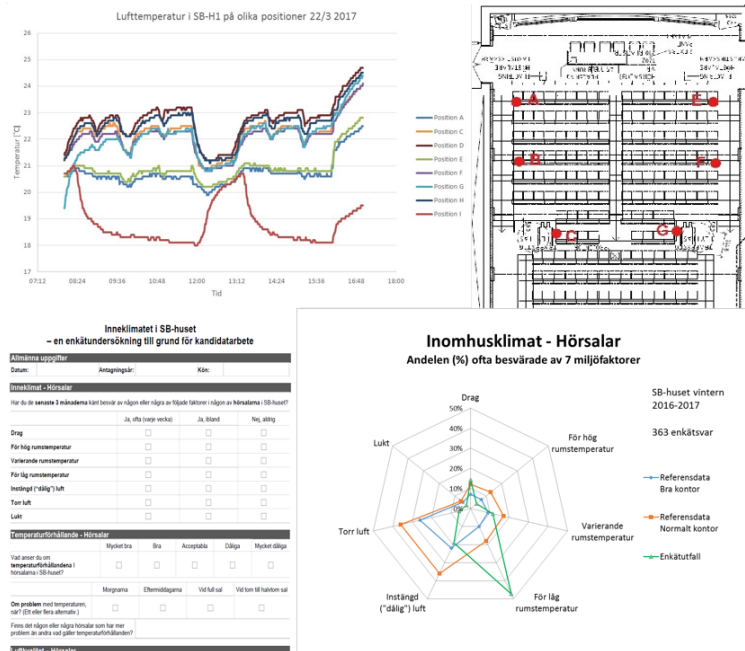




Termiskt klimat i universitetslokaler

En mätstudie för att kartlägga och analysera det termiska klimatet i hörsalar och grupprum i Samhällsbyggnadshuset på Chalmers

Kandidatarbete inom programmet för Väg- och Vattenbyggnadsteknik, BMTX01-17-81A

ANNA ROSENBERG

MARTINA SVANTESSON

KANDIDATARBETE 2017

Termiskt klimat i universitetslokaler

En mätstudie för att kartlägga och analysera det termiska klimatet i
hörsalar och grupprum i Samhällsbyggnadshuset på Chalmers

ANNA ROSENBERG
MARTINA SVANTESSON



CHALMERS

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

BMTX01-17-81A

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2017

Termiskt klimat i universitetslokaler

En mätstudie för att kartlägga och analysera det termiska klimatet i hörsalar och grupprum i Samhällsbyggnadshuset på Chalmers.

Thermal climate in university premises

ANNA ROSENBERG

MARTINA SVANTESSON

© ANNA ROSENBERG, 2017

© MARTINA SVANTESSON, 2017.

Handledare: Anders Trüschel, Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik, avdelningen för installationsteknik

Examinator: Jan Gustén, Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik, avdelningen för installationsteknik

Chalmers University of Technology

Department of Architecture and Civil Engineering

SE-412 96 Gothenburg

Sweden

Telephone +46 31 772 1000

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Göteborg, Sverige Maj 2017

Förord

Vi som har skrivit denna rapporten är två studenter som studerar tredje året på civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnadsteknik. Rapporten har skrivits som ett kandidatarbete på 15 hp under vårterminen 2017. Rapporten behandlar frågor som engagerar oss och många av våra medstudenter, då vi studerar i byggnaden som undersöks, och detta har varit en stor inspirationskälla och drivkraft genom arbetet.

Vi vill med detta förord ta chansen att rikta ett stort tack till de personer som har bidragit och hjälpt oss under arbetets gång.

Tack till personalen vid Installationsteknik som har hjälpt oss framåt i arbetet. Tack Anders Trüschel och Jan Gustén för all stöttning och uppmuntran vi har fått på vägen samt för all kunskap ni har delat med er av. Tack Håkan Larsson för utlåning av all mätutrustning och hjälp med denna.

Tack även till de personer som har bidragit med sin kunskap kring systemen i byggnaden och kring ombyggnationen, genom att träffa oss. Tack Bengt Bergssten (Chalmersfastigheter AB), Åsa Östlund (Chalmersfastigheter AB), Jan Henningsson (Akademiska Hus AB), Jan G Karlsson (Akademiska Hus AB) och Johan Petersson (Bengt Dahlgren AB).

Slutligen vill vi rikta ett stort tack till Henric Erntoft, Tor Lundberg och Christofer Sandäng Sernheim för ett gott samarbete i det praktiska arbetet.

Anna Rosenberg & Martina Svantesson, Maj 2017

Termiskt klimat i universitetslokaler
ANNA ROSENBERG, MARTINA SVANTESSON
Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Syftet med denna studie är att undersöka, kartlägga och dokumentera det termiska klimatet i Samhällsbyggnadshuset på Chalmers. Undersökningen utförs dels med en enkätundersökning och dels med mätningar, för att både få resultat på det upplevda klimatet och på de faktiska värden som lokalerna uppnår.

Studien avgränsas till att endast studera hörsalar och grupprum. Mätningarna utfördes alla under vintertid med verksamhet i lokalerna, för att försöka fånga det upplevda klimatet. Mätningarna omfattade lufttemperatur, yttemperaturer, luftfuktighet, luftfuktighet och operativ temperatur.

Enkätundersökningen resulterade i 363 svar från studerande i byggnaden och resultaten visar ett missnöje med temperaturförhållandena i båda typer av lokaler. Gällande hörsalar anser en stor andel studenter sig ofta uppleva besvär av låga lufttemperaturer, medan gällande grupprummen anser flera att de upplever besvär av främst instängd luft, men även av höga lufttemperaturer.

Mätresultaten visar att hörsalarna inte klarar gränsvärdena i de riktlinjer som finns för kontor. Temperaturen är för låg i båda hörsalarna under förmiddagen och främst vid låga utomhustemperaturer. I en hörsal kunde även stora skillnader mellan lufttemperaturen i den främre delen av salen och den bakre delen av salen mätas upp.

Mätresultaten visar däremot att temperaturen i grupprummen är bra utifrån riktvärdena, både vid hög och låg belastning av rummen.

Slutsatser som kan dras utifrån studien är att studenterna i byggnaden är missnöjda med det termiska klimatet och att det finns belägg för detta vad gäller hörsalarna men inte grupprummen. Resultaten indikerar att systemen i Samhällsbyggnadshusets hörsalar inte uppfyller de riktvärden som finns för varken lufttemperatur eller operativ temperatur och det skulle kunna bero på brister i klimatskalet eller missgynnsamma inställningar i styrsystemen.

Thermal climate in university premises
ANNA ROSENBERG, MARTINA SVANTESSON
Department of Architecture and Civil Engineering
Chalmers University of Technology

Abstract

The purpose of this study is to examine and document the thermal climate in the university building "Samhällsbyggnadshuset" at Chalmers. The study is carried out partly by a survey and partly with measurements to both get the results of the perceived climate but also of the actual values that the premises achieves.

The study is limited to only examine two types of auditoriums and two types of group rooms. The measurements were carried out during winter with ongoing activities to try to capture the perceived climate. The thermal comfort parameters that were measured were air temperature, surface temperatures, air velocity, humidity and operating temperature.

The survey resulted in 363 answers from students and indicate a dissatisfaction with the temperature in both types of premises. In the auditoriums, a large proportion of the students are often experiencing low air temperatures, while in the group rooms the students are mainly experiencing problem with entrapped ("bad") air, but also with too high air temperatures.

Results from the measurements show that the auditoriums do not meet the limit values in the guidelines for offices. The air temperature is too low in both of the studied auditoriums during the morning and mainly at low outdoor temperatures. In one auditorium, large differences between the air temperature in the front and back of the room could be measured.

On the other hand, the measurement results from the group rooms show good air temperature with both low and high ongoing activity.

Conclusions that can be drawn from this study are that the affected students are dissatisfied with the thermal climate and that this is proved for the auditoriums but not for the group rooms. The results indicate that the HVAC-systems in the auditoriums do not meet the requirements regarding the operating temperature and this could be due to deviancies in the building envelope or disadvantageous settings in the control systems.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Problemformulering och frågeställningar	2
1.4	Avgränsningar	3
1.4.1	Lokaler	3
1.4.2	Mätmetodik	4
1.5	Undersökningens angreppssätt och strategi	4
1.6	Rapportens disposition	5
2	Teori	6
2.1	Termiskt klimat	6
2.1.1	Operativ, ekvivalent och effektiv temperatur	7
2.1.2	Mollierdiagram	8
2.1.3	Önskvärd temperatur	9
2.2	Riktvärden	10
2.2.1	Operativ temperatur, golvtemperatur och luftfuktighet	11
2.2.2	Relativ luftfuktighet	12
3	Lokalernas förutsättningar	14
3.1	Verksamhet och användning	14
3.1.1	Hörsalarna	14
3.1.2	Grupprummen	15
3.2	Utformning, byggnadsteknik och tekniska system	15
3.2.1	Hörsalarna	16
3.2.1.1	SB-H1 - utformning och byggnadsteknik	16
3.2.1.2	SB-H1 - ventilationssystem och styrning	18
3.2.1.3	SB-H5 - utformning och byggnadsteknik	18

3.2.1.4	SB-H5 - ventilationssystem och styrning	19
3.2.2	Grupprummen	20
3.2.2.1	Utformning och byggnadsteknik	20
3.2.2.2	Ventilationssystem och styrning	20
3.3	Målsättning vid ombyggnationen	21
3.3.1	Riktlinjer Chalmersfastigheter	21
3.3.1.1	Operativ temperatur, golvtempertur och lufthastigheter	22
3.3.1.2	Relativ luftfuktighet	22
3.3.2	Miljöbyggnad silver	22
4	Metod	24
4.1	Enkätundersökningen	24
4.2	Mätningarna	25
4.2.1	Mätinstrument	25
4.2.1.1	Temperatur och fuktmätare EASY _{LOG} 24RFT	26
4.2.1.2	Dragmätare SwemaAir300	26
4.2.1.3	IR-pistol DT8380	26
4.2.1.4	Glob temperaturmätare Swema 05	26
4.2.2	Mätningsutförande i hörsalarna	27
4.2.2.1	Lufttemperatur och luftfuktighet	27
4.2.2.2	Yttemperaturer	28
4.2.2.3	Lufthastigheter	28
4.2.2.4	Operativ temperatur	28
4.2.3	Mätningsutförande i grupprummen	29
5	Resultat	30
5.1	Enkätundersökningen	30
5.1.1	Hörsalar i SB-huset	31
5.1.1.1	Besvärande inommiljöfaktorer	31
5.1.1.2	Temperaturförhållanden	32
5.1.2	Grupprum i SB-huset	33
5.1.2.1	Besvärande inommiljöfaktorer	33
5.1.2.2	Temperaturförhållanden	34
5.2	Mätningarna	35
5.2.1	SB-H1	35
5.2.1.1	Lufttemperatur - variationer över dag och med olika belastningar	35
5.2.1.2	Lufttemperatur - variationer inom salen	36

5.2.1.3	Yttemperatur	38
5.2.1.4	Lufthastighet	38
5.2.1.5	Luftfuktighet	39
5.2.1.6	Operativ temperatur	40
5.2.2	SB-H5	41
5.2.2.1	Lufttemperatur - variationer över dag och med olika belastningar	41
5.2.2.2	Lufttemperatur - variationer inom salen	42
5.2.2.3	Yttemperatur	42
5.2.2.4	Lufthastighet	43
5.2.2.5	Luftfuktighet	43
5.2.3	Grupprummen	44
5.2.3.1	Lufttemperatur - variationer över dag och med olika belastningar	45
5.2.3.2	Lufttemperatur - variationer mellan och inom rummen	46
5.2.3.3	Yttemperatur, lufthastighet och luftfuktighet	48
5.2.3.4	Operativ temperatur	49
6	Analys och diskussion	50
6.1	Jämförelse av mätresultat med riktvärden	50
6.1.1	SB-H1	51
6.1.2	SB-H5	51
6.1.3	Grupprummen	52
6.2	Analys och sammanfattning av resultaten	52
6.2.1	Enkätundersökningen	53
6.2.1.1	Upplevt klimat i hörsalarna	53
6.2.1.2	Upplevt klimat i grupprummen	54
6.2.2	Mätningarna	54
6.2.2.1	Analys av mätresultat i SB-H1	54
6.2.2.2	Analys av mätresultat i SB-H5	55
6.2.2.3	Analys av mätresultat i grupprummen	56
6.3	Utvärdering av metod och utförande	56
6.3.1	Utvärdering av metodval	56
6.3.2	Trovärdighet i enkätsvaren	57
6.3.3	Utvärdering av mätning utförandet	58
6.4	Diskussion kring resultaten	60

6.4.1	Jämförelse mellan enkät- och mätresultat	60
6.4.1.1	Hörsalarna	60
6.4.1.2	Grupprummen	61
6.4.2	Möjliga orsaker och förändringar	62
6.4.2.1	SB-H1	62
6.4.2.2	SB-H5	63
6.4.2.3	Grupprummen	64
7	Slutsatser	65
	Referenslista	67
	Bilaga A Enkät	I
	Bilaga B Enkätresultat	III
	Bilaga C Mätresultat SB-H1	V
	Bilaga D Mätresultat SB-H5	VIII
	Bilaga E Mätresultat grupprum	XI

1

Inledning

Inneklimatet i en byggnad är en del av innemiljön tillsammans med flera andra parametrar så som ljus, ljud och estetik. Inneklimatet omfattas därefter av både det termiska klimatet och luftkvaliteten, vilka inte är helt tydligt avgränsade från varandra. Studien fokuserar på det termiska klimatet men är utförd i samarbete med ett kandidatarbete om luftkvalitet i samma lokaler. Rapporten från det parallella arbetet har titeln *Luftkvalitet i Samhällsbyggnadshuset på Chalmers*, som är skriven av Erntoft, Lundberg och Sandäng Sernheim (2017) och borde läsas tillsammans med denna rapport om en helhetsbild av inneklimatet i byggnaden önskas. För att uppnå ett gott inneklimat krävs det dessutom ofta flera olika synsätt på samma problem, men denna studie utgår från installationsteknikens synsätt.

Byggnaden som undersöks i denna studie är Samhällsbyggnadshuset på Chalmers, vilket under en längre period kritiserades för att ha ett dåligt inneklimat. Även efter ombyggnationen av lokalerna år 2016 verkar missnöje finnas kvar och författarna till denna rapport, i egenskap av studenter i Samhällsbyggnadshuset sedan 2014, är också av åsikten att inneklimatet i Samhällsbyggnadshuset inte är så bra som det skulle kunna vara.

Syftet med denna studie är därför att genom mätningar dokumentera och kartlägga hur det termiska klimatet i Samhällsbyggnadshuset är, och att genom en enkätundersökning visa hur inneklimatet upplevs, samt hur stor andel av studenterna som upplever inneklimatet i sitt studiemiljö som problematisk.

1.1 Bakgrund

Att inneklimatet i en lokal påverkar en människas hälsa och prestationsförmåga är allmänt känt. Om inneklimatet i ett kontor är dåligt kan detta reducera en människas prestationsförmåga med nästan 10% enligt Wyon (2004). För att Chalmers studenter ska kunna få ut så mycket som möjligt av sin utbildning och ha en hög inlärningsförmåga bör därför utbildningslokalerna ha ett gott inneklimat.

I dagsläget existerar det däremot inte några specifika nationella riktlinjer för inneklimat i utbildningslokaler på universitetsnivå. Det finns riktlinjer för skolor på lägre utbildningsnivåer samt för kontor men ingen av dessa ger en optimal

beskrivning av hur lokalerna på ett universitet används vilket kan komplicera en projektering eller ombyggnation av denna typen av lokaler. Riktlinjerna som finns är dessutom oftast generella för alla människor och aktiviteter men då den upplevda temperaturen beror på ålder, kläder och aktivitet bör dessa faktorer vägas in vid projektering av ventilation, värme och styrsystem. Detta gör det intressant att undersöka det termiska klimatet i universitetslokaler samt om utbildningslokaler på universitetsnivå hade behövt egna riktlinjer.

Under en längre tid kritiserades kurshuset Väg- och Vatten 1 på Chalmers campus Johanneberg för sitt inneklimat och studenterna ansåg att det ofta var kallt och att luftkvaliteten var dålig. År 2016 genomgick byggnaden en ombyggnation som omfattade bland annat byte av ventilations- och värmesystemet samt att vissa lokaler tilläggsisolerades. Efter detta bytte byggnaden även namn till Samhällsbyggnadshuset, men hädanefter i denna rapport kommer byggnaden att benämnas som SB-huset. På grund av att SB-huset är nyrenoverat är det intressant för flera inblandade parter att en undersökning av hur inneklimatet har blivit utförs och om önskemålen i ombyggnationen har uppfyllts.

1.2 Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka, dokumentera och kartlägga det termiska klimatet i SB-huset efter ombyggnationen, dels via en enkätundersökning och dels via mätningar. Resultaten jämförs med riktlinjer i området samt med de värden vilka ambitionen var att uppnå efter ombyggnationen. Jämförelsen kan sedan leda till att se om det finns belägg för studenternas kritik och isåfall även till resonemang kring vad anledningen till detta kan vara. En målvision finns om att resultatet i denna rapport ska kunna säkerställa ett gott inneklimat i SB-huset.

1.3 Problemformulering och frågeställningar

Problemet som denna studie vill belysa är hurvida ombyggnationen av SB-huset har uppnått syftet med att säkerställa ett gott inneklimat. Detta gör att det finns flera mindre frågeställningar som behöver besvaras.

Med enkätundersökningen vill studien besvara hur studenterna upplever det termiska klimatet i SB-huset efter ombyggnationen och identifiera vilka faktorer som är mest besvärande. Ytterligare ett önskat resultat från enkätundersökningen är att kvantifiera hur många studenter som upplever ett dåligt inneklimat.

Mätningarna syftar till att komplettera enkätundersökningen och att utveckla kartläggningen av det termiska klimatet i SB-huset. Målsättningen med mätningarna

är att visa hurvida olika parametrar inom termiskt klimat ligger inom acceptabla riktlinjer och/eller om mätvärdena är inom området som de är projekterade för. Mätningarna vill också visa hur klimatet varierar över tid på dagen, hur det varierar på olika positioner i lokalerna samt hur det varierar med verksamheten i lokalerna.

Utifrån resultaten av enkätundersökningen och mätningarna önskas också undersökas hurvida ventilations, värme och styrsystemen för installationerna uppfyller sitt syfte eller om de kan förbättras på något sätt. Studien ämnar även leda in till en diskussion kring möjliga orsaker bakom resultaten av enkätundersökningen och mätningarna.

1.4 Avgränsningar

En första avgränsning som gjorts i denna studie är att bara analysera det termiska klimatet, vilket endast är en del av inneklimatet i en byggnad. Luftkvaliteten i SB-huset analyseras och redogörs för i kandidatrapporten av Erntoft et al. (2017). Vidare är det inom två andra huvudområden som denna studie avgränsas: lokaler och mätmetodik.

1.4.1 Lokaler

Endast två typer av lokaler i SB-huset studeras inom denna studie, nämligen hörsalar och grupprum. Studien berör alltså inte inneklimatet i några lärosalar, datorsalar, korridorer, toaletter eller kök. På grund av tidsramarna undersöks dessutom endast två hörsalar och två grupprum.

De hörsalar som undersöks är SB-H1, som är den största hörsalen i byggnaden, och SB-H5, som är en av de minsta. Mätningarna i dessa hörsalar kan till viss del representera klimatet i de andra hörsalarna då det finns flera likheter. De relevanta skillnader som dock finns är att de är av olika storlek, har olika ventilationssystem, olika antal värmekällor samt att de har olika stora ytterväggsarea.

Alla grupprum i SB-huset är ungefär lika stora men med en stor skillnad att det finns rum med en yttervägg och fönster, och det finns rum utan ytterfönster och endast innerväggar. Mätningar utförs därför i ett grupprum med ytterfönster och i ett utan. En avgränsning till att endast studera grupprum på en våning, nämligen våning 3, görs däremot. En tydligare beskrivning av lokalerna som undersöks kan läsas i kapitel 3.

1.4.2 Mätmetodik

Studien avgränsas även till att alla mätningstillfällen kommer att ligga under ungefär samma tid på året, nämligen under vintertid. Detta för att få störst möjlig skillnad mellan inomhus- och utomhustemperaturen, men som följd kan dock resultaten inte representera hur det termiska klimatet är under den varma delen av året. Denna avgränsning tas hänsyn till i jämförelsen med riktvärden och i analysen av mätresultaten.

De mättillfällen som valdes syftar till att mäta, och täcka in de vanligaste användningsformerna av lokalerna som finns men kommer inte kunna representera alla olika typer av verksamheter, vilket också är en medveten avgränsning på grund av tidsramarna.

1.5 Undersökningens angreppssätt och strategi

För att analysera inneklimatproblem finns det flera olika angreppssätt. En standardmetod för hur man kan gå till väga vid undersökning av inneklimatproblem är den så kallade Örebromodellen. Örebromodellen baseras på en strategi av världshälsoorganisationen (WHO) från början av 1980-talet men har idag utvecklats till en egen strategi som är accepterad i de nordiska länderna enligt Norman (2017) och Miljömedicin MM konsult AB (2017).

Örebromodellen är en trestegsstrategi som kan tillämpas efter att kritik rörande inneklimatet har framförts. Det första steget är en problemkartläggning, det andra en enkätundersökning och det sista är tekniska mätningar. Efter dessa tre steg kan åtgärder vidtas utifrån mätresultaten. Strategin är till för att undvika onödigt arbete och för många dyra mätningar, då en strukturerad problemkartläggning och enkätundersökning tydligt kan visa på vilka typer av tekniska mätningar som är relevanta. En grundsten i strategin är också principen kring att brukarna är de som bäst beskriver inneklimatet och enkätundersökningen är därför en central del i metoden.

Denna studie inspirerades till stor del av Örebromodellen, främst vid utförandet av enkätundersökningen och kring hurvida brukarna (studenterna) kan bidra till kartläggningen av inneklimatet, men också vid planering av mätningarna för att kunna koppla ihop resultaten mellan enkätundersökningen och de tekniska mätningarna. Däremot avvek den från trestegsstrategin när enkätundersökningen och mätningarna utfördes parallellt med varandra då syftet med denna undersökning inte var att så snabbt och billigt som möjligt åtgärda eventuella problem.

