12 den 30 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 849 ppm, men antas vara ett undantag då någon kan ha andats nära in på mätinstrumentet. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 24,0 % och uppgår som högst till 37,9 %. Temperaturen är som lägst 21,7°C och som högst 24,9°C.



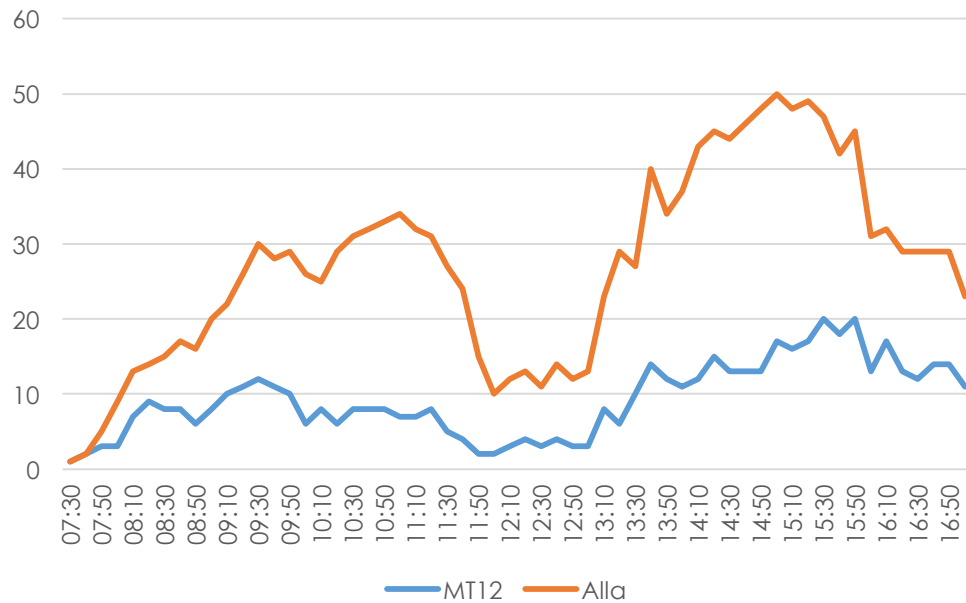
Figur 36 Mätresultat av RF, temperatur samt CO₂ mitt i rummet den 30 mars.

Figur 37 visar resultatet från *CP11* placerad vid frånluften i MT-12 den 30 mars. Koldioxidhalten uppgår maximalt till 990 ppm, men antas vara ett undantag då någon kan ha andats nära in på mätinstrumentet. Initialvärdet 1008 ppm inträffade när instrumentet installerades och undersöks inte vidare. Den relativa fuktigheten når som lägst värdet 26,1 % och uppgår som högst till 33,1 %. Temperaturen är som lägst 21,3°C och som högst 23,1°C.



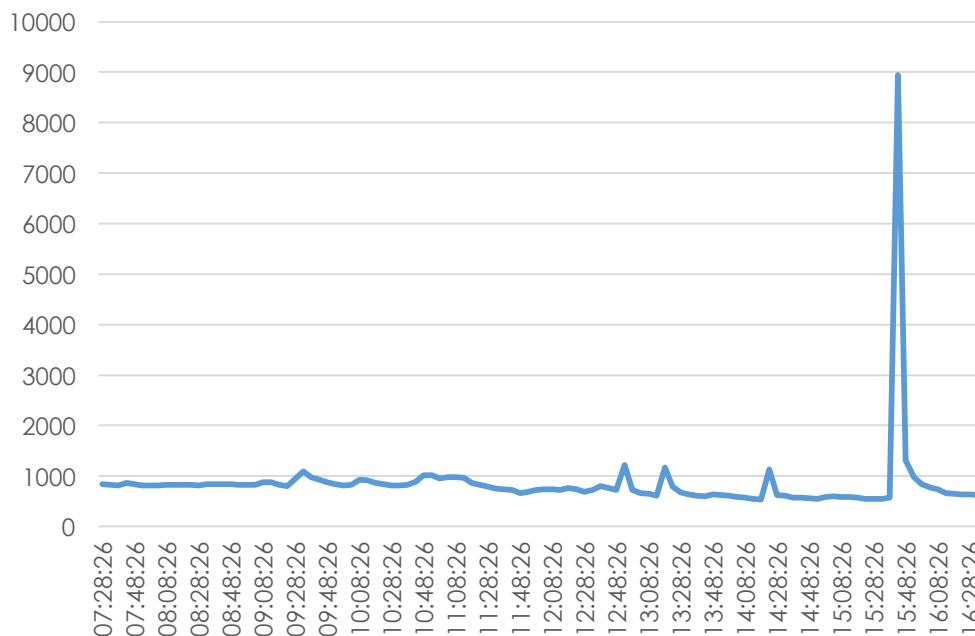
Figur 37. Mätresultat av RF, temperatur samt CO₂ vid frånluften den 30 mars.

Figur 38 visar resultat från personmätning i MT-12 den 30 mars. Maximalt vistats 50 personer i salarna och i medeltal 27 personer.



Figur 38. Mätresultat av hur många personer som vistats i salarna den 30 mars.

Figur 39 visar resultatet från P-trak i MT-12 den 30 mars. Maximalt är det 8941 pt/cc och i snitt 847 pt/cc.



Figur 39. Mätresultat över partiklar i rummet den 30 mars.

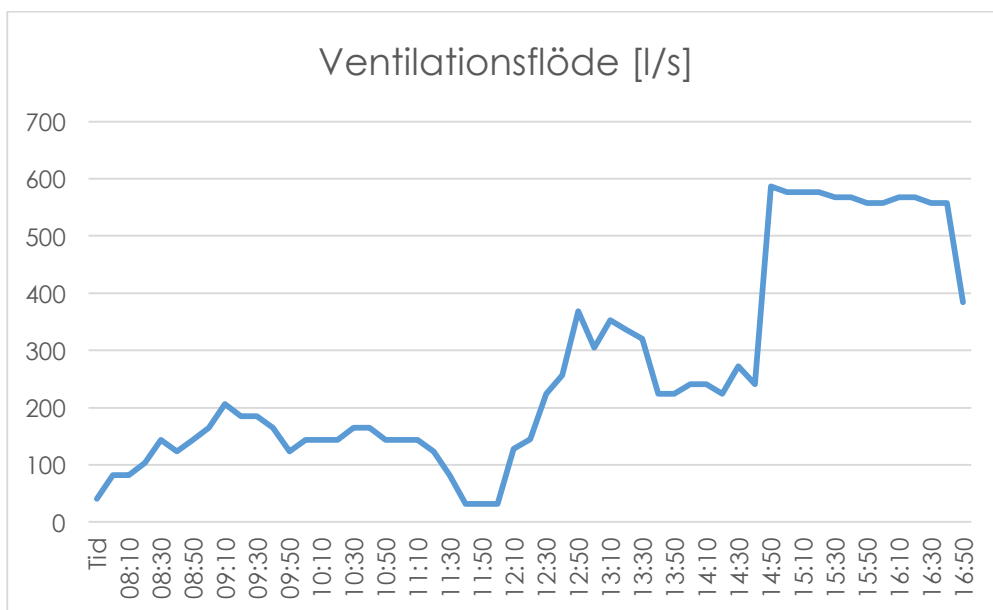
8.5 Bilaga V – energiberäkningar

Tabell 13. Redovisar beräkningsunderlag för ventilationsflödet.