1.6 Rapportens disposition

Kapitel 2, Teori, ger grundläggande information om termiskt klimat och hur det påverkar en människa. Vidare presenteras de nationella riktvärden som finns för kontor gällande termiskt klimat.

Kapitel 3, Lokalernas förutsättningar, ger information om verksamheten som utförs i lokalerna samt beskriver utformningen av de undersökta lokalerna både byggnadstekniskt och hur ventilationssystemen i dem är menat att fungera. Kapitlet avslutas med de önskemål kring termiskt klimat som fanns vid ombyggnationen och vilka värden som det utgicks från.

Kapitel 4, Metod, beskriver hur enkätundersökningen och mätningarna genomförts och med vilka instrument och dess egenskaper. Det ges även korta redogörelser om varför de olika metoderna har valts.

Kapitel 5, Resultat, presenterar utfallet av enkätundersökningen samt resultatet av mätningarna. Endast ett urval av det totala resultatet presenteras med fokus utifrån frågeställningarna och ytterligare resultat presenteras i bilagorna.

Kapitel 6, Analys och diskussion, inleds med en jämförelse mellan mätresultaten och de riktvärden och projekterade värden som presenterades i kapitel 2 och 3 för att se vilka mätresultat som är anmärkningsvärda. Därefter utförs en analys kring resultaten där de kritiskt granskas och där osäkra resultat förkastas. Vidare görs en utvärdering av metoden och utförandet för att ytterligare kritiskt granska resultaten. Slutligen följer en diskussion kring resultaten där det återkopplas till teorin, enkätresultaten och mätresultaten jämförs mellan varandra och möjliga orsaker till resultatet samt vidare rekommendationer presenteras.

Kapitel 7, Slutsats, sammanfattar de slutsatser som kan dras utifrån resultaten och lämnar förslag kring hur det termiska klimatet och luftkvaliteten i SB-huset skulle kunna förbättras.

2

Teori

För att bringa relevans i, och förståelse för, mätningarna och undersökningen behöver viss teori förklaras och redovisas vilket kommer att göras i detta kapitel. Först redogörs för vad termiskt klimat är och vilka parametrar det omfattar. Därefter redogörs det för de nationella riktlinjer och riktvärden som finns inom termiskt klimat i Sverige idag.

2.1 Termiskt klimat

Det termiska klimatet i en byggnad innefattar många olika tekniska egenskaper men de parametrar som har valts att studeras i denna studie är de som kan omfattas av termen termisk komfort. Termisk komfort är det termiska klimat som påverkar en människas termiska välbefinnande och handlar om att inte uppleva termisk diskomfort. Termisk diskomfort är att antingen känna sig för kall eller för varm. Om ingen termisk diskomfort upplevs kan människan antas vara i så kallad termisk neutralitet enligt Brüel & Kjær (2002), vilket är önskvärt.

De parametrar som påverkar en människas termiska komfort är de parametrar som påverkar energiförlusten från kroppen då en människa inte känner lufttemperaturen, den känner energiförlusten. Dessa parametrar är:

- Lufttemperatur
- Medelstrålningstemperatur
- Lufthastighet
- Luftfuktighet

Lufttemperaturen påverkar energiförlusten från huden genom att den varma huden avger värmeenergi till den kallare luften genom ledning.

Medelstrålningstemperatur kan beskrivas som ett utbyte av värmeenergi mellan ytor och människans hud genom strålning. Om det finns yttemperaturer som avviker från lufttemperaturen kommer dessa ytor att värmestråla vilket leder till att en människa kan uppleva en annan temperatur än vad lufttemperaturen är.

Lufthastighet är ett mått på hur mycket luften förflyttar sig. Höga lufthastigheter i inneklimatsammanhang kallas för drag och kommer även göra så i resten

av denna rapport. Drag innebär att värmeenergi transporteras bort från människans hud genom konvektion. Drag leder alltså till att människan upplever en lägre temperatur än luftens temperatur.

Enligt Brüel & Kjær (1982) påverkar fukt energiförlusten så till vida att fukt avges från en människa, dels genom diffusion genom huden och dels genom avdunstning av svett från hudens yta. Processerna drivs av en skillnad mellan det mättade ångtrycket på hudens yta och den omgivande luftens ångtryck. Vid låg luftfuktighet sker avdunstningen fortare än vid hög luftfuktighet vilket innebär en ökad energiförlust och avkylning. Låg luftfuktighet leder alltså till att luften kan uppfattas som kallare medan hög luftfuktighet leder till att luften uppfattas som varmare. Avdunstningen är dock av mindre signifikans i jämförelse med diffusionen vid aktiviteter likt kontorsarbete.

Ytterligare en faktor som påverkar människans upplevelse av det termiska klimatet är hur mycket klimatet varierar på olika positioner runt människan. Stora variationer i lufttemperaturer eller yttemperaturer kan upplevas som termisk diskomfort även om sammanvägningen av de olika värdena kan ligga på en komfortabel nivå.

2.1.1 Operativ, ekvivalent och effektiv temperatur

Operativ temperatur, ekvivalent temperatur och effektiv temperatur är sammanvägda temperaturer som syftar till att beskriva upplevelsen av temperaturen. Dessa integrerade faktorer är till för att försöka beskriva det termiska klimatet med ett enda värde för att enklare kunna avgöra om önskemålen för termisk komfort är uppfyllda.

Operativ temperatur är en sammanvägning av luftens temperatur och omgivande ytors strålningstemperaturer. Den operativa temperaturen tar dock inte hänsyn till luftfuktighet eller luftrörelser men enligt Abel och Elmroth (2012) ska lufthastigheter lägre än 0,2 m/s inte upplevas som störande. Den operativa temperaturen kan antingen mätas eller beräknas med ekvation 2.1, hämtad från Abel och Elmroth (2012).

$$t_{op} = \frac{t_l + \bar{t}_s}{2} \quad (2.1)$$

där

t_l är lufttemperaturen

$\bar{t}_s$ är medelstrålningstemperaturen, som beräknas genom att väga samman de omgivande ytornas absoluta strålningstemperatur $T_{si}(K)$

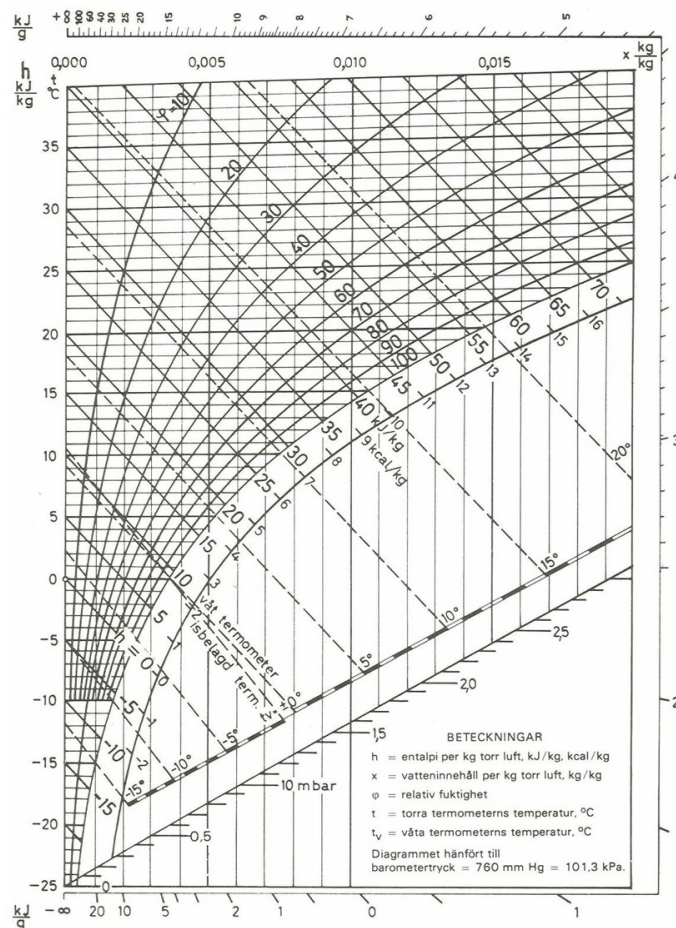
$$(\bar{t}_s + 273)^4 = \sum_1^n (T_{si}^4 \cdot F_i)$$

F_i är vinkelfaktorn från respektive yta

Ekvivalent temperatur är en sammanvägning av lufttemperatur, strålnings-temperatur och lufthastighet medan effektiv temperatur är en sammanvägning av lufttemperatur, strålningstemperatur och luftfuktighet enligt Brüel & Kjær (2002). Operativ temperatur är dock vanligast i sammanhang där det finns krav ställda på det termiska klimatet.

2.1.2 Mollierdiagram

Mollierdiagram används för att analysera fuktig luft ur ett termiskt perspektiv, och hur luften påverkas av tillståndsförändringar som t.ex. värmning och fuktning. Diagrammet innehåller sex olika tillståndsstorheter och för att läsa av diagrammet måste minst två storheter vara kända. De olika tillståndsstorheterna är: lufttemperatur [$^{\circ}\text{C}$], absolut fuktighet [$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$], entalpi [$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$], relativ fuktighet [%], våt temperatur [$^{\circ}\text{C}$] och dagtemperatur [$^{\circ}\text{C}$].



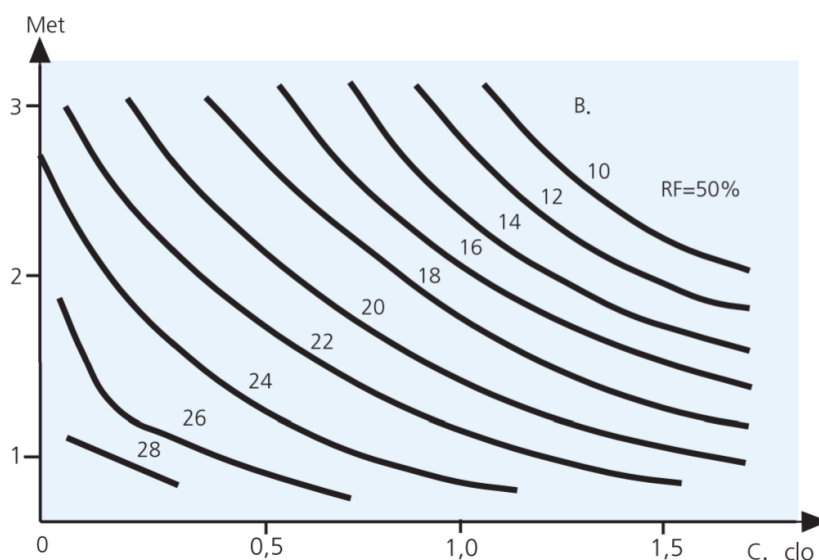
Figur 2.1: Mollierdiagram som används för att analysera fuktig luft.

I figur 2.1 visas ett Mollierdigram och de olika tillståndsstorheterna kan ses på olika axlar i och runt rutnätet. Om två storheter är kända kan en position i

diagrammet markeras. Denna position representerar då även värden för resterande tillståndsstorheter. I resultatkapitlet, kapitel 5.2, används Mollierdiagrammet för att se sambandet mellan relativ fuktighet och absolut fuktighet vid given lufttemperatur.

2.1.3 Önskvärd temperatur

För att finna önskvärd temperatur i en viss lokal för att uppnå termisk komfort behövs kännedom om människorna som vistas i rummet samt vad för verksamhet som utövas. Ett sätt att bestämma önskvärd temperatur på är genom figur 2.2 som visar optimal operativ temperatur utifrån klädsel och aktivitet.



Figur 2.2: Diagram som visar optimal operativ temperatur vid olika met- och clo-värden. Figur hämtad från Nilsson (2000).

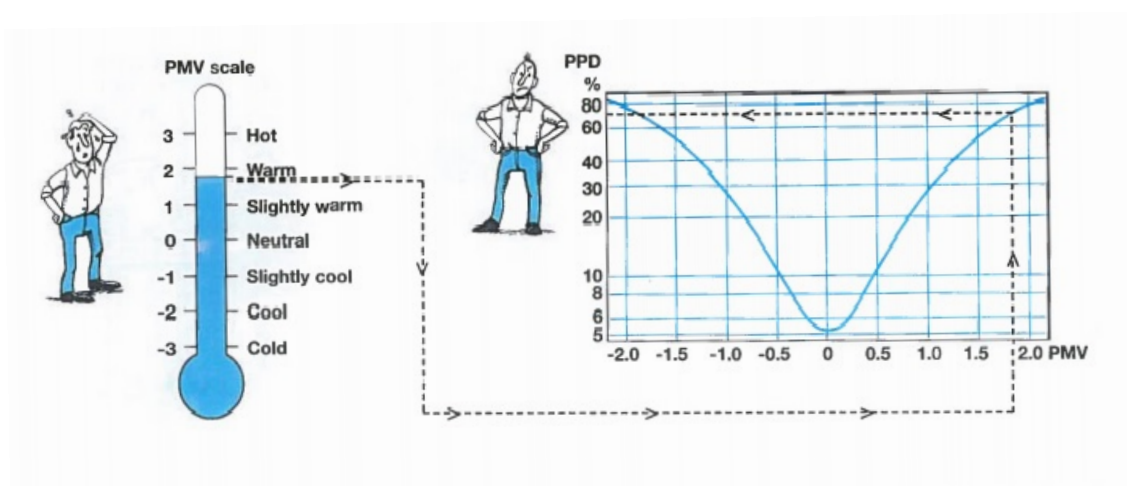
Kläder är ett sätt att reducera energiförlusten från kroppen och kan mätas i enheten clo som avser hur stor isolerande förmåga kläderna har enligt Brüel & Kjær (2002). $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ och är anpassad så att en naken person har 0,0 clo och en vanlig kostym innebär 1,0 clo. Hur stor aktivitet en människa utför kan mätas i enheten met som avser metabolismen. En människas metabolism varierar mellan 0,8 met vid sömn och 10 met när intensiva fysiska aktiviteter utförs. Kontorsarbete uppskattas till 1,2 met vilket innebär att optimal operativ temperatur vid 1,0 clo i så fall är 22°C enligt diagrammet.

Värt att nämna, och ha i baktanke vid resterande del av rapporten, är också att inte ens en optimal temperatur tillfredsställer alla människor. Människor är väldigt olika och därför kan två olika personer uppleva samma termiska klimat helt

olika. Det kommer alltid att vara minst 5% missnöjda, även vid en optimal temperatur enligt Brüel & Kjær (2002).

I diagrammet i figur 2.3 kan det ses hur stor andel människor som är missnöjda (PPD = Predicted Percentage Dissatisfied) vid ett visst klimatindex (PMV = Predicted Mean Vote). Skalorna PPD och PMV representerar ett upplevt klimat där ± 2 eller ± 3 på PMV-skalan antas innebära missnöje och räknas då in i PPD-indexet.

PMV är ett enhetslöst klimatindex som syftar till termisk komfortupplevelse där värdena -3 till +3 representerar neutralt (± 0), något svalt/något varmt (± 1), svalt/varmt (± 2) och kallt/hett (± 3) och är alltså inte faktiska temperaturskillnader. PMV-indexet beräknas med hjälp av metabolism (met) och skillnaden mellan producerad värmeenergi i kroppen och avgiven värmeenergi till omgivningen för en person.



Figur 2.3: Diagram som visar hur många procent som är missnöjda (PPD) vid ett visst klimatindex (PMV). Figur hämtad från Brüel & Kjær (2002).

2.2 Riktvärden

För att ett inneklimat ska ha god kvalitet finns det riktvärden som de termiska parametrarna bör uppfylla. Riktvärdena gäller i den så kallade vistelsezonen som definieras enligt Boverket (2016) som "vistelsezonen begränsas i rummet av två horisontella plan, ett på 0,1 meter höjd över golv och ett annat på 2,0 meter höjd över golv, samt vertikala plan 0,6 meter från yttervägg eller annan yttre begränsning, dock vid fönster och dörr 1,0 meter."

2.2.1 Operativ temperatur, golvtemperatur och lufthastighet

VVS-tekniska föreningen (2000) har definierat riktlinjer för den operativa temperaturen och lufthastigheten inom vistelsezonen som ej bör överskridas, se tabell 2.1. Som tidigare nämnts tillfredsställer aldrig en optimal temperatur alla människor och antalet missnöjda mäts i PPD. I tabellen motsvarar kvalitetsklass TQ1 ett PPD-index på mindre än 10%, kvalitetsklass TQ2 motsvarar ett PPD-index på 10% och kvalitetsklass TQ3 motsvarar ett PPD-index på 20%. Det finns även en fjärde kvalitetsklass TQX som kan anpassas efter verksamheten.

Tabell 2.1: Riktvärden för termiska parametrar. Klimatklass TQ1 motsvarar att mindre än 10% är missnöjda, kvalitetsklass TQ2 motsvarar 10% missnöjda och klimatklass TQ3 motsvarar 20% missnöjda. Vinterfall gäller vid 1,0 clo som klädesfaktor och sommarfall för 0,5 clo. Riktvärdena är definierade för en aktivitet på 1,2 met. Tabell från VVS-tekniska föreningen (2000).

Inneklimatfaktor	Faktorvärde i kvalitetsklass		
	TQ1	TQ2	TQ3
<i>Operativ temperatur (t_0)</i>			
Vinterfall			
- högsta värde °C	23	24	26
- optimalvärde °C	22	22	22
- lägsta värde °C	21	20	18
Sommarfall			
- högsta värde °C	25,5	26	27
- optimalvärde °C	24,5	24,5	24,5
- lägsta värde °C	23,5	23	22
<i>Lufthastighet</i>			
<i>inom vistelsezon</i>			
- vinterfall m/s	0,15	0,15	0,15
- sommarfall m/s	0,20	0,25	0,40
<i>Golvtemperatur</i>			
-högsta värde °C	26	26	
-lägsta värde °C	22	19	16

Tabellen gäller för kontorslokaler med en aktivitet som motsvarar vanligt kontorsarbete. Orsaken till att varför riktvärden för kontorslokaler används i denna studie är för att det inte finns för grupprum och hörsalar, och kontorslokaler är det som närmast stämmer överens med de lokaler som undersöks i denna studie. I denna rapporten är det främst värdena för kvalitetsklass TQ2 som mätvärdena blir jämförda med.

Folkhälsomyndigheten (2014) rekommenderar dessutom att en vidare utredning av en lokal utförs om temperaturförhållandena i den är utanför de gränser som är angivna i tabell 2.2. Dessa gränser är i nästan alla fall samma som de som gäller för klimatklass TQ2 i tabell 2.1, men med skillnaden att golvtemperaturen ej ska underskrida 18°C . Värt att notera är även att värdena för vidare utredning gäller lufttemperatur och riktvärdena från VVS-tekniska föreningen (2000) gäller för operativ temperatur.

Tabell 2.2: Indikerande värde för när en fortsatt utredning bör genomföras. Tabell från Folkhälsomyndigheten (2014).

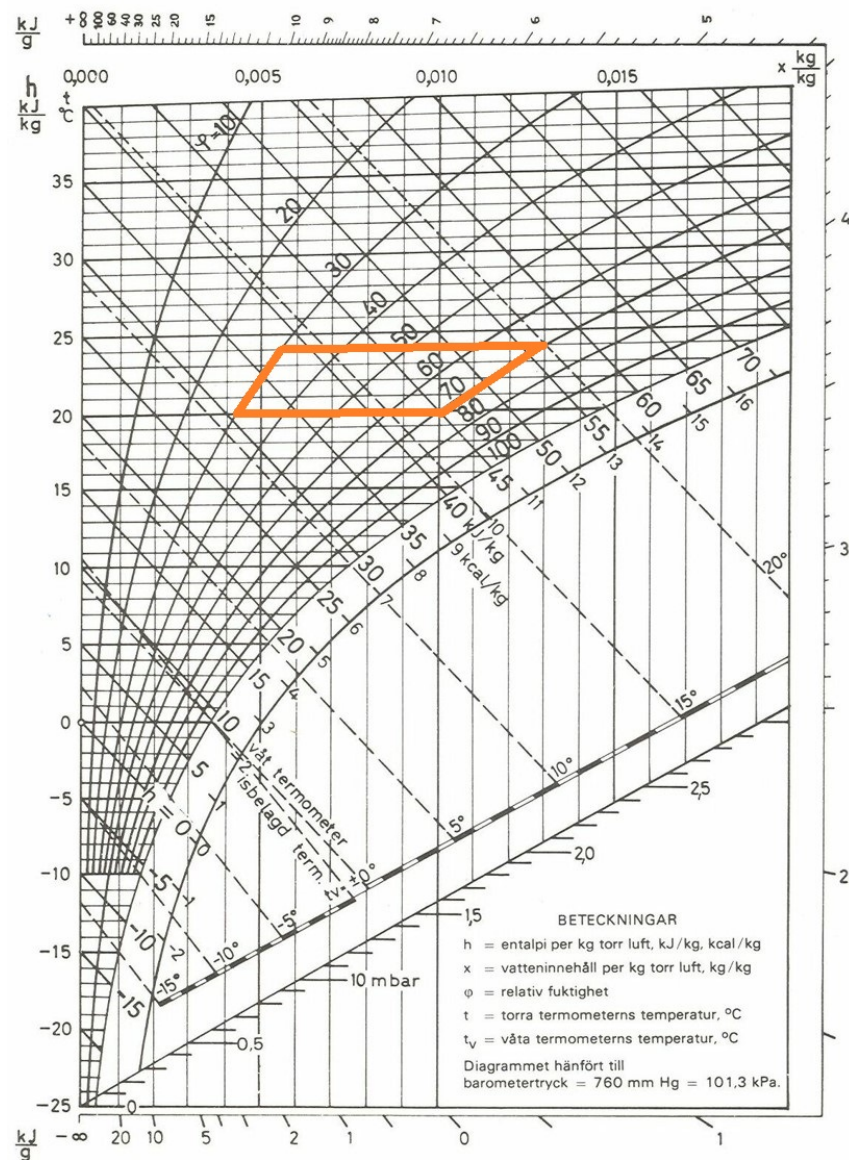
Lufttemperatur	Under 20°C
Lufttemperatur	Över 24° Över 26°C sommartid
Golvtemperatur	Under 18°C

2.2.2 Relativ luftfuktighet

Hur mycket den relativa luftfuktigheten påverkar en människas termiska komfort är svårt att avgöra. Besvär kopplade till relativ luftfuktighet är heller inte lika vanliga som besvär orsakade av andra inneklimats parametrar och därför finns det heller inga specifika riktlinjer för vilka nivåer på en relativ luftfuktighet som är godkända.

Däremot finns det rekommendationer från Socialstyrelsen (2005) att relativ luftfuktighet bör vara i intervallet 30-70% i normala vistelsesrum. Om den relativa luftfuktigheten är under 20% eller över 70% kan i vissa fall besvär uppkomma, som t.ex. torra ögon och andningsproblem.

Figur 2.4 visar en sammanställning av värdena för lufttemperatur när vidare utredning bör ske, från tabell 2.2, och rekommendationen av relativa luftfuktigheten i ett Mollierdiagram. För att ha ett så bra termiskt klimat som möjligt bör värdena ligga innanför det orange området.



Figur 2.4: Gränsvärden för lufttemperatur och relativ luftfuktighet i ett Mollierdiagram.

3

Lokalernas förutsättningar

Inför projekteringen och utformningen av systemen till en lokal är det viktigt att ha en förståelse för lokalens utseende och byggnadsfysik samt verksamheten som ska bedrivas i lokalen. Detta kapitel syftar till att beskriva hur lokalerna används, hur lokalerna ser ut utifrån ett byggnadstekniskt perspektiv, samt hur värme-, kyl- och ventilationssystemet i dem är avsedda att fungera efter ombyggnationen. Avsikten är att skapa en förståelse för lokalerna som system för att kunna diskutera resultaten utifrån verkligheten. Kapitlet omfattar också de riktvärden som ombyggnationen projekterades efter, vilka svarar till vilket termiskt klimat som önskades uppnås efter ombyggnationen.

3.1 Verksamhet och användning

Att beskriva verksamheten i en byggnad kan vara en komplicerad men viktig del i projekteringsprocessen, men enligt Abel och Elmroth (2012) är verksamheten av högsta relevans då den är en del av systemen. I detta avsnitt görs ett försök att beskriva de vanligaste användningstyperna av de lokaler som undersöks, utifrån en students perspektiv.

3.1.1 Hörsalarna

Hörsalarna på Chalmers används på flera olika sätt men den absolut vanligaste användningen är för att hålla föreläsningar. Normala föreläsningstider är kl. 8.00-11.45 och kl. 13.15-17.00 med 15 minuters paus mellan varje 45-minuterspass. Det förekommer dock även föreläsningar under lunchtid och senare än klockan 17.00, vid speciella tillfällen.

Vid en föreläsning finns det oftast en föreläsare i salen som står eller går framme vid tavlorna samtidigt som denne talar. Samtidigt sitter det studenter i bänkraderna och lyssnar och/eller antecknar och utför alltså en aktivitet liknande kontorsarbete.

Antalet studenter på en föreläsning varierar väldigt mycket. Vid vissa föreläsningar kommer det bara ett fåtal studenter medan andra föreläsningar fyller hela

hörsalen med åhörare. Vilka positioner som studenterna sitter på i salen varierar också mycket, så ibland är det flest studenter i den främre delen av salen och ibland tvärtom. Under föreläsningen brukar dörrar och fönster vara stängda medan dörren ofta öppnas flertalet gånger under rasterna.

En annan frekvent användning av hörsalarna är tentamensskrivningar. Då sitter det endast ett fåtal studenter, utspridda i salen. En tentamen pågår normalt i fyra eller fem timmar med stängd dörr och med mycket lite rörelse eller öppning av dörrarna. Tentamensskrivningar sker normalt mellan tiderna kl. 8.30 och 18.00 uppdelat på två olika skrivningar.

3.1.2 Grupprummen

Grupprummen i SB-huset används flitigt av studenterna i byggnaden till olika former av studier. I dessa lokaler är stillasittande arbete vid datorer eller böcker troligtvis det vanligaste men en mer aktiv form av studier så som att stå och gå vid whiteboardtavlan förekommer också. Användningen av grupprummen är således mycket likt kontorsarbete.

Antalet studenter varierar från en till sex personer. Hur lång tid som ett studiepass i ett grupprum varar varierar också betydligt, med allt från en halv till tolv timmar i sträck. Det är även vanligt med studier i grupprummen sent på kvällen och tidigt på morgonen samt under helgerna.

Om dörren till rummet är stängd eller inte, varierar troligtvis med hur mycket ljud som önskas isoleras bort och/eller om luftkvaliteten i rummet upplevs dålig eller inte.

3.2 Utformning, byggnadsteknik och tekniska system

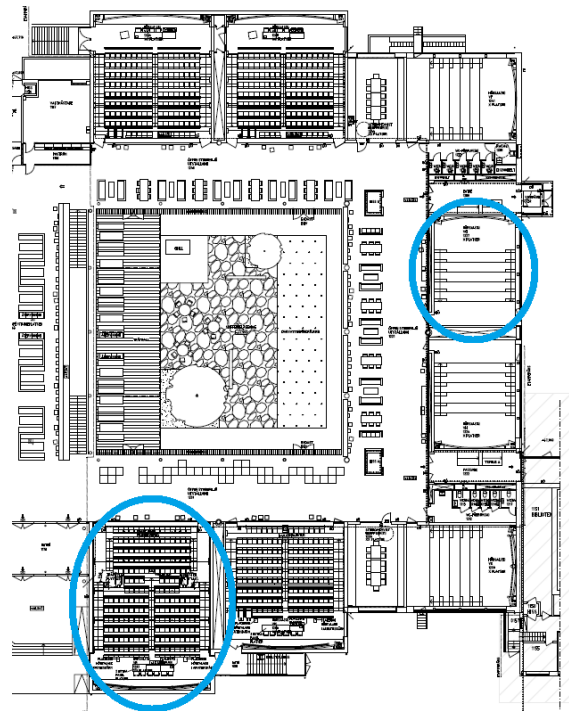
De lokaler som undersökts i denna studie ligger i det före detta kurshuset Väg- och Vatten 1, som byggdes år 1966. Byggnaden bytte sedan namn till Samhällsbyggnad II (SB-huset) efter ombyggnationen år 2016. Byggnaden är sammanbyggd med Arkitekturhuset och Väg och Vatten 2, vilka också ska renoveras och byta namn till Samhällsbyggnad I resp. Samhällsbyggnad III. Samhällsbyggnad I och III ingår ej i denna studie och med förkortningen SB-huset menas Samhällsbyggnad II genomgående i rapporten.

SB-huset är ett fem våningar högt hus med källare och våningsbenämningen är 0-6. På våning 1, entréplan, finns det åtta hörsalar samt lunchrum och toaletter. På våning 2-5 (vilka är mycket lika varandra i planlösning) finns det lärosalar, da-

torsalar, grupprum och toaletter medan det på våning 6 och i källaren endast finns fläktrum, förråd och föreningsrum. Byggnaden används till undervisning och studier främst för de som studerar inom området arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, men även för övriga studenter på Chalmers.

3.2.1 Hörsalarna

De två hörsalar som mätningar har genomförts i är markerade i figur 3.1. SB-H1 är salen nere till vänster i figuren och SB-H5 är salen till höger i figuren.



Figur 3.1: Ritning över SB-husets entréplan med markeringar för de hörsalar där mätningar utfördes. Hörsalen ner till vänster är SB-H1 och salen till höger är SB-H5.

Båda hörsalarna värms av fjärrvärme och har ett ventilationssystem av typen FTX-system (till- och frånluftsventilation med värmeåtervinning). SB-H1 har ett eget FTX-system vilket byttes ut helt under ombyggnationen, medan SB-H5 delar system med hörsalen bredvid och det är samma system som innan ombyggnationen.

Inget av systemen har fuktningsmöjligheter eller avfuktningsmöjligheter och kan därför inte ta någon hänsyn till fukt i luften eller påverka luftfuktigheten i salarna.

3.2.1.1 SB-H1 - utformning och byggnadsteknik

SB-H1 är den största hörsalen i SB-huset med 210 sittplatser som är fördelade på 13 bänkrader. Salen är sluttande och består av en innervägg mot en angränsande

3.2.1.2 SB-H1 - ventilationssystem och styrning

Tilluftsdon finns under varje säte i salen, på alla bänkrader utom den bakersta. Alla tilluftsdon är en del av samma system och har därför samma flöde och tilluftstemperatur. Tilluftstemperaturen kan vintertid variera mellan $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ och även flödet regleras utifrån behov. Frånluftsdonet är placerat längst bak i salen, högt upp på väggen till vänster i figur 3.2.

Ventilationssystemet ska vara aktivt på dagen under verksamhetstid, men avstängt nattetid och under helger. Tider som ventilationssystemet ska vara aktivt specificeras i rumsfunktionsprogrammet (RFP:n) som togs fram inför ombyggnationen. I RFP:n specificeras att ventilationssystemet i SB-H1 ska vara aktivt 07.00-17.00 under vanliga veckodagar och 07.00-21.00 under tentamensveckor (internt dokument, Chalmersfastigheter AB 2016).

Det arbetas med att ventilationssystemet ska aktiveras via ett bokningssystem, och vara avstängt så länge det inte finns någon bokning på salen, men detta system är inte i bruk ännu enligt Åsa Östlund från Chalmersfastigheter AB och Jan Henningsson från Akademiska hus AB (personlig kommunikation, 4 april 2017).

På dagtid ventileras salen med ett grundflöde på $0,35\text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ om ingen verksamhet sker i salen. En närvarogivare är placerad vid entrédörrarna i salen som ska registrera om verksamhet påbörjas och då aktivera ett större ventilationsflöde i salen.

Radiatorerna och konvektorerna saknar lokalt styrsystem medan värmeslingorna i väggen och ventilationen styrs utifrån temperaturgivare. Värmeväggen styrs både av utetemperaturen och av en temperaturgivare som är placerad längst bak i salen, ungefär i huvudhöjd. Utetemperaturen påverkar på det sätt att om det är kallt ute (kallare än 5°C) kommer värmeväggen att vara aktiv för att undvika kallras även om det inte finns ett värmebehov i salen.

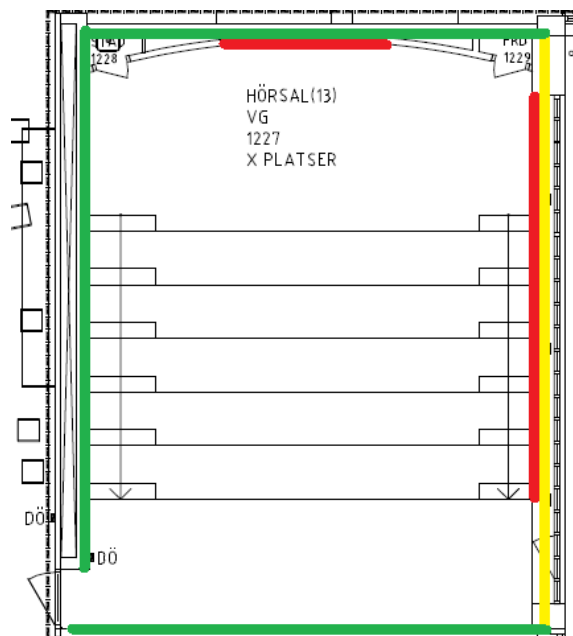
Ventilationsflödet och ventilationstemperaturen styrs av en temperaturgivare i frånluftskanalen. Både denna givare och temperaturgivaren inne i salen är inställda på börvärdet $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ så länge utetemperaturen är lägre än $18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

I frånluftskanalen finns det även en koldioxidgivare vilken reagerar om koldioxidhalten överstiger 1000 ppm. Om detta inträffar är denna givare överordnad temperaturgivaren i kanalen och då styrs ventilationen med huvudsyfte att minska koldioxidhalten till en nivå under gränsvärdet på 1000 ppm.

3.2.1.3 SB-H5 - utformning och byggnadsteknik

SB-H5 är en av de mindre hörsalarna i SB-huset med 72 sittplatser fördelade över sju bänkrader. Salen är sluttande och har tre innerväggar samt en yttervägg vilken har ett fönsterband av höga fönster längs hela väggen.

Längst fram i salen finns det en radiator placerad bakom tavelpanelerna och under fönsterbandet i ytterväggen finns det totalt tre radiatorer fördelat längs med ytterväggen. Figur 3.3 visar utformningen av salen och radiatorernas placering med färger. Köldbryggor som kan finnas i salen är framför allt fönsterbandet.



Figur 3.3: Ritning över SB-H5 med grön markering för innerväggar, gul för fönster och röd för radiatorer.

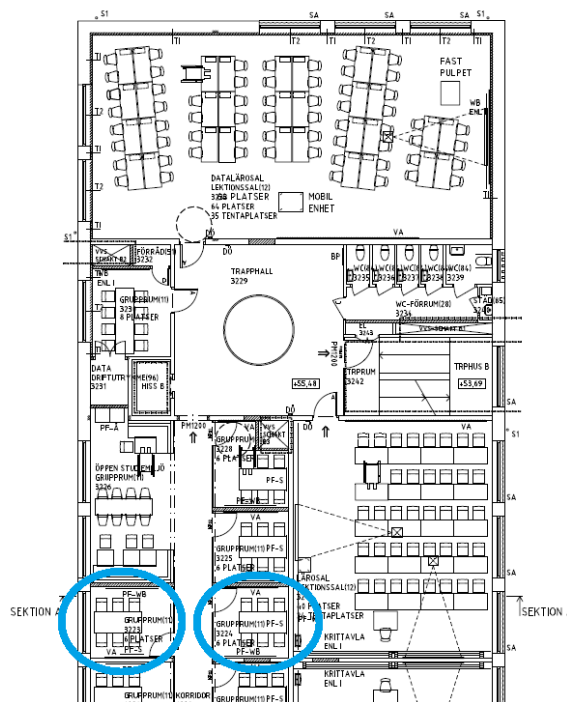
3.2.1.4 SB-H5 - ventilationssystem och styrning

Precis som i SB-H1 är det i SB-H5 placerat tilluftsdon under varje säte, på alla bänkrader utom sista raden. I denna sal bör tilluften ha en temperatur på 18°C medan flödet kan variera. Två frånluftsdon finns i taket ovanför den sista bänkraden.

Även i denna sal ska ventilationssystemet vara helt avstängt nattetid och under helger men aktivt dagtid, med samma tider som gäller för SB-H1 enligt RFP:n. Även i SB-H5 finns det också en närvarogivare som aktiverar behovsstyrd ventilation under de aktiva timmarna och ventileras annars endast med ett grundflöde på $0,35 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$. Däremot regleras flödet av varmvatten i radiatorerna och flödet av ventilationsluft utifrån vad två olika temperaturgivare visar, istället för utifrån en temperaturgivare som finns i SB-H1. Dessa två är placerade i huvudhöjd längst bak i salen respektive längst fram i salen, till vänster om tavlorna, och i denna sal är börvärdet till dessa båda givare inställt på 21°C .

3.2.2 Grupprummen

De två grupprum som mätningar har genomförts i ligger på våning 3 i SB-huset och är markerade i figur 3.4. SB-G305 är rummet till höger i figuren, mitt i byggnaden, medan SB-G311 är rummet till vänster i figuren, längs med en yttervägg.



Figur 3.4: Ritning över halva SB-husets våning 3 med markeringar för de grupprum där mätningar utfördes.

3.2.2.1 Utformning och byggnadsteknik

Grupprum SB-G305 består som visat i figur 3.4 endast av innerväggar. Tre av väggarna delar innerväggar med andra utbildningslokaler och den fjärde väggen som vetter ut mot korridoren består av ett stort fönster samt en dörr. Rummet är dimensionerat för sex personer och uppvärmning sker genom internlaster i rummet och ventilationsluften.

Grupprum SB-G311 är mycket likt rum 305 men med skillnaden att det består av en yttervägg med ett stort fönster i samt att det finns en radiator under fönstret, för att kompensera för köldbryggan som fönstret utgör. Rummet har i övrigt likadana innerväggar och är även detta dimensionerat för sex personer.

3.2.2.2 Ventilationssystem och styrning

Grupprummen ventileras precis som hörsalarna av ett FTX-system som inte tar hänsyn till fukt. Detta system, som är placerat på våning 6, omfattar hela SB-

husets plan 2 till och med plan 5, och består av två hopkopplade fläktar vilka kan aktiveras samtidigt när behov finns.

I grupprummen finns det ett tilluftsdon i taket i vardera rum, vilket är ett *TTC - aktivt taktilluftsdon* från Lininvent. I ett sådant don finns det temperaturgivare, närvarogivare, kanaltemperaturgivare, kanaltryckgivare och flödesgivare som är till för att anpassa ventilationen till behovet enligt Lindinvent AB (2017).

Lindinvent-donen är stängda när ingen aktivitet sker i grupprummen men aktiveras av närvarogivaren, givet att ventilationssystemet är igång. Därefter styrs flödet av tilluft utifrån temperaturgivaren medan kanaltryckgivaren och flödesgivaren reglerar öppningen där tilluften strömmar ut så att trycket och hastigheten på tilluften är konstant. Ett konstant tryck och konstant lufthastighet är önskvärt för att undvika drag och för att luftrörelserna ska vara likadana alltid och därmed bidra till en tillräcklig omsättning av luft i rummen.

Tilluften i grupprummen bör vara 18°C under vintertid medan börvärdet är inställt på 21°C . Tilluftsflödet är konstant tills dess att temperaturen överstiger 23°C , då tilluftsflödet ökar. Något frånluftsdon finns inte i grupprummen men däremot finns det ett spjäll ovanför dörren ut till korridoren, där luft flödar ut. Frånluftsdon finns sedan ute i båda trapphusen på vardera sida av huset.

Ventilationssystemet för SB-husets plan 2-5 ska vara på under vardagar 7.00-21.00 och helger 10.00-18.00 men 7.00-23.00 under tentamensveckor, enligt RFP:n. Utanför dessa tider kan ventilationssystemet startas under två timmar åt gången med hjälp av en knapp i trapphuset på varje våning.

3.3 Målsättning vid ombyggnationen

När en ombyggnation sker kan det vara flera olika riktlinjer att gå efter. Vad som projekteras efter kan bero på hur dessa riktlinjerna är definierade.

Vid ombyggnationen av SB-huset 2016 gällde riktlinjer som hyresgästerna Chalmersfastigheter AB har tagit fram enligt Bengt Bergsten från Chalmersfastigheter (personlig kommunikation, 7 februari 2017). Med ombyggnationen var även ambitionen att uppnå utmärkelsen Miljöbyggnad silver enligt projektledarna från både Chalmersfastigheter och fastighetsägarna Akademiska Hus (personlig kommunikation, 4 april 2017). Dessa två riktlinjer presenteras nedan.

3.3.1 Riktlinjer Chalmersfastigheter

Riktlinjerna som är framtagna av Chalmersfastigheter utgår från VVS-tekniska föreningens riktlinjer som är beskrivna i avsnitt 2.2.2 men är modifierade efter lokalerna.

Dock är vistelseszonen definierad något enklare än i de nationella riktlinjerna, nämligen *"vistelseszonen är 0,6m från alla väggar samt till 1,8m över golvet"*. Ytterligare en skillnad är att i Chalmersfastigheters riktlinjer är det inte definierat för vilken typ av lokaler värdena gäller för.

3.3.1.1 Operativ temperatur, golvtempertur och lufthastigheter

Chalmersfastigheter har som riktvärde att den operativa temperaturen ska vara i intervallet 20°C till 24°C , men är optimal vid 22°C . Det finns även ett minimikrav på 21°C för lufttemperaturen vilket gäller under arbetstid i vistelseszonen. Detta innebär att den operativa temperaturen får vara en grad kallare än lufttemperaturen.

I riktlinjerna från Chalmersfastigheter finns det inga speciella rekommendationer gällande golvtempertur eller andra yttemperaturer. Däremot finns det riktvärden kring att lufthastigheter i vistelseszonen bör vara lägre än 0,18 m/s under vintersäsong och under 0,22 m/s under sommarsäsongen.

Jämförs dessa riktlinjer med de nationella riktlinjer som beskrevs i avsnitt 2.2.2 ses att den operativa temperaturen är inom samma temperaturområde. Däremot finns det i de nationella riktlinjerna ingen rekommendation för lufttemperatur, endast för operativ temperatur. Riktlinjerna från Chalmersfastigheter för lufthastigheter är strängare i de nationella kraven under vintersäsong men under sommarsäsong är det tvärtom.

3.3.1.2 Relativ luftfuktighet

Chalmersfastigheter saknar riktlinjer för luftfuktighet. Detta är troligen för att det hade behövts ett fuktnings- och avfuktningssystem för att ha möjlighet till att reglera luftfuktigheten i ett rum. Sådana system är kostbara och finns normalt inte i lokaler där inte särskilda aktiviteter utförs.

3.3.2 Miljöbyggnad silver

Om SB-huset ska uppnå Miljöbyggnad silver finns det flera olika krav på inomhusmiljön och de flesta kraven bygger på de nationella riktlinjer som presenterades i avsnitt 2.2.2. Ett ytterligare krav för termiskt klimat är dock att det krävs ett PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) på mindre än 15%, Sweden Green Building Council (2012). Detta innebär att färre än 15% av brukarna ska vara missnöjda med det termiska klimatet i lokalen. Dock utförs denna kontroll inte med en enkätundersökning utan genom att sambandet mellan PPD och antingen simulerade eller uppmätta värden beräknas. Mätningen eller simuleringen ska ske två år efter att ombyggnaden

tionen är klar för att se om byggnaden klarar kraven. I denna studie har detta inte beräknats och därför sker ingen jämförelse med kraven från Miljöbyggnad silver.

4

Metod

Metoden för arbetet har huvudsakligen varit en mätstudie men även en enkätundersökning har utförts för att kunna besvara alla frågeställningar. I enlighet med Örebrometodens trestegsstrategi kartlades problemen först som beskrivet i kapitel 1.5. Kartläggningen var underlag för enkäten och för utformning av mätstudien. Detta kapitel presenterar hur enkätundersökningen och mätstudien utfördes och med vilka instrument, samt korta redogörelser om varför.