Tid	C*	Ct	X	Vint	V	V/person
08:00	673	430	2	0,010	41	20,6
08:10	673	430	4	0,020	82	20,6
08:20	673	430	4	0,020	82	20,6
08:30	673	430	5	0,025	103	20,6
08:40	673	430	7	0,035	144	20,6
08:50	673	430	6	0,030	123	20,6
09:00	673	430	7	0,035	144	20,6
09:10	673	430	8	0,040	165	20,6
09:20	673	430	10	0,050	206	20,6
09:30	673	430	9	0,045	185	20,6
09:40	673	430	9	0,045	185	20,6
09:50	673	430	8	0,040	165	20,6
10:00	673	430	6	0,030	123	20,6
10:10	673	430	7	0,035	144	20,6
10:20	673	430	7	0,035	144	20,6
10:30	673	430	7	0,035	144	20,6
10:40	673	430	8	0,040	165	20,6
10:50	673	430	8	0,040	165	20,6
11:00	673	430	7	0,035	144	20,6
11:10	673	430	7	0,035	144	20,6
11:20	673	430	7	0,035	144	20,6
11:30	673	430	6	0,030	123	20,6
11:40	673	430	4	0,020	82	20,6
11:50	742	430	2	0,010	32	16,0
12:00	742	430	2	0,010	32	16,0
12:10	742	430	2	0,010	32	16,0
12:20	742	430	8	0,040	128	16,0
12:30	742	430	9	0,045	144	16,0
12:40	742	430	14	0,070	224	16,0
12:50	742	430	16	0,080	256	16,0
13:00	742	430	23	0,115	369	16,0
13:10	742	430	19	0,095	304	16,0
13:20	742	430	22	0,110	353	16,0
13:30	742	430	21	0,105	337	16,0
13:40	742	430	20	0,100	321	16,0
13:50	742	430	14	0,070	224	16,0
14:00	742	430	14	0,070	224	16,0
14:10	742	430	15	0,075	240	16,0
14:20	742	430	15	0,075	240	16,0
14:30	742	430	14	0,070	224	16,0

14:40	742	430	17	0,085	272	16,0
14:50	742	430	15	0,075	240	16,0
15:00	950	430	61	0,305	587	9,6
15:10	950	430	60	0,300	577	9,6
15:20	950	430	60	0,300	577	9,6
15:30	950	430	60	0,300	577	9,6
15:40	950	430	59	0,295	567	9,6
15:50	950	430	59	0,295	567	9,6
16:00	950	430	58	0,290	558	9,6
16:10	950	430	58	0,290	558	9,6
16:20	950	430	59	0,295	567	9,6
16:30	950	430	59	0,295	567	9,6
16:40	950	430	58	0,290	558	9,6
16:50	950	430	58	0,290	558	9,6
17:00	950	430	40	0,200	385	9,6

Tabell 13 redovisar de olika parametrarna som ingår i ekvation (4-1). Kolonn V plottas mot kolonn Tid för att erhålla diagrammet i Figur 40.



Figur 40. Diagram över ventilationsflödet vid olika tidpunkter den 27 mars.

Tabell 14. Redovisar beräkningsunderlag för den totala energianvändningen under den 27 mars

Effekt [W]	Energianvändning [kWh]
47	0,008
94	0,016
94	0,016

118	0,020
165	0,027
141	0,024
165	0,027
188	0,031
235	0,039
212	0,035
212	0,035
188	0,031
141	0,024
165	0,027
165	0,027
165	0,027
188	0,031
188	0,031
165	0,027
165	0,027
165	0,027
141	0,024
94	0,016
37	0,006
37	0,006
37	0,006
147	0,024
165	0,027
256	0,043
293	0,049
421	0,070
348	0,058
403	0,067
385	0,064
366	0,061
256	0,043
256	0,043
275	0,046
275	0,046
256	0,043
311	0,052
275	0,046
670	0,112
659	0,110
659	0,110
659	0,110
648	0,108

648	0,108
637	0,106
637	0,106
648	0,108
648	0,108
637	0,106
637	0,106
440	0,073
Total energianvändning för en sal mellan 08:00-17:00	2,771

Tabell 15. Beräkningsunderlag för en datorsals grundflöde och effekt.

Salsarea [m ²]	Vgrundflöde [l/s]	Effekt grundflöde [W]	Energianvändning grundflöde under fyra timmar [kWh]
170	59,5	68	0,272