4.1 Enkätundersökningen

Enkätundersökningen syftade till att dokumentera och kvantifiera den allmänna uppfattningen om inneklimatet i SB-huset, hos studenterna som vistas i dessa salar. Enkätundersökningen utfördes tillsammans med kandidatgruppen Erntoft et al. (2017) och delar av resultatet presenteras enbart i deras rapport.

Enkäten lämnades ut under februari 2017 i pappersform i samband med föreläsningar för de klasser som främst vistas i SB-huset, och samlades in direkt efter ifyllnad. Totalt lämnades ungefär 370 enkäter ut och i princip alla enkäter besvarades. De föreläsningar som enkäten lämnades ut till var studenter som tillhör följande program i första hand:

- Samhällsbyggnadsteknik, 180hp årskurs 1
- Samhällsbyggnadsteknik, 300hp årskurs 1
- Arkitektur och teknik, 300hp årskurs 1
- Samhällsbyggnadsteknik, 180hp årskurs 2
- Samhällsbyggnadsteknik, 300hp årskurs 2
- Affärsutveckling och entreprenörskap inom samhällsbyggnadsteknik, 180hp årskurs 2
- Byggingenjör, 180hp årskurs 3
- Väg- och vattenbyggnadsteknik, 300hp årskurs 3

Enkäten utformades med visst stöd från den standardiserade enkäten **MM 040 NA Kontor** av Andersson, Stridh, Fagerlund och Aslaksen (2012) som är framtagen i enlighet med Örebromodellen, men bestod bara av de delar som passar in

i denna undersökning. Det finns heller ingen standardiserad enkät för universitet och högskolor inom Örebromodellen vilket gjorde att en anpassad enkät var nödvändig.

Enkäten inleddes med en fråga om besvär har upplevts av sju olika klimatfaktorer de senaste tre månaderna. Vidare frågades det om det allmänna intrycket av temperaturförhållandena och luftkvaliteten samt när studenterna upplever problemen, om de upplever problem. Enkäten avslutades med en fråga om studenten upplever att inneklimatet i SB-huset påverkar hens studieförmåga. Enkäten bifogas i bilaga A.

4.2 Mätningarna

Mätningarna i hörsalarna och grupprummen utfördes i SB-huset under februari och mars månad 2017. Målet med mätningarna var att dokumentera hur det termiska klimatet är och hur det varierar på olika sätt. Därför har mätningarna utgått från de vanligaste verksamheter som bedrivs i lokalerna som beskrevs i avsnitt 3.1, och utförts samtidigt som verksamhet bedrevs i lokalerna.

Även mätningarna utfördes gemensamt med Erntoft et al. (2017) för att praktiskt underlätta dem och för att kunna koppla resultaten till varandra. I denna rapport presenteras dock enbart den metod och de resultat som är relevanta för frågeställningarna i detta arbete och som kan kopplas till termiskt klimat.

För att uppnå ett mer trovärdigt och verklighetsbaserat resultat utfördes minst tre mätningar i varje lokal. Mätningarna utfördes med fyra olika mätinstrument och det som mättes i lokalerna var:

- Lufttemperatur
- Till- och frånluftstemperatur
- Yttemperaturer
- Lufthastighet
- Relativ luftfuktighet
- Operativ temperatur

På morgonen innan, och på eftermiddagen efter, varje mätning som utfördes mättes även lufttemperaturen samt den relativa fuktigheten utomhus för att kunna jämföra resultaten i salarna med uteklimatet.

4.2.1 Mätinstrument

För att uppnå så bra mätresultat som möjligt är det viktigt att förstå hur mätinstrumenten fungerar och vad som är det optimala driftområdet till instrumentet. Detta avsnitt syftar till att presentera de mätinstrument som användes i mätundersök-

ningen. Alla mätinstrumenten som presenteras nedan är kalibrerade av avdelningen för installationsteknik på Chalmers.

4.2.1.1 Temperatur och fuktmätare EASY_{LOG} 24RFT

EASY_{LOG}24EFT är ett mätinstrument som loggar lufttemperatur och relativ fuktighet. Driftområdet som den klarar av att mäta är mellan -25°C och 60°C och för relativ luftfuktighet är mätområdet mellan 0% och 100% relativ fuktighet enligt Greisinger (2017). Noggrannheten i instrumentet är en halv grad Celsius för lufttemperaturen och felet är mindre än 3% för relativ fuktighet när den är i spannet 11-90% RF. Den redovisar resultatet med en decimal för både temperatur och relativ fuktighet.

Loggningsintervallet kan varieras från fyra sekunder upp till fem timmar. Under en mätning kan EASY_{LOG}24EFT lagra 48 000 värden, som motsvarar 500 dagar om den ställs in på att logga var femtonde minut. Efter loggningsperioden är över kan datan föras över till en dator och tabeller samt diagram över perioden kan sparas. Under mätningarna i denna undersökning ställdes loggarna in på att logga ett mätvärde per minut.

4.2.1.2 Dragmätare SwemaAir300

SwemaAir 300 användes för att mäta lufthastighet men kan även mäta lufttemperatur, relativ luftfuktighet och luftflöde enligt Swema AB (2017b). Luften passerar genom två små hål längst ut på ett långt rör som är kopplad till en handhållen mätare. Noggrannheten vid låga lufthastigheter, under 1,0 m/s, och 23°C är $\pm 0,03$ m/s. Driftområdet till mätaren är mellan 0°C och 50°C .

4.2.1.3 IR-pistol DT8380

En IR-pistol används för att mäta yttemperaturer. Den används genom att sikta på en yta med en infraröd ljusstråle och temperaturen kan avläsas från skärmen på pistolen. Instrumentets temperaturområde är mellan -30°C och 900°C enligt Topac Inc (2017). Noggrannheten i pistolen är 0,75% och den redovisar resultatet med en decimal noggrannhet. Den fungerar optimalt när lufttemperaturen är i intervallet $0 - 50^{\circ}\text{C}$ och den relativa fuktigheten är mellan 10% och 95% RF.

4.2.1.4 Glob temperaturmätare Swema 05

För att mäta den operativa temperaturen användes en svart glob temperaturmätare. Den fungerar liknande som temperatur- och fuktloggarna och kan användas för att

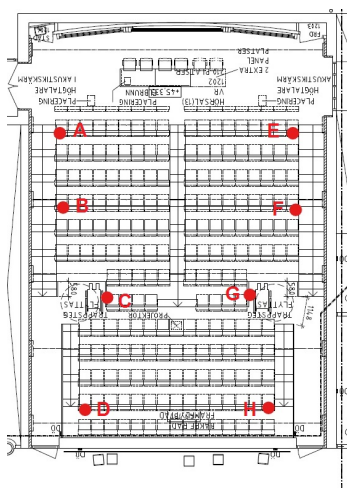
logga under en längre period med valfritt mätintervall enligt Swema AB (2017a). Driftområdet till mätaren är mellan 0 och 50°C med en mätsäkerhet på 0,1°C.

4.2.2 Mätning utförande i hörsalarna

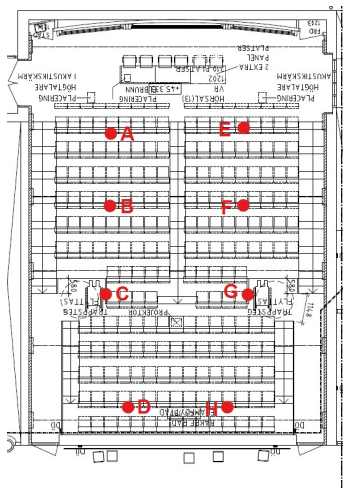
I hörsalarna utfördes mätningar under dagar då det bedrevs verksamhet i minst sex timmar. Antalet studenter som var i hörsalen dokumenterades och lufttemperaturen samt luftfuktigheten utomhus registrerades på morgonen innan, och på eftermiddagen efter, mätningarna i salen utfördes.

4.2.2.1 Lufttemperatur och luftfuktighet

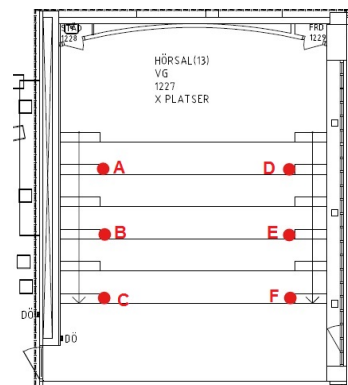
För att registrera det klimat som studenterna upplever i hörsalarna placerades temperatur- och fuktloggarna på bänkraderna i den höjd där studenterna sitter. Loggarna placerades på flera olika bänkrader i salen samt på olika ställen på samma bänkrad, för att dokumentera hur klimatet varierar i salarna. Hur loggarna placerades i hörsalarna vid mätning under föreläsningar kan ses i figur 4.1 och figur 4.3. För att loggarna inte skulle påverkas av en enskild students värme- och fuktavgivning sågs det till att sittplatsen där loggarna befann sig var tom under mätningen.



Figur 4.1: Placering av temperatur- och fuktmätare i hörsal SB-H1.



Figur 4.2: Placering av temperatur- och fuktmätare i hörsal SB-H1 vid mätning under tentamen.



Figur 4.3: Placering av temperatur- och fuktmätare i hörsal SB-H5.

I SB-H1 utfördes även mätningar under tentamensskrivningar. Detta utfördes inte i SB-H5 då denna hörsal inte användes för tentamensskrivningar i läsperioden då mätningarna utfördes. Mätningarna under tentamen utfördes likadant som de

andra mätningarna i salarna med enda skillnaden att loggarnas position ändrades lite som kan ses i figur 4.2. Detta på grund av hur studenterna behövde sitta under skrivningen.

Det placerades även enlogg vid ett tilluftsdon i båda salarna och i SB-H5 fästes två loggar i var sitt frånluftsdon. Frånluftsdonet i SB-H1 är placerat så högt upp att en mätning vid detta var svårt att lösa praktiskt.

I SB-H5 utfördes även en mätning på tilluften. Detta utfördes för att kontrollera antagandet om samma tilluftstemperatur i hela hörsalen. Mätningen utfördes på fyra tilluftsdon i salen där loggarna var placerade på bänkraden längst fram i salen samt på näst sista bänkraden. Mätningen utfördes under en halvdag när det var föreläsning de två första timmarna och sen stod salen tom i två timmar.

4.2.2.2 Yttemperaturer

Yttemperaturer mättes i salarna vid morgon, lunch och eftermiddag samtidigt som fukt- och temperaturloggarna mätte. De ytor som temperaturen mättes på var vägg, golv, tak och bänk då dessa ytor troligtvis påverkar en sittande student med temperaturutstrålning mest. För att kunna jämföra yttemperaturerna med lufttemperaturen valdes att mäta ytor som fanns vinkelrätt av de positioner där loggarna var placerade.

4.2.2.3 Lufthastigheter

Lufthastigheter mättes vid några olika tillfällen i de båda salarna utanför verksamhet. Lufthastigheter mättes på samma positioner som temperatur- och fuktloggarna var placerade och i de höjder som studenter vistas. Mätningar utfördes i bänkhöjd samt i höjd med benen för en sittande student.

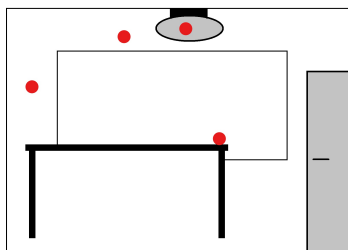
4.2.2.4 Operativ temperatur

För att se hur den operativa temperaturen och lufttemperaturen skiljer sig åt i SB-H1 utfördes en mätning där de två parametrarna mättes på samma position på samma tidpunkt. Mätningen utfördes en eftermiddag samtidigt som verksamhet i salen pågick. Position i hörsalen där mätningen genomfördes var position A, se figur 4.1. Denna position valdes då redan utförda mätningar visade att detta är den kallaste positionen i salen och då kalla yttemperaturer funnits i närheten av denna position, vilket kan läsas mer om i kapitel 5.

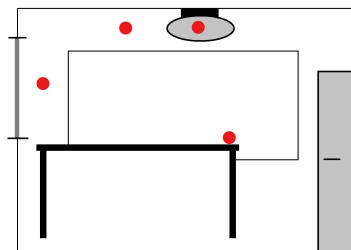
4.2.3 Mätning utförande i grupprummen

Mätningarna i de två olika grupprummen utfördes samtidigt för att resultaten mellan rummen ska kunna jämföras. Mätningarna i grupprummen genomfördes med två olika fall: ett fall när grupprummet utnyttjas till full kapacitet, dvs sex personer i rummet, och ett fall när det endast vistades två personer i rummet. Alla mätningar genomfördes med stängd dörr i fyra timmar följt av en timme med öppen dörr och sedan fyra timmar med stängd dörr igen, för att försöka illustrera en vanlig arbetsdag med en timmes lunch.

I grupprummen placerades temperatur- och fuktloggarna enligt figur 4.4 och 4.5, dvs vid tilluftsdonet, i taket, i huvudhöjd samt på bordet. Placeringarna valdes för att mäta skillnader mellan lufttemperaturen på olika positioner i rummen.



Figur 4.4: Placering av temperatur- och fuktmätare i grupprum SB-G305.



Figur 4.5: Placering av temperatur- och fuktmätare i grupprum SB-G311.

Yttemperaturer, lufthastigheter samt en operativ temperatur mättes i rummen på samma sätt som vid hörsalsmätningarna, se avsnitt 4.2.2. Operativ temperatur mättes dock endast i SB-G305.

5

Resultat

I detta kapitel presenteras resultatet av enkätundersökningen och de mätningar som utfördes. De resultat som presenteras är ett representativt urval av det totala resultatet och med fokus på det som kan vara intressant att diskutera utifrån frågeställningarna. Ytterligare resultat presenteras i bilaga B, C, D och E.

5.1 Enkätundersökningen

Enkätundersökningen utfördes som beskrevs i avsnitt 4.1 och resulterade i totalt 363 enkätsvar som sammanställdes utifrån kategorierna kön och antagningsår. Svarsfrekvensen på frågorna utifrån kön och antagningsår finns i bilaga B. Enkäten var som beskrivet uppdelad mellan hörsalar och grupprum men avslutades med en sammanfattande fråga hurvida man ansåg att ens studieförmåga påverkas av inneklimatet i SB-huset. På denna fråga var det 341 personer som svarade och resultaten blev enligt tabell 5.1.

Tabell 5.1: Andel personer som anser att SB-husets inneklimat påverkar deras studieförmåga

Antagningsår	2014 eller tidigare			2015			2016			Totalt			Totalt
Kön	Man	Kvinna	Ej kön	Man	Kvinna	Ej kön	Man	Kvinna	Ej kön	Man	Kvinna	Ej kön	
Ja	58%	80%	60%	65%	81%	0%	42%	77%	33%	51%	79%	53%	65%
Nej	42%	20%	40%	35%	19%	100%	58%	23%	67%	49%	21%	47%	35%

Som kan ses så anser fler än hälften av de studenter som deltog i undersökningen att deras studieförmåga påverkas av SB-husets inneklimat. Värt att nämna är att frågan kunde tolkas på olika sätt och att det inkom kommentarer kring att frågan var ottydligt ställd. Relevansen av resultatet på denna fråga kan alltså ifrågasättas men med detta i baktanke kan resultatet ändå ge en indikation på studenternas åsikter.

En del av enkäterna innehöll kompletterande kommentarer, och några exempel på dessa kommentarer är:

"Blivit att jag hellre pluggar hemma ensam än med kompisar i skolan".

"Klart inneklimat påverkar. Dåligt formulerat".

"Det är för kallt och då trivs jag inte."

"Nej vi är för känsliga bara"

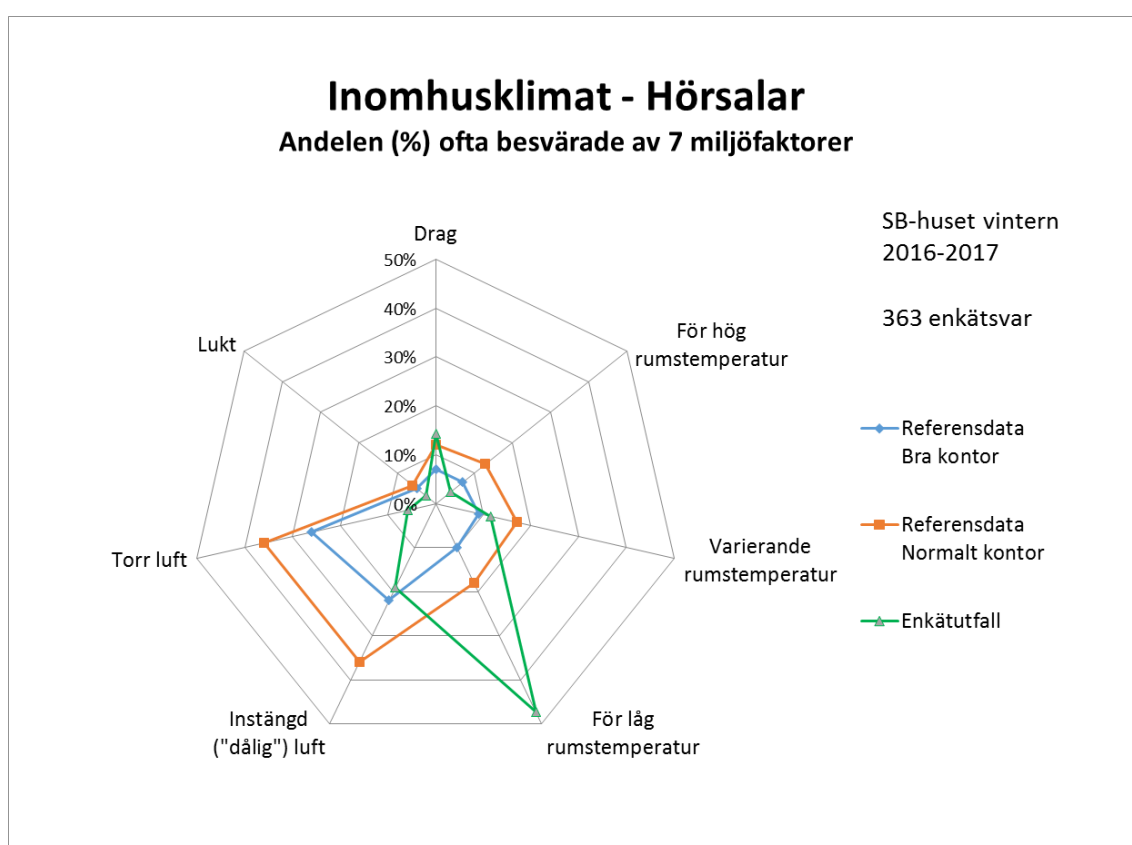
"Med tanke på att det just är ombyggt är mina "acceptabla" svaga".

5.1.1 Hörsalar i SB-huset

Alla som besvarade enkäten fyllde i frågorna om hörsalar. Resultatet på frågorna kopplade till hörsalar grundas alltså på 363 svar.

5.1.1.1 Besvärande innemiljöfaktorer

I figur 5.1 presenteras andelen procent som ofta känt besvär av olika miljöfaktorer i SB-husets hörsalar, i ett rosdiagram tillsammans med referensvärden för bra kontor och ett normalt kontor, hämtade från manualen till **MM 040 NA Kontor** av Andersson et al. (2012). Resultatet indikerar att det finns problem med för låga rumstemperaturer och drag i SB-husets hörsalar men att det inte finns problem med för höga rumstemperaturer eller luftkvalitet.

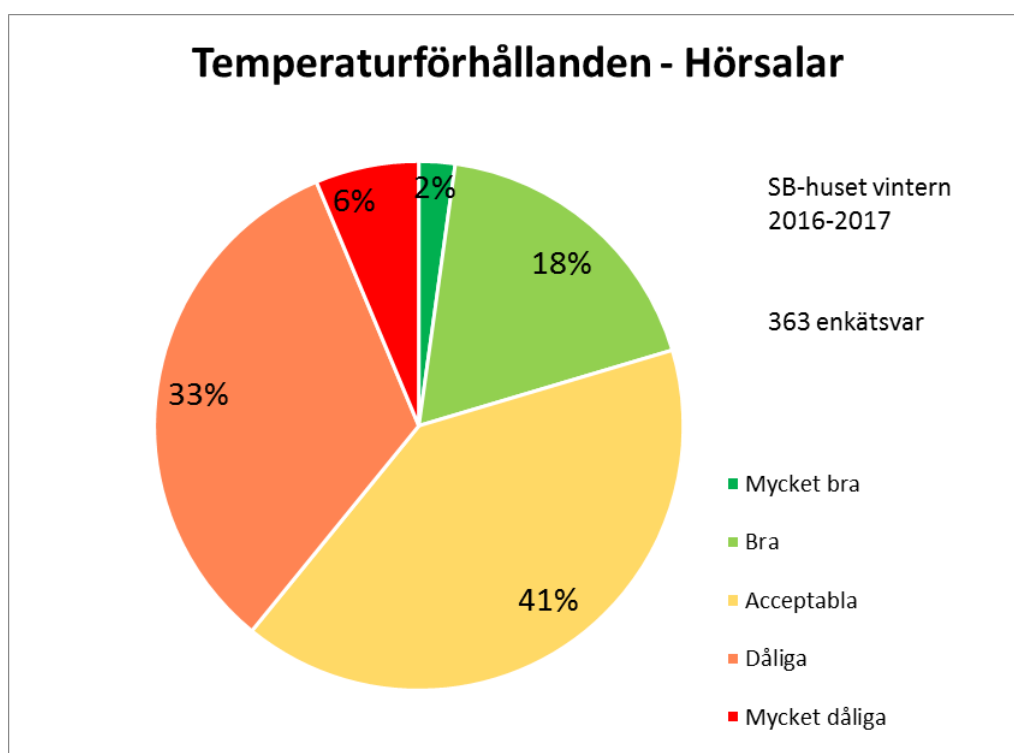


Figur 5.1: Andel personer som ofta har känt sig besvärade av olika miljöfaktorer i SB-husets hörsalar under vintern 2016-2017, tillsammans med referensvärden.

Undersökningen visade även tydligt på att fler kvinnor än män känner sig besvärade av låga temperaturer och drag och att studenter med antagningsår 2015 upplevde mer besvär av dessa faktorer än studenter med andra antagningsår. Dessa resultat kan studeras i bilaga B.

5.1.1.2 Temperaturförhållanden

Den allmänna uppfattningen av temperaturförhållandena i SB-husets hörsalar illustreras i figur 5.2. Som kan ses anser nästan två femtedelar att temperaturförhållandena är dåliga eller mycket dåliga och endast en femtedel anser att de är bra eller mycket bra. Resterande två femtedelar anser att temperaturförhållandena är acceptabla.



Figur 5.2: Allmänna uppfattningen om temperaturförhållanden i hörsalar i SB-huset.

Även på denna fråga var skillnaderna stora mellan kvinnor och män och de som har antagningsår 2015 och de med andra antagningsår. Skillnad på svaren mellan olika antagningsår kan bero på att studenterna med antagningsår 2015 nästan enbart vistas i hörsal SB-H1 enligt flera kommentarer som inkom i samband med denna fråga. I övrigt inkom det även flera kommentarer kring att SB-H1 är kall och att SB-H1 är värre än de andra hörsalarna vilket kan vara en anledning till skillnaderna i resultat mellan olika antagningsår.

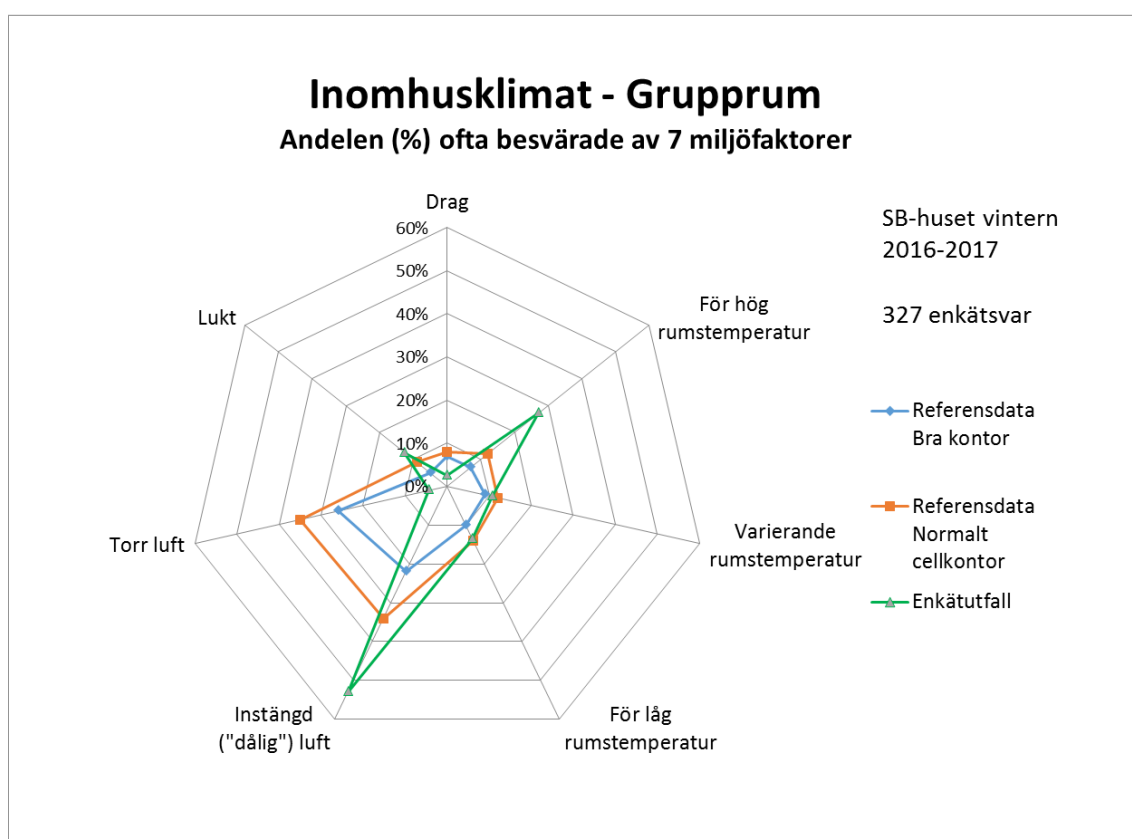
5.1.2 Grupprum i SB-huset

På frågorna som handlade om grupprum var svarsfrekvensen något lägre än för hörsalar. Frågorna angående inneklimatet resulterade i 327 svar och de om temperaturförhållande resulterade i 324 enkätsvar.

5.1.2.1 Besvärande innemiljöfaktorer

Andelen studenter som ofta känt besvär av sju miljöfaktorer i grupprum under vintern 2016-2017 visas i figur 5.3. Resultatet presenteras i ett rosdiagram tillsammans med riktvärden för bra kontor och för ett normalt cellkontor, hämtade från manualen till **MM 040 NA Kontor** av Andersson et al. (2012).

Resultatet visar att mer än hälften upplever att grupprummen har instängd ("dålig") luft och att drygt en fjärdedel anser att det är för hög rumstemperatur. Resultatet visar dock att torr luft och drag inte ger några besvär i grupprummen enligt studenterna. Resultatet gällande instängd ("dålig") luft redovisas bättre, och analyseras, i kandidatrapporten om luftkvalitet, Erntoft et al. (2017).



Figur 5.3: Andel personer som ofta har känt sig besvärade av olika miljöfaktorer i SB-husets grupprum under vintern 2016-2017, tillsammans med referensvärden.

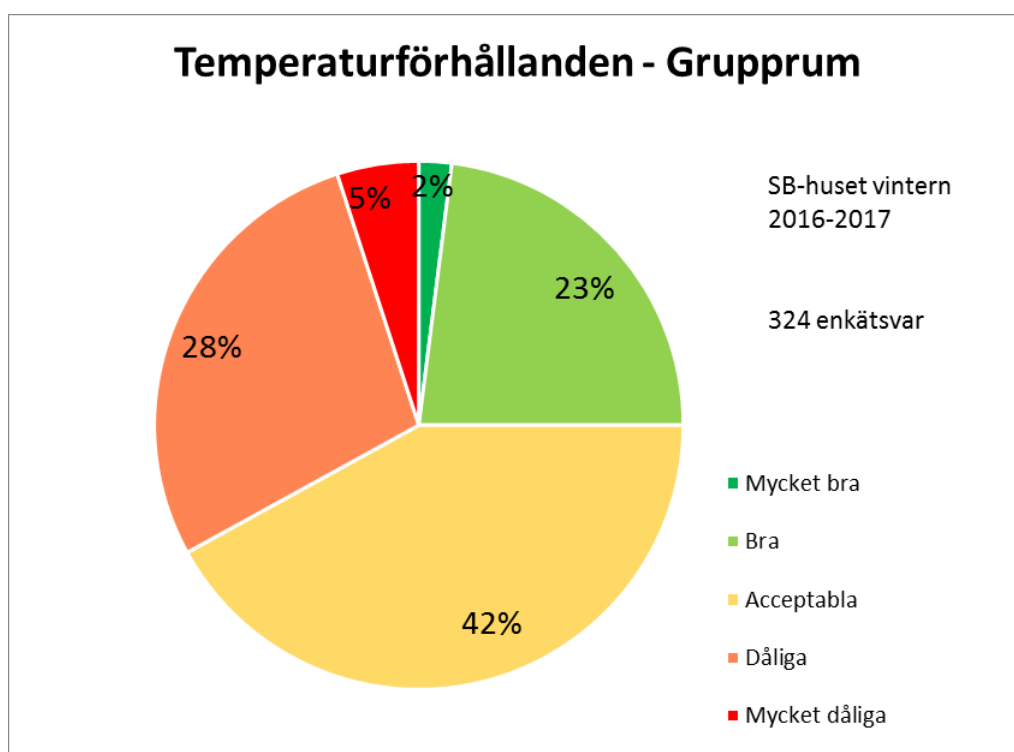
Enkätundersökningen illustrerar även att det är mycket liten skillnad i mäns

och kvinnors upplevelse av inneklimatet i grupprummen, till skillnad från resultatet i hörsalar. Även i antagningsår är det minimal skillnad mellan hur inneklimatet upplevs. Mer detaljer runt detta resultat kan studeras i bilaga B.

5.1.2.2 Temperaturförhållanden

Den allmänna uppfattningen om temperaturförhållanden i grupprummen i SB-huset illustreras i figur 5.4. Var fjärde student anser att temperaturförhållandena är bra eller mycket bra medan var tredje student anser att de är dåliga eller mycket dåliga. Resterande 42% anser att temperaturförhållandena är acceptabla.

Resultaten visar alltså att studenterna är lite mer positiva till temperaturförhållandena i grupprummen än i hörsalarna, men troligtvis kritiserar inte grupprummen av samma anledning som hörsalarna. Detta kan ses i figur 5.1 och figur 5.3 där det visas att andelen som ofta besvärar sig av hög respektive låg rumstemperatur är olika för de båda rummen.



Figur 5.4: Allmänna uppfattningen om temperaturförhållanden i grupprum i SB-huset.

Det är mycket liten skillnad mellan köns uppfattning om temperaturförhållanden i grupprum. Inte heller antagningsåret ser inte ut att påverka uppfattningen om temperaturförhållanden i grupprummen.

Flera av kommentarerna som kom in tillsammans med frågorna angående temperaturförhållande grupprummen på enkäterna var att grupprummen utan fönster

utåt är sämre. Det inkom även kommentarer om att grupprummen placerade högt upp SB-huset har sämre temperaturförhållanden än de på lägre våningar.

5.2 Mätningarna

Mätningarna i de olika lokalerna utfördes enligt kapitel 4. I detta avsnitt presenteras resultaten utefter de olika ventilationssystemen som beskrevs i kapitel 3 där hörsalen SB-H1 har ett ventilationssystem, SB-H5 har ett annat ventilationssystem och de båda grupprummen SB-G305 och SB-G311 har ett tredje system, som är gemensamt för alla grupprum och salar på våning 2-5.

Diagrammen som presenteras inom samma avsnitt, och representerar samma lokal, har samma skala på x-larna medan diagrammen mellan olika avsnitt kan vara skalerade på olika sätt för att bäst visa det som är intressant att notera. Som nämnts tidigare presenteras endast ett representativt urval av resultaten.

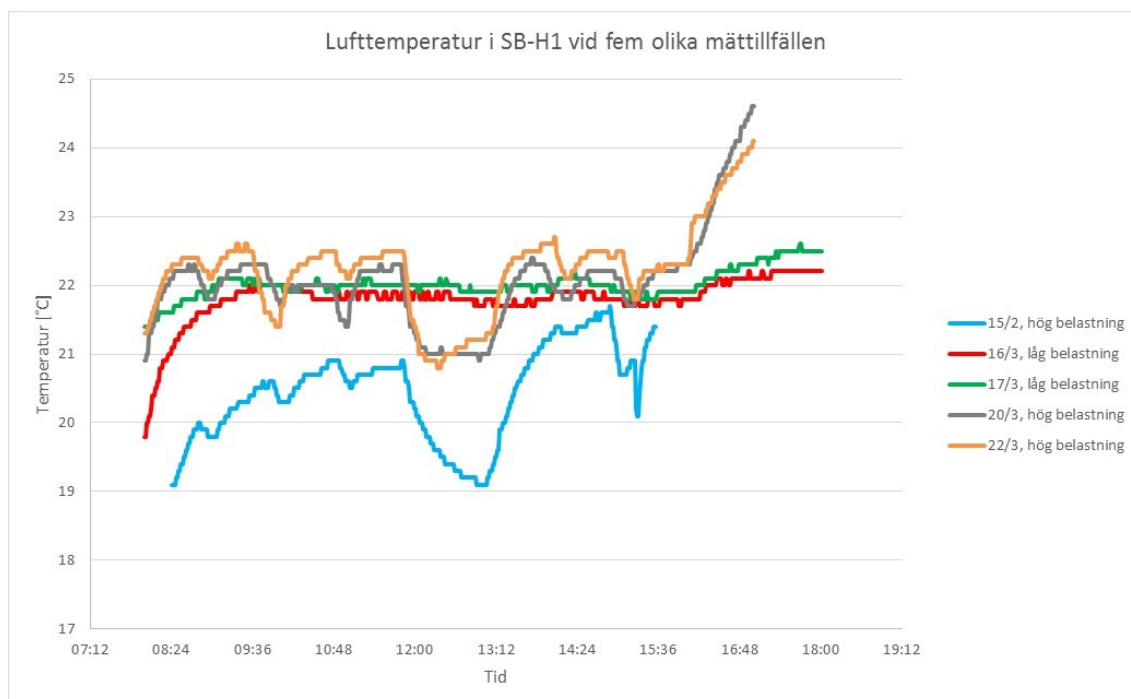
5.2.1 SB-H1

Totalt utfördes fem mätningar i SB-H1, enligt beskrivning i avsnitt 4.2.2. Tre av mätningarna genomfördes när hörsalen användes som föreläsningssal och var högt belastad medan två av mätningarna genomfördes under tentamen då salen var lågt belastad.

5.2.1.1 Lufttemperatur - variationer över dag och med olika belastningar

I figur 5.5 visas resultat från en logger på samma position från de fem olika mät-tillfällerna. Ur diagrammet syns en tydlig skillnad på hur lufttemperaturen varierar beroende på belastning. De dagar då det var låg belastning, vilket motsvarar färre än 30 personer som vistas samtidigt i hörsalen, var lufttemperaturen konstant kring 22°C hela dagen. När belastningen var hög, vilket motsvarar fler än 100 personer samtidigt i salen, varierar temperaturen mer och rasterna syns mycket tydligt i diagrammet.

Under tentamenstillfällerna pågick det tentamen mellan kl. 8.30-13.30 och kl. 14.00-18.00, där det som högst vistades 25 personer samtidigt i salen. Den 15/2 bedrevs det föreläsningar från kl. 8.00 till 15.00 med normala rasttider enligt avsnitt 3.1.1, föreläsningarna besöktes av mellan 100 och 180 studenter. Under de två sista mätningarna, 20/3 samt 22/3, bedrevs det föreläsningar hela dagen från kl. 8.00 till 17.00 med normala rasttider, som besöktes av 110 till 180 studenter. Exakta värden på utomhustemperatur och belastning kan ses i bilaga C.



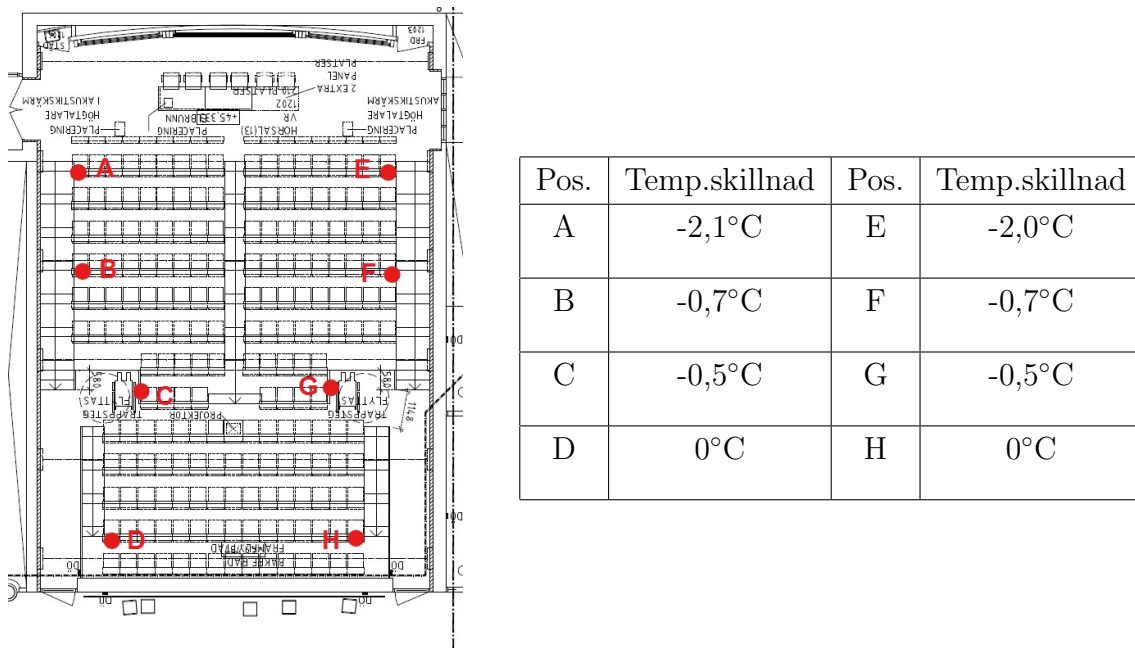
Figur 5.5: Lufttemperaturer på position C i SB-H1 vid fem olika mättillfällen med olika belastningsgrad. Låg belastning motsvarar färre än 30 personer i salen samtidigt och hög belastning motsvarar fler än 100 personer i salen samtidigt.

Anmärkningsbart med mätningarna är att ventilationen stängdes av varje dag vid 16:00 i hörsalarna. Detta visas även tydligt i figur 5.5 där alla grafer stiger efter klockan fyra. Även här är det skillnad mellan belastningsgrad där graferna för hög belastning stiger snabbare än graferna för låg belastning, vilket troligtvis beror på ett högre värmetillskott till luften av personerna i salen efter att ventilationen stängdes av.

Noterbart är att det även finns tydliga skillnader mellan graferna med samma belastningsgrad som troligen beror på utomhustemperaturen på mättidpunkten. Ur diagrammet ses att grafen för den 15/2 är ungefär 1-2 grader kallare än graferna för dagar med samma belastningsgrad. Den 15/2 var utomhustemperaturen runt 0°C hela dagen medan den 20/3 och 22/3 var utomhustemperaturen ungefär 5°C .

5.2.1.2 Lufttemperatur - variationer inom salen

I figur 5.6 visas de temperaturvariationer som kunde mätas upp på olika positioner i hörsalen. De olika positionerna är samma som beskrevs i avsnitt 4.2.2 men visas även i figur 5.6. Nollläget lades längst bak i salen vid temperaturgivaren, på position D och H, och lufttemperaturerna på de andra positionerna presenteras som ett avvikelse från nollläget.

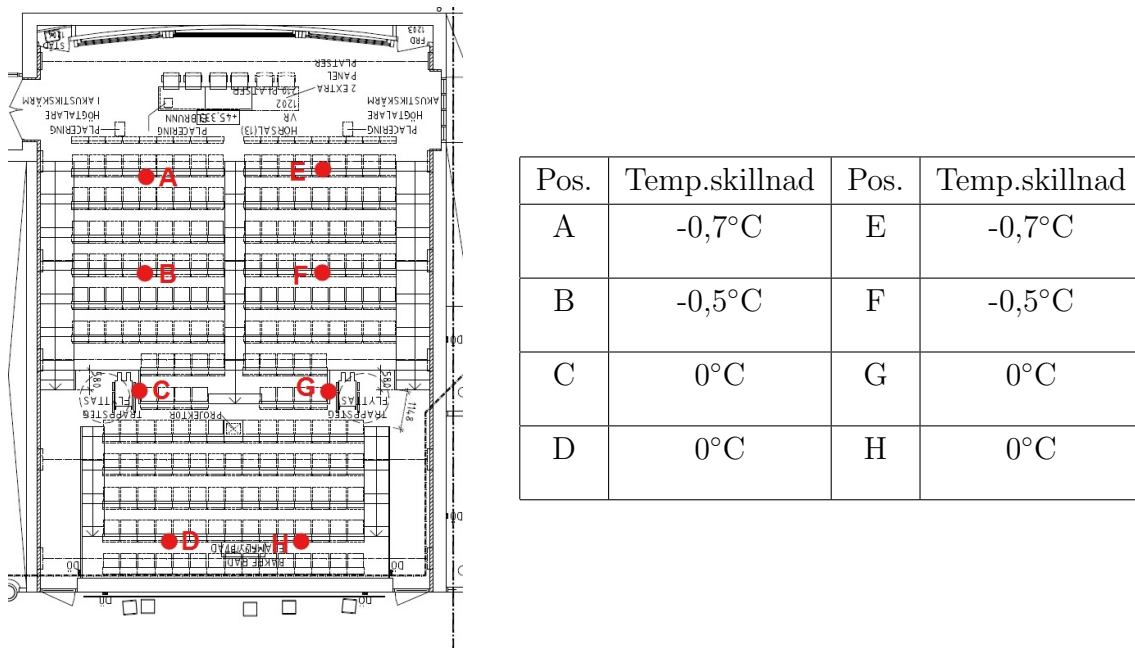


Figur 5.6: Variationer i lufttemperatur på olika positioner i salen vid hög belastning där nollläget är på position D och H, längst bak i salen. Den vänstra figuren är samma som figur 4.1.

Skillnaden mellan den uppmätt varmaste och kallaste positionen i hörsalen var $2,1^{\circ}\text{C}$ där den kallaste positionen i salen är längst fram till vänster närmast nödutgången, position A. På samma bänkrad är variationen mellan höger och vänster sida ytterst liten, den enda skillnaden är längst fram där vänstra sidan är lite kallare. Störst skillnad mellan bänkraderna är det längst fram och desto längre bak i salen desto mindre variation i lufttemperaturen.

Tilluftstemperaturen i hörsalen varierar under dagen beroende på om det är raster eller föreläsningar. Under föreläsningar ligger den konstant på 17,8-18,5°C men under raster stiger den till nästan 21°C. Diagram som visar skillnaderna inom salen på olika positioner finns i bilaga C.

Under tentamen var temperaturvariationerna i salen mindre än vid föreläsningar, vilket visas i figur 5.7. Den största uppmätta skillnaden i salen mellan olika positioner var $0,7^{\circ}\text{C}$. Även under tentamen är främsta raden den kallaste positionen i salen. Tilluftstemperaturen under tentamen låg konstant på 21°C vid båda mättillfällena. Diagram som visar skillnaderna inom salen på olika positioner finns i bilaga C.



Figur 5.7: Variationer i lufttemperatur på olika positioner i salen under tentamen där nollläget är på position D och H, längst bak i salen. Den vänstra figuren är samma som figur 4.2.

5.2.1.3 Yttemperatur

I hörsalen mättes yttemperaturen enligt avsnitt 4.2.2 men endast vid de tillfällen då det var hög belastning i salen. De flesta yttemperaturer låg mellan 20°C och 23°C , med undantag för nödutgångsdörren som vid alla mätningar hade en yttemperatur på mindre än 20°C .

Yttemperaturerna i salen var i princip konstanta under hela dagen, förutom när ventilationen stängdes av. När det inträffade steg alla yttemperaturer i salen med ungefär två grader. En tydlig skillnad mellan yttemperaturer längst fram i salen och längre bak kunde noteras vid alla mättillfällen.

Den 15/2, vilket var dagen med lägst utomhustemperatur, steg aldrig ytttemperaturerna längst fram i salen över 20°C . Yttemperaturer lägre än 18°C mättes dock inte upp vid något av de tre tillfällena om man bortser från nödutgången som kunde vara ännu kallare vid några tillfällen.

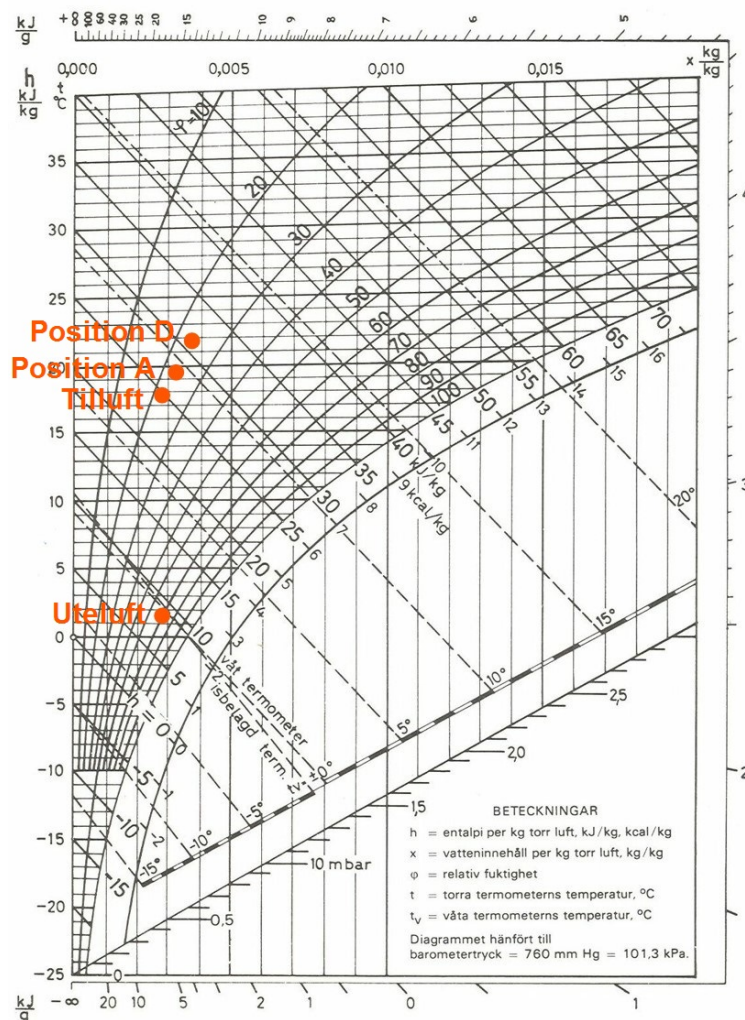
5.2.1.4 Lufthastighet

Lufthastigheter mättes på samma positioner i SB-H1 som lufttemperatur och luftfuktighet, dvs de som kan ses i figur 4.1. Alla lufthastigheter som mättes i bänkhöjd i salen var låga och var inte högre än 0,1 m/s. Även vid en sittandes students ben var lufthastigheten låg.

5.2.1.5 Luftfuktighet

Den relativa luftfuktigheten i SB-H1 visade sig vara i de lägre regionerna vid alla mätningar och låg i princip under alla mätningar mellan 20% och 40%. Under korta stunder vid ett av mättillfällena (15/2) visade några av loggarna en relativ fuktighet ner mot 18% medan mätvärdena från de andra mättillfällena visade värden mellan 25% och 40%. Skillnaderna i relativ fuktighet och absolut fuktighet inne i salen kunde tydligt kopplas ihop med den absoluta fuktigheten utomhus under mät dagen.

I figur 5.8 visas tillstånden för uteluften, tilluften samt rumsluften på två olika positioner i salen i ett Mollierdiagram. Värdena kommer från mätningen den 15/2 klockan 15.00 vilket var den kallaste och torraste av de dagar som mätningar utfördes på.

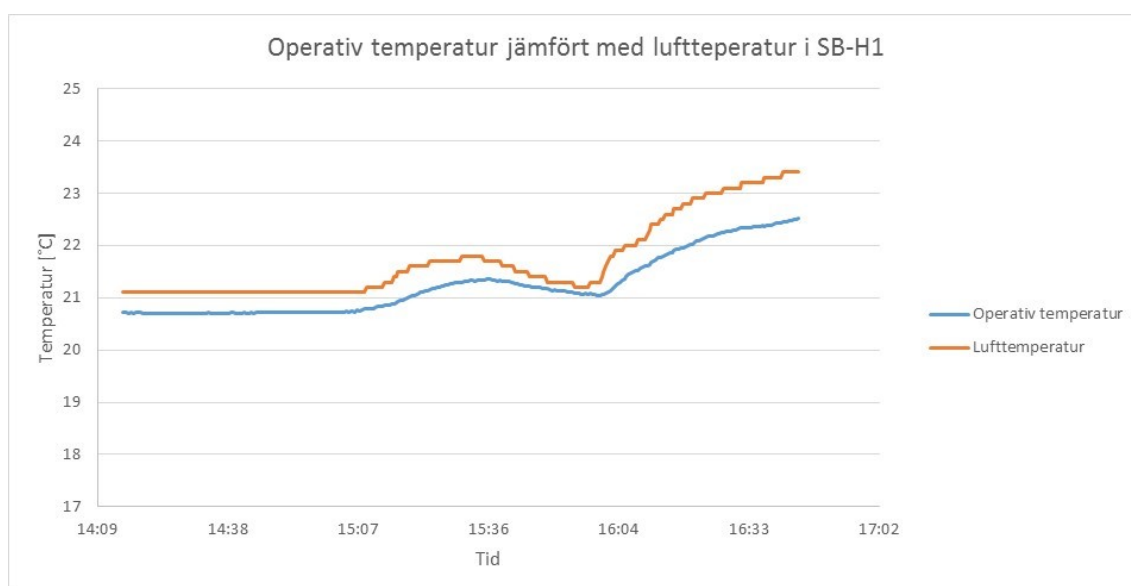


Figur 5.8: Mollierdiagram med markeringar för uteluften, tilluften och rumsluften på två olika positioner i SB-H1. Värdena kommer från mätning den 15/2 klockan 15.00 vilket var den kallaste och torraste mät dagen.

Ur Mollierdiagrammet kan ses att uteluften värms upp i ventilationssystemet innan den blåses in som tilluft i salen. Inne i salen värms luften upp ytterligare några grader samt får ett litet fukttillskott och dessa tillskott blir större desto längre bak i salen luften befinner sig. Värmen och fukttillskottet inne i salen beror troligvis på personerna som vistas i salen då det inte finns något annat mellan position A och D i salen som kan avge fukt. Alla andra mättillfällen visade ett liknande förhållande mellan uteluftens, tilluftens och rumsluftens tillstånd men med en liten förskjutning åt höger i Mollierdiagrammet på grund av en högre absolut fuktighet.

5.2.1.6 Operativ temperatur

På position A i SB-H1, se figur 4.1, mättes den operativa temperaturen tillsammans med lufttemperaturen vid en separat mätning, under en föreläsning. Den operativa temperaturen var under hela mätningen lägre än lufttemperaturen vilket visas i figur 5.9. Skillnaden mellan den operativa temperaturen och lufttemperaturen varierade något under mätningen men var i genomsnitt en halv grad. Läs mer om vad som skiljer operativ temperatur lufttemperatur åt i avsnitt 2.1 och om mätinstrumenten i avsnitt 4.2.1.



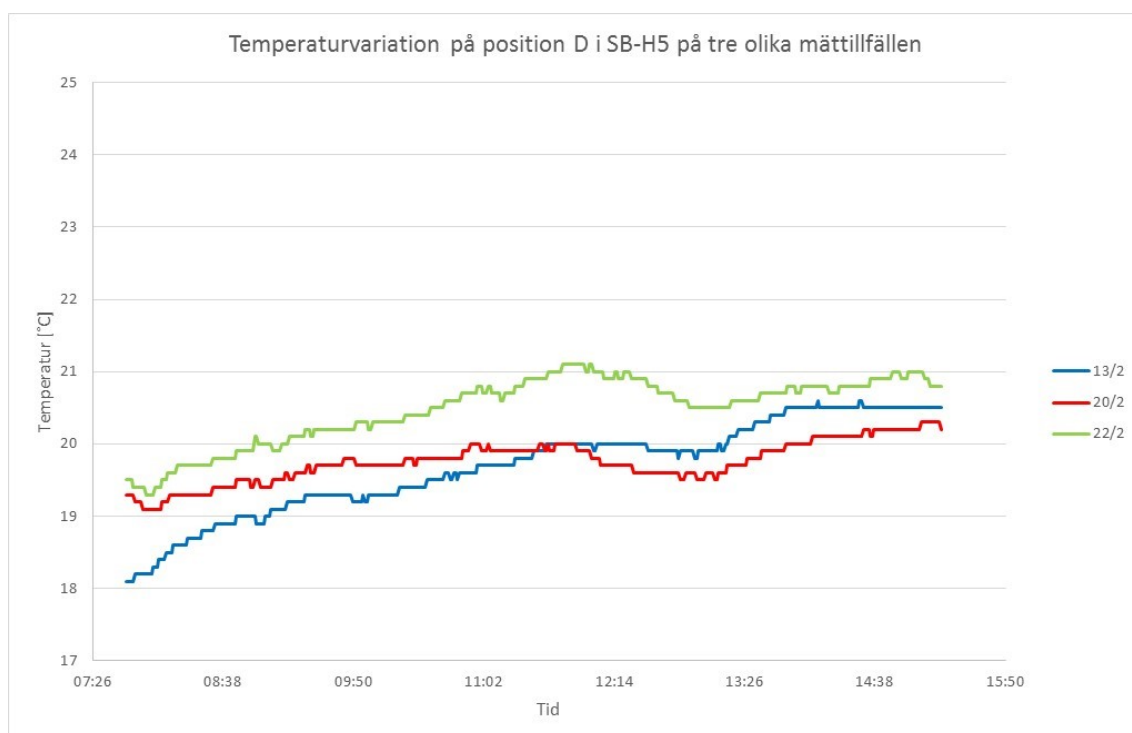
Figur 5.9: Operativ temperatur jämfört med lufttemperatur på samma position i SB-H1 vid mätningen den 29/3.

5.2.2 SB-H5

Totalt utfördes tre heldagsmätningar i SB-H5 vilka utfördes enligt beskrivning i avsnitt 4.2. Utöver det utfördes en kompletterande mätning på tilluftstemperaturen.

5.2.2.1 Lufttemperatur - variationer över dag och med olika belastningar

I figur 5.10 visas resultaten från en logger på samma position från de tre olika mättillfällena. Ur diagrammet kan ses att lufttemperaturen tenderar att stiga under hela förmiddagen, sjunka lite under lunchen för att sedan stiga igen till en relativt konstant temperatur. Värt att notera är att lufttemperaturen inte steg över 20°C förrän på eftermiddagen under två av mätningarna. Värdena kommer från loggar som var positionerade längst fram i salen, på position D.



Figur 5.10: Lufttemperatur på position D i hörsal SB-H5 från tre olika mätningar.

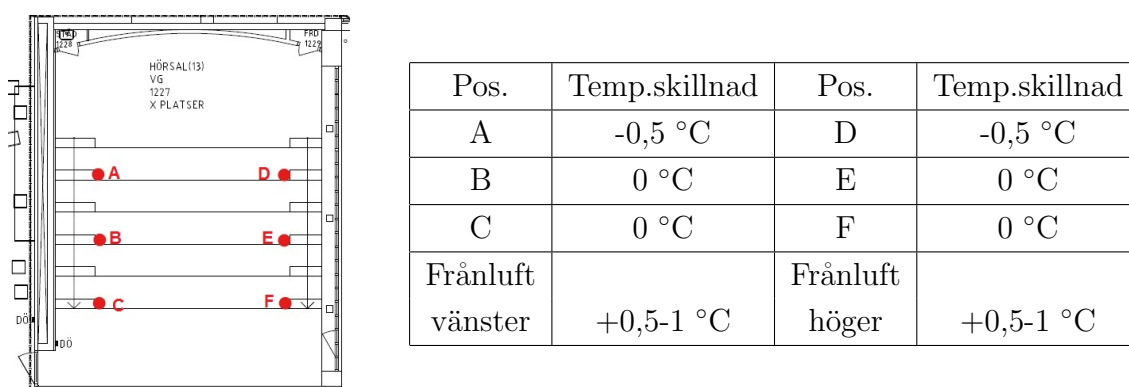
Under de tre mättillfällena var det föreläsningar från kl. 8.00 till 15.00 med normala rasttider beskrivna i avsnitt 3.1.1, och föreläsningarna besöktes av mellan 20 och 45 studenter. Föreläsningarna den 22/2 besöktes av ungefär 10 studenter fler än vid föreläsningarna de andra två dagarna medan utomhustemperaturen var cirka 8°C lägre den 13/2 än vid de andra båda mätningarna. Exakta värden på utomhustemperatur och belastning kan ses i bilaga D.

5.2.2.2 Lufttemperatur - variationer inom salen

De temperaturvariationer som kunde mätas upp, på olika positioner i hörsalen, presenteras i figur 5.11. De olika positionerna är samma som beskrevs i avsnitt 4.2.2 men visas även i figur 4.3. Nollläget var längst bak i salen vid temperaturgivaren, på positionerna C och F, och lufttemperaturerna på de andra positionerna presenteras som en avvik från nollläget.

Kallast i salen är det vid bänkraden längst fram, på position A och D. På position B och E, tre rader bakom A och D, är lufttemperaturen ungefär en halv grad högre än längst fram. Detsamma gäller för position C och F. Frånluftstemperaturen ligger en halv till en hel grad högre än de varmaste lufttemperaturerna i bänkhöjd medan tilluftstemperaturen var konstant 19-19,5° C hela dagen, vid alla tre mättillfällen.

Den separata mätningen som mätte tilluftstemperaturen på flera olika ställen i salen visade att skillnaderna var minimala. Diagram som visar skillnaderna inom salen och mellan tilluften på olika positioner finns i bilaga D.



Figur 5.11: Variationer i lufttemperatur på olika positioner i salen där nollläget är längst bak i salen, på position C och F. Vänstra figuren är samma som figur 4.3.

5.2.2.3 Yttemperatur

I SB-H5 mättes yttemperaturer upp enligt avsnitt 4.2.2. De allra flesta yttemperaturer låg mellan 20°C och 23°C, med undantag från radiatorerna som naturligtvis hade en högre yttemperatur än 23°C.

Ytor som var kallare än 20°C kunde mätas upp på morgnarna i salen, vid alla tre mättillfällen. Vid lunch däremot hade de flesta av dessa ytor gått upp till 20°C eller högre. De ytor som var kalla på morgonen var främst ytor närmast väggen med fönsterbandet.

En tydlig skillnad mellan yttemperaturerna på de olika sidorna av salen kunde noteras vid alla tre tillfällen. Framför allt så var det fönsterna, ytterväggen samt

nödutgången som hade kalla ytor på morgonen men även golvet, bänkarna och innerväggarna som var nära ytterväggen kunde vara kalla. Yttemperaturer lägre än 18°C mättes dock inte upp vid något av de tre tillfällena om man bortser från fönsterna och nödutgången som kunde vara ännu kallare vid några tillfällen.

5.2.2.4 Lufthastighet

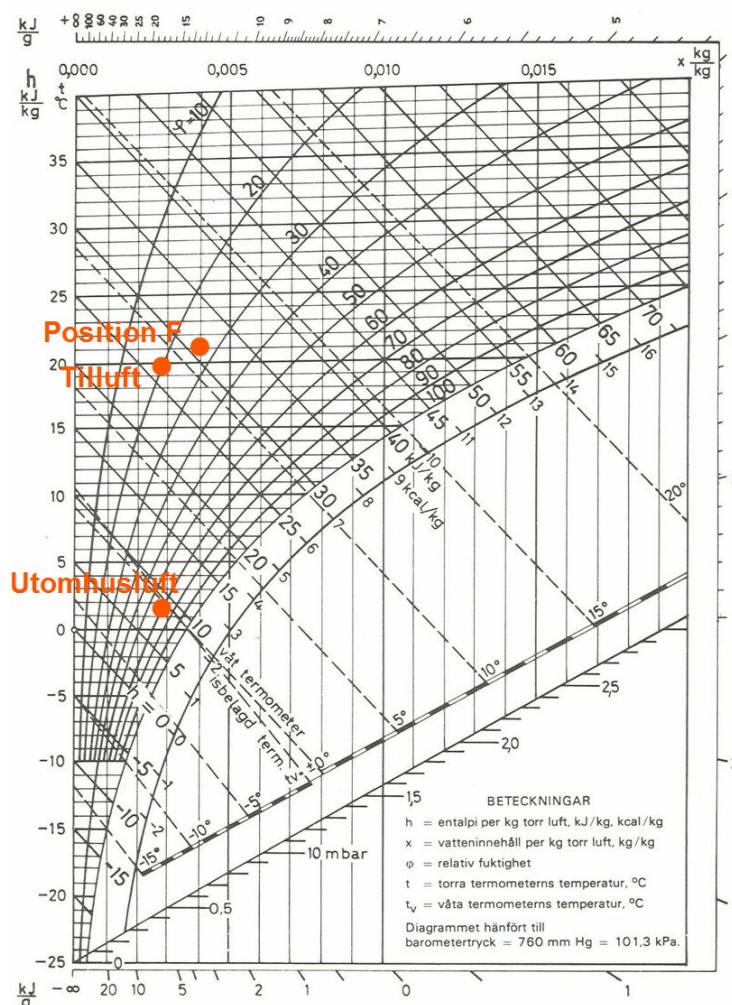
Lufthastigheter mättes på samma positioner i SB-H5 som lufttemperatur och luftfuktighet, dvs de som kan ses i figur 4.3. Alla värden på lufthastigheter som mättes i bänkhöjd var låga och oftast inte högre än 0,06 m/s. Någon skillnad mellan de olika positionerna kunde inte uppmätas. I position med en sittande students ben mättes något högre lufthastigheter, nämligen 0,12-0,16 m/s.

5.2.2.5 Luftfuktighet

Luftfuktigheten i SB-H5 visade också en tendens att påverkas av luftfuktigheten utomhus samt verksamheten i salen som kunde noteras kring luftfuktigheten i SB-H1. I figur 5.12 visas tillstånden för uteluften, tilluften samt rumsluften på position F i SB-H5 i ett Mollierdiagram från en av mätningarna. Värdena kommer från mätningen den 13/2 klockan 15.00 vilket var den kallaste och torraste av de dagar som mätningar genomfördes i salen.

Ur Mollierdiagrammet kan ses att ett något mindre fukt- och värmetillskott sker i denna sal än i SB-H1 (jämför med figur 5.8), vilket troligtvis beror på storleksskillnaden mellan salarna. Alla andra mättillfällen i SB-H5 visade ett liknande förhållande mellan uteluftens, tilluftens och rumsluftens tillstånd men med en liten förskjutning åt höger i Mollierdiagrammet på grund av en högre absolut fuktighet.

Den relativa fuktigheten låg även i denna sal i de lägre regionerna och mättes till värden mellan 20% och 50%. Vid vissa tidpunkter under mätningen den 13/2 mättes relativ fuktighet ner mot 17% men oftast visade mätningarna en relativ fuktighet mellan 25% och 40% precis som i SB-H1. Någon variation i luftfuktighet under dagen kunde inte registreras utifrån mätningarna som utfördes.



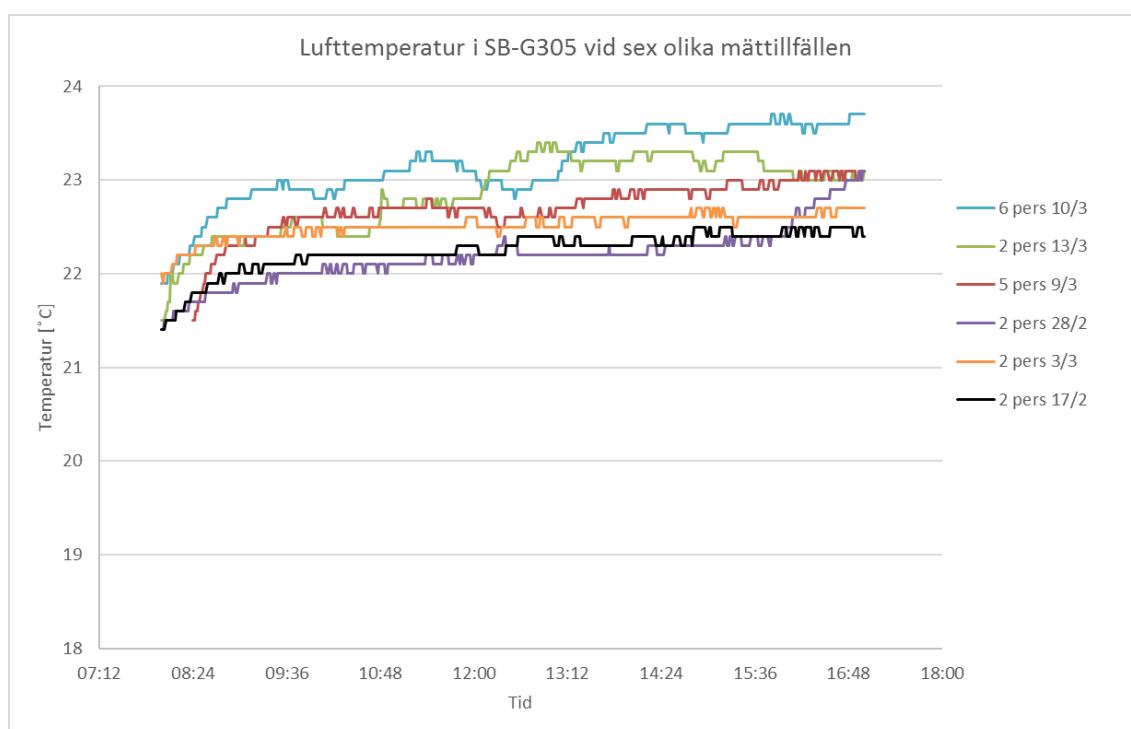
Figur 5.12: Mollierdiagram med markeringar för uteluften, tilluften och huvudhöjden. Värdena kommer från mätning i SB-H5 den 13/2 klockan 15.00.

5.2.3 Grupprummen

I grupprummen utfördes totalt sex mätningar, med metodik som beskrivet i avsnitt 4.2. Under tre av dessa mätningar befann sig två personer i vardera rum och under tre av mätningarna var målet att sex personer skulle befinna sig i vardera rum. Det skulle dock visa sig att det var lite svårt att hitta tillräckligt med personer som kunde delta under sexmannamätningarna under de dagar som mätningarna var planerade på. Istället genomfördes några mätningar med fem personer i vardera grupprum samt någon ytterligare mätning med två personer i ett grupprum.

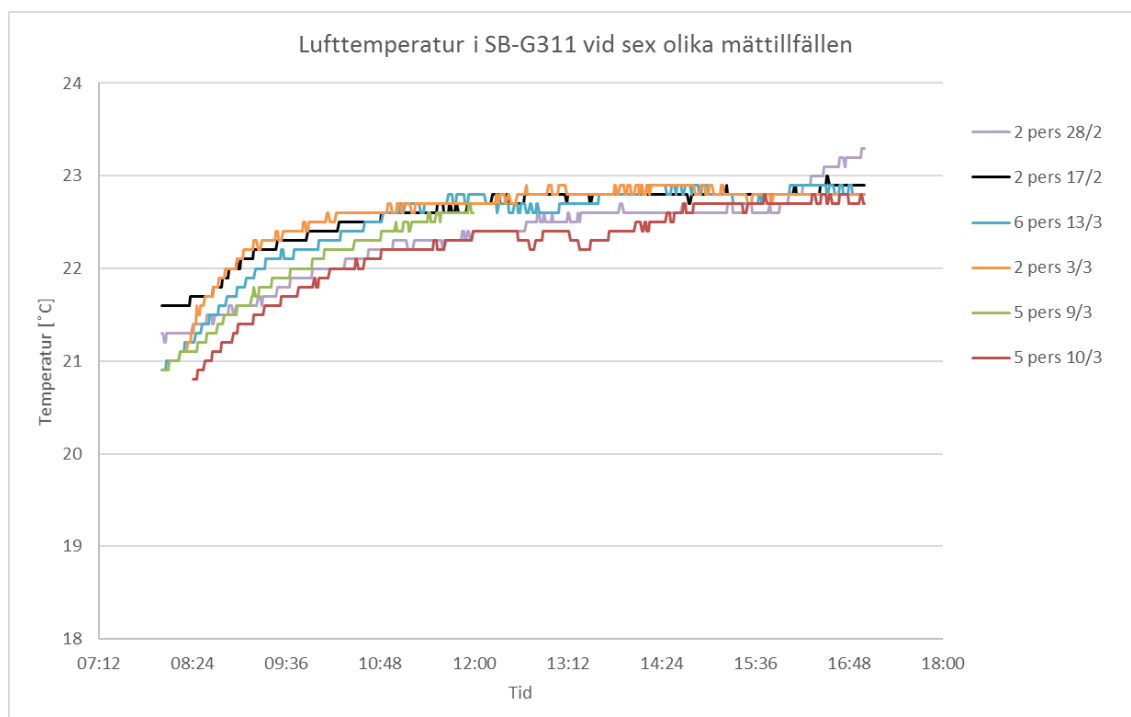
5.2.3.1 Lufttemperatur - variationer över dag och med olika belastningar

Temperaturmätningarna i SB-G305 och SB-G311 visar att lufttemperaturen i grupp- rummen är ungefär $21,5^{\circ}\text{C}$ respektive 21°C på morgonen, stiger till $22\text{--}23^{\circ}\text{C}$ efter cirka en timmes vistelse i rummen och sedan är temperaturerna stabila resten av dagen. Resultaten från de loggar som var placerade i huvudhöjd under de sex mätningarna visas i diagrammen i figur 5.13 respektive figur 5.14. I dessa diagram kan också noteras att belastningsgraden på rummen inte verkar påverka lufttemperaturen.



Figur 5.13: Lufttemperatur i SB-G305 vid sex olika mättillfällen med olika belastningsgrad.

En intressant iakttagelse från mätningen på tisdagen den 28 februari var att ventilationen stängdes av klockan 16:00. Detta kan ses på att den lila grafen i figur 5.13 och figur 5.14 stiger kraftigt efter detta klockslag. Fenomenet inträffade endast vid denna mätning.

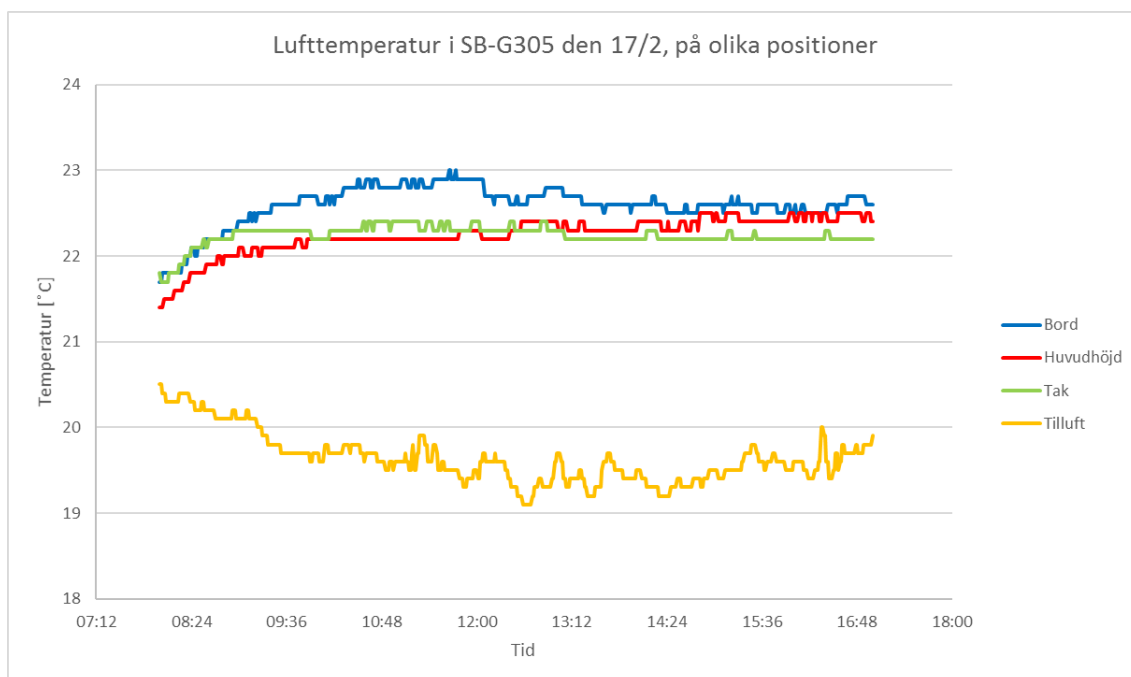


Figur 5.14: Lufttemperatur i SB-G311 vid sex olika mättillfällen med olika belastningsgrad.

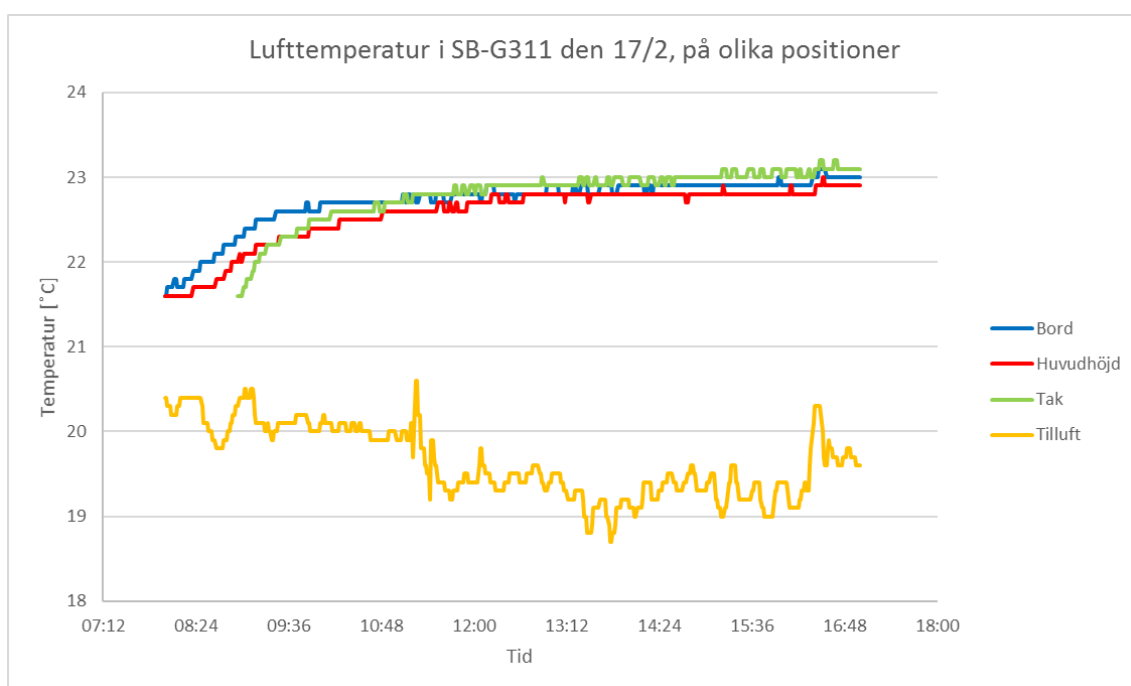
5.2.3.2 Lufttemperatur - variationer mellan och inom rummen

Lufttemperaturen i de båda grupprummen var konstanta inom rummen vid alla sex mätningarna. Detta visas i figur 5.15 och figur 5.16 som är resultaten av mätningarna i de båda rummen den 17/2 då två personer vistades i respektive rum. I diagrammen kan det noteras att temperaturen mellan de olika positionerna i rummen skiljer sig ytterst lite. Tilluftstemperaturen varierar desto mer vilket troligtvis är orsaken till att temperaturen i rummet kan vara så konstant eftersom det är en behovsstyrd ventilation.

Lufttemperaturen skiljer sig inte heller nämnvärt mellan rummen. Vid jämförelse av resultaten i figur 5.15 och figur 5.16 så kan det ses att temperaturen i SB-G311 var ungefär en halv grad varmare än i SB-G305 den 17/2 men vid jämförelse av resultaten i figur 5.13 och figur 5.14 så kan det ses att flera mätningar visar tvärtom.



Figur 5.15: Lufttemperatur i SB-G305 på olika positioner vid mätningen den 17/2 då två personer vistades i rummet.



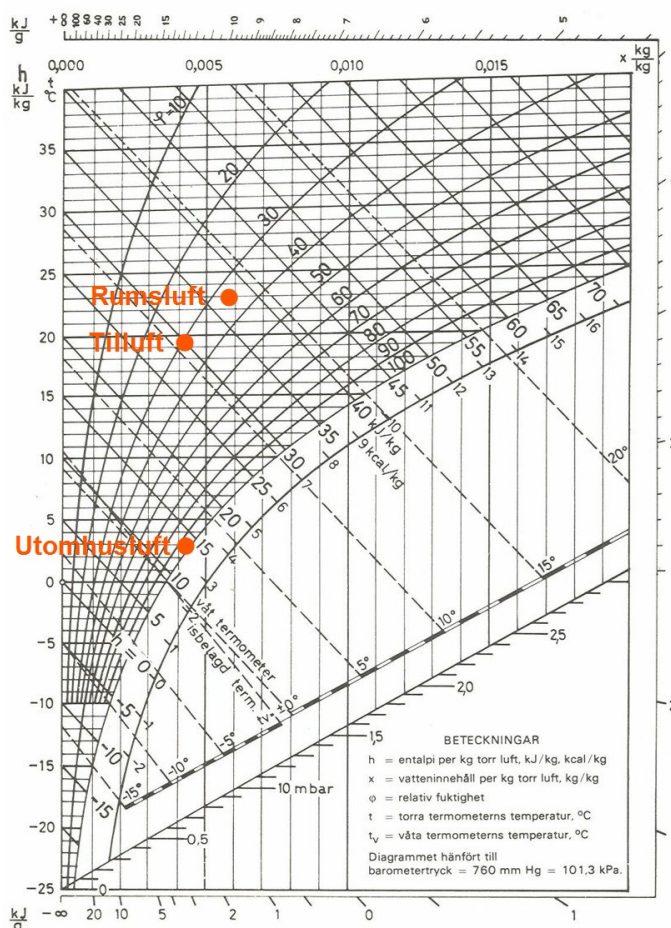
Figur 5.16: Lufttemperatur i SB-G311 på olika positioner vid mätningen den 17/2 då två personer vistades i rummet.

5.2.3.3 Yttemperatur, lufthastighet och luftfuktighet

I SB-G305 låg alla yttemperaturer som mättes upp mellan 21°C och 25°C . De flesta av dessa låg dessutom mellan 22°C och 24°C och höll sig inom detta område under hela dagen. Även i SB-G311 låg alla yttemperaturer inom området 21 - 25°C med undantag för fönstret och radiatorn. Fönstret hade temperaturer mellan 17°C och 20°C medan radiatorns yta var 28 - 39°C under de olika mätningarna.

Alla lufthastigheter som uppmättes i SB-G305 och SB-G311 var väldigt låga. Oftast visade dragmätaren endast $0,01$ - $0,03$ m/s i huvudhög.

Luftfuktigheten i grupprummen var vid alla mätningar låg. Den relativa fuktigheten befann sig vid alla mätningar inom området 25 - 45% RF, och oftast mellan 30% och 40% RF. Det kunde noteras en tydlig koppling mellan den absoluta fuktigheten utomhus under dagen och den absoluta fuktigheten i grupprummen.



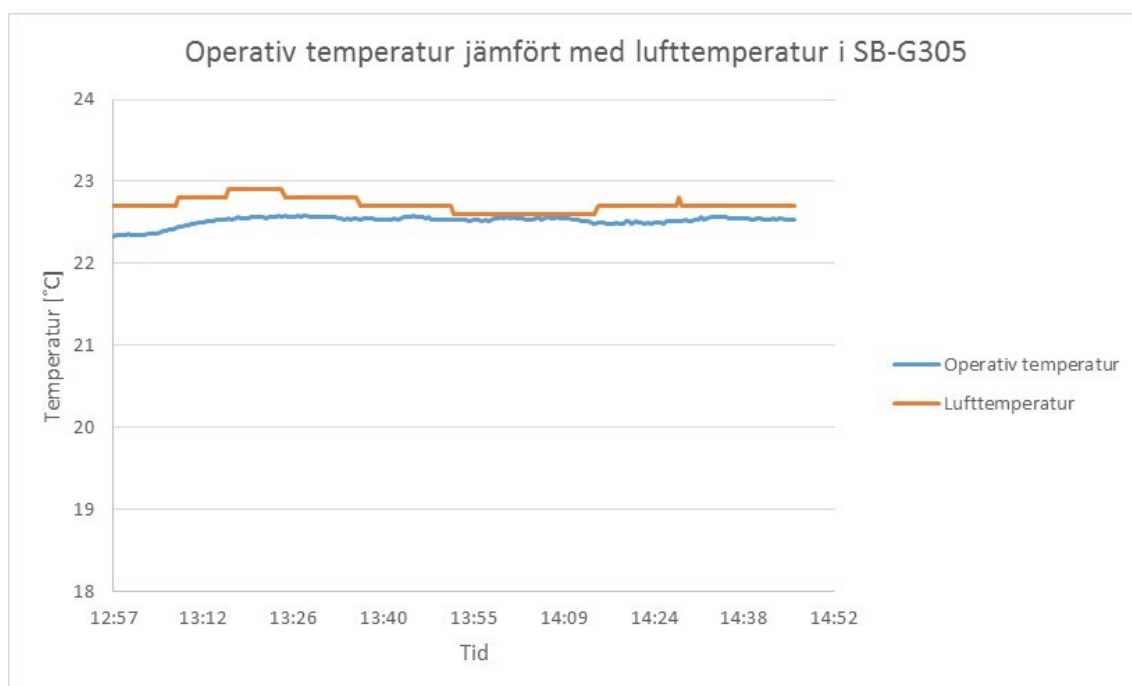
Figur 5.17: Mollierdiagram med markeringar för uteluftens, tilluftens och rumsluftens tillstånd. Värdena kommer från mätning i SB-G305 den 17/2 klockan 17.00 och rumsluften representeras av mätaren som satt i huvudhög.

I figur 5.17 visas tillstånden för uteluften, tilluften samt luften i huvudhög

i grupprummen i ett Mollierdiagram från en av mätningarna. Ur Mollierdiagrammet kan ses att uteluften värms upp i ventilationssystemet innan den blir tilluft i grupprummen. Väl i rummen värms luften upp ytterligare några grader samt får ett litet fukttillskott, troligtvis på grund av personerna i rummet. Alla andra mättillfällen visade ett liknande förhållande mellan utluftens, tilluftens och rumsluftens tillstånd.

5.2.3.4 Operativ temperatur

Operativ temperatur mättes i SB-G305 under en dag skild från de sex heldagsmätningarna. Under mätningen av operativ temperatur vistades två personer i rummet. Skillnaden mellan operativ temperatur och lufttemperatur i grupprum visas i figur 5.18. I diagrammet kan man notera att lufttemperaturen alltid är varmare än den operativa temperaturen. Lufttemperaturen är dock som högst drygt $0,3^{\circ}\text{C}$ varmare än den operativa temperaturen medan det under vissa tider endast skiljde $0,05^{\circ}\text{C}$.



Figur 5.18: Operativ temperatur och lufttemperatur i SB-G305 då två personer vistades i rummet vid mätningen den 29/3.

6

Analys och diskussion

För att se om SB-huset uppnår önskade värden gällande det termiska klimatet sker det i detta kapitel en jämförelse mellan mätresultaten och riktvärden samt de värden som ombyggnationen projekterades efter. Därefter analyseras och utvärderas resultaten från enkätundersökningen och mätningarna kritiskt, för att utreda trovärdigheten i resultaten. Även metodvalet utvärderas och diskuteras samt en jämförelse mellan enkätresultaten och mätresultatet utförs för att slutsatser ska kunna dras utifrån helhetsbilden av undersökningen. Avslutningsvis leder diskussionen till möjliga orsaker till resultatet och förslag till eventuella förändringar.

6.1 Jämförelse av mätresultat med riktvärden

Om det faktiskt finns ett problem med inneklimatet enligt de riktlinjer som finns undersöks i detta avsnitt när mätresultaten jämförs med de nationella riktvärden som presenterades i avsnitt 2.2.2 och med de riktlinjer som ombyggnationen projekterades efter vilka presenterades i avsnitt 3.3.2.

Från de riktlinjer som fanns med vid ombyggnationen saknas det värden för golvtemperaturer. Men då Chalmersfastigheters riktlinjer utgår från Boverkets riktlinjer blir mätresultaten i denna studie jämförda med värdena som gällde för ombyggnationen där de existerar och med nationella riktlinjer i resterande parametrar.

Som kan läsas ur tabell 2.1 och 2.2 bör den operativa temperaturen vara 22°C och den ska ligga mellan 20°C och 24°C under vintern. Om lufttemperaturen är lägre än 20°C eller högre än 24°C bör en vidare utredning ske. I de riktlinjer som legat till grund för projekteringen i ombyggnationen finns det även ett minimikrav att lufttemperaturen ska vara över 21°C . Golvtemperaturen ska inte understiga 18°C utan vidare utredning och lufthastigheterna ska vara mindre än $0,18\text{ m/s}$ under vintersäsongen. Det finns inget krav på luftfuktigheten, men den är optimal mellan 30% och 70% RF.

Det bör återigen noteras att de nationella riktvärden som är presenterade i denna studie är alla för kontor. I grupprummen stämmer kontorsarbete väl överens

med arbetet som studenter utför medan i hörsalarna fås det faktum att riktvärden är fastställda för en rumstyp som inte stämmer överens med lokalerna som granskas tas i beaktning.

6.1.1 SB-H1

Riktvärdena gäller operativ temperatur och i SB-H1 är den operativa temperaturen upp till en halv grad lägre än lufttemperaturen enligt figur 5.9. Det innebär att lufttemperaturen i hörsalen bör vara mellan 21°C (lufttemperaturkravet från Chalmersfastigheter) och $24,5^{\circ}\text{C}$.

Detta uppfylls ej på de främre positionerna i salen vid hög belastning. Positionerna längre bak i salen är oftast inom det godkända intervallet, men inte när det är kallt ute. När det är minusgrader utomhus klarar knappt någon position i salen det lägre gränsvärdet vilket medför att salen ej heller klarar gränsen för att undgå vidare utredning. Samtidigt överskrider lufttemperaturen den övre gränsen vid de tillfällen då ventilationen stängdes av klockan fyra samtidigt som salen var högt belastad.

Vid låga utomhustemperaturer uppmättes även kalla golvytor i salen. Golvtemperaturen var ner till $19,1^{\circ}\text{C}$ när det var drygt en grad minus ute. Detta värde är dock högre än det undre gränsvärdet för godkänd golvtemperatur, men om utomhustemperaturen vore ännu kallare finns det en risk för att golvet ej uppnår tillräckligt hög temperatur.

I hörsalen är alla uppmätta lufthastigheter lägre än riktvärdena och således är det troligen inget problem med drag i salen.

Den relativa luftfuktigheten i hörsalen var låg vid alla mättillfällen och låg i utkanten av det optimala området för bra lokaler. Vid enstaka tillfällen registrerades även en relativ fuktighet som var lägre än 20%. Det faktum att den är så låg, även om det endast är ett fåtal gånger, är inte positivt och kan påverka studenterna på ett negativt sätt. Samtidigt finns det inget fuktningssystem i ventilationssystemen till hörsalarna och således kan inte relativa fuktigheten i salen styras på något sätt.

6.1.2 SB-H5

Ingen mätning av operativ temperatur utfördes i SB-H5 men på grund av de låga yttemperaturer som mättes upp i salen på förmiddagen är den operativa temperaturen troligtvis något lägre än den uppmätta lufttemperaturen. Samtidigt visar resultatet från mätningarna i SB-H5 att lufttemperaturen inte steg över 20°C förrän efter lunch på positionerna längst fram i salen vid något av mättillfällena. Den operativa temperaturen uppnår alltså inte den undre gränsen för när vidare utredning

bör ske och uppfyller inte heller kravet på 21°C i lufttemperatur.

I hörsalen mättes ej någon yttemperatur under 18°C upp och således uppnår hörsalen riktvärdena för yttemperaturer. Den övre gränsen överskrids heller inte i hörsalen vid någon tidpunkt under mättillfällena.

Lufthastigheten vid huvudhöjd var lägre än riktvärdet vid alla mätningarna, men den steg däremot ibland nära riktvärdet i höjd med en sittande students ben.

Även i denna hörsal var luftfuktigheten relativt låg, och vid ett fåtal tillfällen var luftfuktigheten under 20% RF. Men precis som i SB-H1 så går detta inte att styra med ventilationssystemet.

6.1.3 Grupprummen

Lufttemperaturen i de båda grupprummen där mätningarna utfördes var vid alla mättillfällen mellan 21°C och 24°C . I grupprummens fall kan lufttemperaturen dessutom räknas som den operativa ty skillnaden mellan dem visade sig vara ytterst liten enligt figur 5.18.

Golvtemperaturen var över 22°C vid alla mätningar och är således i området för "bra värden". Samtidigt överskrider aldrig golvtemperaturen den övre gränsen för tillåten golvtemperatur.

Lufthastigheterna var under alla mätningar långt under värdet för godkänt lufthastighet. Mätningarna påvisar således inte något problem med drag i grupprummen.

I grupprummen påvisades heller inga större problem med luftfuktighet, då alla värden som mättes upp var högre än 25% RF och oftast högre än 30%. Luftfuktigheten borde således inte orsaka några problem i grupprummen.

Jämförelse av mätningarna i grupprummen med riktvärden för kontor visar att det inte finns något behov för vidare utredning av grupprummen gällande det termiska klimatet.

6.2 Analys och sammanfattning av resultaten

I kapitel 5 presenterades resultaten av enkätundersökningen och mätningarna och i avsnitt 6.1.3 lades mätresultaten i ett sammanhang. I detta avsnitt analyseras resultaten på ett djupare plan för att minska osäkerheten kring vad de betyder.

6.2.1 Enkätundersökningen

Resultaten från enkätundersökningen styrker tydligt tesen kring att ett missnöje finns och att missnöjet gäller både hörsalar och grupprum. Även frågan kring påverkad studieförmåga tyder på att studenterna inte upplever att SB-huset uppfyller de krav som ställs gällande inneklimat.

I detta avsnitt analyseras enkätresultaten. På de faktorer där besvär ofta har upplevts jämförs dessa med referensvärden i enlighet med manualen för **MM 040 NA Kontor**, av Andersson et al. (2012), så att tolkningen av resultaten blir bäst möjlig.

Referensvärdena för "bra kontor" är samma i både analysen av hörsalar och grupprum, medan referensvärdena för "normalt kontor" skiljer sig mellan att vara kontor i allmänhet och specifikt för cellkontor. Detta valdes för att grupprummen är mycket lika ett cellkontor medan en hörsal är svårare att likna vid någon annan specifik rumstyp, som tidigare har nämnts.

6.2.1.1 Upplevt klimat i hörsalarna

Av studenterna anser 39% att temperaturförhållandena i hörsalarna är dåliga eller mycket dåliga och det verkar bero på för låga rumstemperaturer och eventuellt drag, som presenterades i figur 5.1 och 5.2.

Vad gäller låga rumstemperaturer så svarade 47% av studenterna att de ofta upplever besvär. Detta är en tydlig indikation på att det finns ett problem kring detta då referensvärdena endast är 10% för "bra kontor" resp. 18% för "normalt kontor".

Vad gäller drag så är indikationen på problem svagare. 14% av studenterna ansåg att de upplever besvär ofta medan referensvärdena är 7% resp. 12% för "bra" resp. "normalt kontor". Enligt manualen krävs det en svarsfrekvens på 16% vid 200 enkätsvar och referensvärdet 10% om det ska kunna dras några slutsatser kring en förhöjd frekvens. En tillräckligt stor förhöjd frekvens uppfylls alltså inte riktigt vad gäller drag, trots att antalet enkätsvar i denna undersökning är fler än 200.

Enkätsvaren indikerade även att varierande rumstemperatur kan vara en problemfaktor då 12% av studenterna svarade att de ofta kände besvär av detta, och referensvärdet för ett "bra kontor" är 9%. Däremot är referensvärdet för ett "normalt kontor" 17% och en tillräcklig svarsfrekvens uppfylls ej för att kunna dra slutsatser kring resultaten. Hurvida studenterna som besvarade enkäten har tolkat "varierande rumstemperatur" som variationer över dag, mellan olika dagar eller variationer inom rummet är också svårt att avgöra.

6.2.1.2 Upplevt klimat i grupprummen

I enkätresultaten gällande grupprummen anser 33% av studenterna att temperaturförhållandena är dåliga eller mycket dåliga. Något som troligen beror på för höga rumstemperaturer, vilket presenterades i figur 5.3 och 5.4.

Gällande höga rumstemperaturer anser 27% av studenterna att de ofta upplevt besvär med detta. Referensvärdena för ett "bra" resp. " normalt kontor" är 7% resp. 12%, och enligt manualen krävs det en svarsfrekvens på 16% vid 200 enkätsvar och referensvärdet 10% om det ska kunna påvisas en förhöjd frekvens. Detta uppfylls och enkäten indikerar alltså att det finns ett problem avseende hög rumstemperatur i grupprummen.

En indikation på att instängd ("dålig") luft och lukt också kan vara problemfaktorer i grupprummen finns också, men dessa svar behandlas i kandidatrapporten om luftkvalitet av Erntoft et al. (2017).

6.2.2 Mätningarna

Mätresultaten analyseras djupare i detta avsnitt genom resonemang kring noggrannheten på mätinstrumenten som användes, se avsnitt 4.2.1, och den jämförelse mot riktvärden och projekterade värden som gjordes i avsnitt 6.1.3.

6.2.2.1 Analys av mätresultat i SB-H1

Enligt jämförelsen i avsnitt 6.1.1 finns det problem med låg lufttemperatur och låg operativ temperatur i SB-H1. Problemen uppstår främst när det är kallt utomhus samt i den främre delen av salen. Låga yttemperaturer i den främre delen av salen styrker ytterligare indikationen på låg operativ temperatur och den låga luftfuktigheten kan bidra till att den upplevdes ännu lägre. Dock visar mätningarna inga indikationer på drag.

Mätningen av den operativa temperaturen på position A visar också tydligt att det finns kalla ytor i den främre delen av salen och att lufttemperaturen vid alla mätningar troligtvis är 0-0,5°C högre än den som upplevs. På grund av att inga höga yttemperaturer mättes upp i salen kan den operativa temperaturen inte vara högre än lufttemperaturen och då låga yttemperaturer främst mättes upp kring position A så är det troligtvis där som störst skillnad mellan lufttemperatur och operativ temperatur finns.

Höga lufttemperaturer uppmättes också upp i SB-H1, när ventilationen stängs av klockan 16.00. Framför allt vid hög belastning stiger lufttemperaturen till höga värden när ventilationen stängs av.

Då mät noggrannheten i temperatur- och fuktloggarna endast är 0,5°C som

nämns i avsnitt 4.2.1, kan det ifrågasättas om lufttemperaturen verkligen är så låg, eller om variationerna i salen är så stora, som mätningarna visar. Troligtvis så stämmer inte resultaten exakt med verkligheten men det skulle lika gärna kunna vara så att resultaten visar ett bättre resultat än verkligheten och att det i själva verket är ännu kallare, eller ännu större variationer i salen, än vad dessa resultat visar. Men då lufttemperaturen, som är högre än den operativa temperaturen, inte uppfyller kraven även om det skulle vara $0,5^{\circ}\text{C}$ för kallt så borde indikationen gå att lita på trots mätosäkerheten.

Vad gäller temperaturvariationerna inom salen så är de uppmätta skillnaderna så stora (upp till $2,1^{\circ}\text{C}$) att de går att dra slutsatser kring trots mätosäkerheten.

6.2.2.2 Analys av mätresultat i SB-H5

Enligt jämförelsen i avsnitt 6.1.2 finns det problem med låga lufttemperaturer även i SB-H5 och främst i den främre delen av salen. De låga lufttemperaturerna verkar även ha ett samband med låga utomhustemperaturer och eventuellt med belastningen i salen. Låga yttemperaturer fanns också i salen men främst i den högra delen, närmast ytterväggen, och på morgonen. Även den låga luftfuktigheten styrker indikationen på upplevt låga rumstemperaturer i salen.

Då ingen mätning av den operativa temperaturen utfördes i SB-H5 så är det svårt att veta vilken temperatur som upplevs i salen. Men då låga yttemperaturer kunde mätas upp så är troligtvis den operativa temperaturen något lägre än lufttemperaturen. Då radiatorerna är de enda ytor som har en hög yttemperatur i salen lär den operativa temperaturen åtminstone inte vara högre än lufttemperaturen, med tanke på radiatorernas ringa storlek.

Samma resonemang kring mätnoggrannheten i temperatur- och fuktloggarna som fördes kring mätresultaten i SB-H1 (avsnitt 6.2.2.1) kan föras kring resultaten i SB-H5. Det är alltså möjligt att mätresultaten inte representerar verkligheten men med tanke på att den operativa temperaturen troligtvis är något lägre än lufttemperaturen så är indikationen på problem med för låga temperaturer större än möjliga mätfel.

Temperaturvariationerna inom salen är däremot så små att de faller inom intervallet för mätnoggrannheten ($-0,5^{\circ}\text{C}$). Det är alltså med osäkerhet som denna skillnad kan påvisas med det resultat som mätningarna gav. Däremot är skillnaden mellan lufttemperaturen i bänkhöjd och lufttemperaturen i frånluften ($0,5-1,0^{\circ}\text{C}$) så pass stor att en skillnad kan påvisas trots mätosäkerhet.

Små indikationer på drag mättes upp i benpositioner i SB-H5 men då mätosäkerheten för dragmätaren är $\pm 0,03$ m/s så går dessa värden inte att dra slutsatser ifrån.

6.2.2.3 Analys av mätresultat i grupprummen

Enligt jämförelsen i avsnitt 6.1.3 finns det varken problem med låga eller höga lufttemperaturer i grupprummen i SB-huset. Mätningarna visade inte heller på låga yttemperaturer, höga yttemperaturer eller drag, så det termiska klimatet i grupprummen är enligt mätningarna bra, precis som beskrivs i avsnitt 6.1.3.

Mätresultaten tyder heller inte på några skillnader inom rummen, mellan rummen eller mellan olika belastning i rummen. Skillnader mellan de olika mätningarna kan noteras men då skillnaderna varierar mellan olika utfall går det inte att se något samband mellan dem. Skillnaderna mellan de olika mätningarna är också såpass små att de faller inom mätosäkerheten.

Mätningen av operativ temperatur i grupprum SB-G305 visade mycket liten skillnad mellan lufttemperatur och operativ temperatur vilket tyder på att lufttemperaturen i grupprummet är ett bra mått på den upplevda temperaturen. Detta styrks av de jämna yttemperaturerna och de låga lufthastigheterna i rummet.

I SB-G311 utfördes dock ingen mätning av operativ temperatur och i detta rum fanns det två avvikande yttemperaturer, nämligen radiatorn och fönstret. Det är alltså möjligt att den operativa temperaturen i SB-G311 skiljer sig mer från lufttemperaturen än vad den gör i SB-G305.

Med tanke på mätosäkerheten i temperatur- och fuktloggarna är det dock osäkert om temperaturen är så bra som den visar. Dock så behövs det större avvikelser än intervallet för mätnoggrannheten, för att resultaten från de utförda mätningarna ska indikera på problem. Sannolikheten för att resultaten skulle hamna utanför riktvärdena med bättre noggrannhet på loggarna är därför väldigt låg.

6.3 Utvärdering av metod och utförande

Detta avsnitt syftar till att utvärdera metodvalet samt de båda metoderna som valdes: enkätundersökning och mätningar. Det syftar också till att resonera kring trovärdigheten i resultaten utifrån utförandet.

6.3.1 Utvärdering av metodval

Vid analys av inneklimat finns det två huvudsätt att gå till väga. Antingen genom en mätstudie, vilket är genomfört i denna rapport, eller genom en simulering. Vid analys av inneklimat har simuleringar blivit allt vanligare, något som troligen beror på att det är snabbare att genomföra än en mätstudie. I samband med eller innan en mätundersökning eller simulering utförs det ibland även en enkätundersökning för att få indikationer på var eventuella problem finns och för att styrka ens resultat,

vilket presenterades i avsnitt 1.5.

Huvudorsaken till att denna studie genomfördes som en mätstudie är för att en mätstudie troligtvis avspeglar verkligheten bättre än en simulering. Om en simulering skulle genomförts i denna studie hade troligen flera antaganden behövt göras, gällande bland annat verksamheten och klimatskalet, då det är svårt att återge verkligheten i en simulering. En simulering hade dock kunnat nyttjas till att undersöka alla typer av verksamheter och olika positioner i lokalerna men en trovärdigheten i resultaten hade förmodligen varit lägre än vad mätresultaten är i denna studie.

6.3.2 Trovärdighet i enkätsvaren

Ett viktigt steg i utvärderingen av enkätundersökningen är att resonera kring trovärdigheten i svaren samt kring enkätens utformning.

Till att börja med kan det ifrågasättas om enkäten har nått den målgrupp som är berörd av frågorna. Detta har den troligtvis gjort med tanke på den mycket höga svarsfrekvensen på alla frågorna (mellan 85% och 98%) och vetskapen om att de klasser som enkäten lämnades ut till (se avsnitt 4.1) har schemalagda föreläsningar i hörsalarna i SB-huset under denna termin.

Hurvida studenterna som besvarat enkäten studerar i SB-husets grupprum är svårare att avgöra. Dock så inleddes avsnittet om grupprum på enkäten med uppmaningen att "Om du **ej använder** grupprummen i SB-huset, vänligen svara ej på nedanstående frågor", vilket förhoppningsvis ledde till att de som besvarade frågorna gällande grupprummen faktiskt också har personliga erfarenheter av grupprummen. Den något lägre svarsfrekvensen på frågorna om grupprummen i förhållande till de om hörsalarna är troligtvis en indikation på att uppmaningen på enkäten fyllde sitt syfte.

Enkäten nådde dock inte ut till alla studenter i SB-huset. Enkäten lämnades inte ut till några mastersklasser och inte till alla studenter i de lägre årskurserna på grund av att föreläsningarna generellt sett inte besöks av alla som är registrerade på en kurs.

Men trots att alla studenter i SB-huset inte fick besvara enkäten så är antalet besvarade enkäter högt (363 stycken) och det är troligtvis inte någon större skillnad i hur studenter mellan olika klasser upplever det termiska klimatet på grund av liknande klädsel, ålder och hälsa, som nämns i avsnitt 2.1.3. På enstaka frågor kunde små skillnader i resultaten mellan antagningsår noteras men över lag indikerar resultaten från de olika antagningsåren samma sak, bara i olika grad. Med det sagt borde enkätsvaren därför kunna vara ett representativt urval av studenterna och spegla den totala uppfattningen hos studenterna väl.

Vad gäller enkätens utformning har det redan presenterats att några otydligheter fanns. Så som vad som menas med varierande lufttemperatur samt frågan kring påverkad studieförmåga kan tolkas på olika sätt. Det är även osäkert hurvida svaret "acceptabla" i enkäten anses som ett godkänt resultat med tanke på att lokalerna är nyrenoverade, en åsikt som även inkom som en kommentar i samband med enkätundersökningen. Med stor sannolikhet har formuleringen "acceptabla" betytt olika för olika personer.

Något som inte heller ska glömmas bort i analysen av enkätsvaren är att i frågan gällande sju olika inneklimatfaktorer så fanns det tre svarsalternativ: *aldrig*, *ibland*, *ofta*, och i resultaten redovisas endast svarsalternativet "ofta". Det innebär att de studenter som har upplevt besvär ibland kring de olika faktorerna inte tas hänsyn till i resultatet i denna rapport (men kan ses i bilaga B). Att svarsalternativet "ibland" fanns med ledde troligtvis till att endast de som verkligen upplever problem med de olika faktorerna svarade "ofta" och osäkerheten kring resultaten borde bli mindre.

Utöver detta så upplevdes enkäten fylla sitt syfte då inga ytterligare osäkerheter framkom under enkätundersökningen. Då enkäten dessutom är baserad på en standardiserad enkät för undersökningar av inneklimat torde trovärdigheten vara hög.

6.3.3 Utvärdering av mätningsutförandet

Precis som att det är intressant att resonera kring hurvida enkätsvaren verkligen speglar den allmänna uppfattningen hos studenterna i SB-huset så är det intressant att resonera kring hurvida resultatet av mätningarna representerar inneklimatet i SB-huset.

Till en början bör det påminnas om att mätningar endast utfördes i två av hörsalarna och två av grupprummen i enlighet med avgränsningarna för studien. Vad gäller grupprummen är de övriga grupprummen i SB-huset dock mycket lika de två som undersöktes och de har samma ventilationssystem. Övriga grupprum i SB-huset borde därför ha liknande termiskt klimat som det som uppmättes i SB-G305 och SB-G311. Visserligen kom det kommenterar på enkäten att grupprummen högre upp hade sämre inneklimat men detta är inget som är undersökt i denna studie. Vad gäller hörsalarna finns det dock större skillnader mellan salarna och de har olika ventilationssystem. Därför går det inte att påstå något om klimatet i de övriga hörsalarna i byggnaden.

Som beskrivs i avgränsningarna så representerar inte mätningarna inom denna studie hur det termiska klimatet är under den varma delen av året och ej heller hur klimatet är vid alla användningsområden i lokalerna, då det i så fall hade krävts

många fler mätningar under en längre period. Exempelvis utfördes inga mätningar utanför tiderna 8.00-18.00 trots att ventilationssystemet i grupprummen fortfarande ska vara igång efter detta enligt RFP:n (vilket beskrivits i kapitel 3). Däremot syftade mätningarna till att undersöka de vanligaste användningsområdena i lokalerna under vintermånaderna vilket kan tyckas ha uppfyllts.

I SB-H1 utfördes totalt fem mätningar varav tre utfördes under dagar med föreläsningar och två under tentamensdagar. Dessa båda användningsområden i hörsalen tillhör de två vanligaste och tack vare flera olika mätningar som visade liknande resultat så känns resultatet trovärdigt.

I SB-H5 utfördes totalt tre mätningar vilka alla utfördes under föreläsningar med medelhög belastning i salen. Mätningarna kan alltså inte besvara hur det termiska klimatet i SB-H5 är vid hög belastning, låg belastning eller under tentamen. Vid samtliga tre mätningar i salen bedrevs det dessutom endast föreläsningar fram till klockan 15.00 så det är oklart om det termiska klimatet förändras senare på dagen; så som det gör i SB-H1 när ventilationen stängs av klockan 16.00.

I grupprummen utfördes det sex mätningar i varje rum varav två respektive tre med hög belastning och tre respektive fyra med låg belastning. Tack vare så många mätningar, samt att resultaten från de olika mätningarna är så likartade, verkar resultaten spegla verkligheten väl. De små variationer som mättes upp kan bero på mätfel eller på påverkande faktorer som inte har tagits hänsyn till i denna studie.

Något som mätningarna för alla de olika lokalerna brister i är att besvara hur det termiska klimatet påverkas av riktigt låga utomhustemperaturer. I hörsalarna utfördes endast en mätning i vardera sal när utomhustemperaturen var lägre än 0°C , medan det i grupprummen inte utfördes någon mätning när utomhustemperaturen var lägre än 0°C . Resultatet från mätningen i SB-H1 när det var minusgrader utomhus visar en tydlig skillnad från de andra mätningarna men då det endast är en mätning och utetemperaturen skulle kunna vara så låg som -16°C (dimensionerande utetemperatur, DUT enligt Göteborg Energi (2015)), så är det svårt att säga med säkerhet hur inneklimatet påverkas av utomhustemperaturen.

Det finns även brister i utförandet av dragmätningar. Det utfördes endast ett fåtal dragmätningar i varje lokal och dessa utfördes när lokalerna var tomma. För att säkerställa att det inte finns problem med drag borde mätningar även utförts medan det var verksamhet i lokalen samt vid fler mättillfällen.

I denna studie utfördes endast mätningar av operativ temperatur i SB-H1 och SB-G305, något som leder till att det är svårt att avgöra vad den operativa temperaturen i de andra salarna är. Trots mätningar av ytemperaturer finns det en osäkerhet kring skillnaden mellan operativ temperatur och lufttemperatur i salarna och det blir svårare att jämföra mätresultaten med riktvärden då de flesta

riktvärden för termiskt klimat är angivna som operativ temperatur, och inte som lufttemperatur.

6.4 Diskussion kring resultaten

Efter en jämförelse mot riktvärden, en kritisk analys av resultaten samt en utvärdering av utförandet kan resultaten nu diskuteras i ett större sammanhang.

Önskvärd temperatur skiljer sig från person till person och beror av flertalet olika parametrar, men som presenteras i avsnitt 2.1.3 finns det ändå sätt att bestämma en optimal temperatur på. Enligt diagrammet i figur 2.2 är optimal operativ temperatur vid kontorsarbete utfört i en vanlig kostym 22°C och både de nationella riktvärdena som finns för kontor samt de som tagits fram av Chalmersfastigheter följer detta.

Intressant att resonera kring är dock hurvida studenter i universitetslokaler brukar lokalerna likt kontorsarbete eller om egna riktlinjer hade behövts för universitetslokaler (TQX). Enligt hur verksamheten i lokalerna i denna undersökning beskrivs, i avsnitt 3.1, är användningen mycket likt kontorsarbete. Klädseln bland studenterna skulle också kunna liknas vid en klädsel som används på kontor, då klädsel troligtvis främst varierar mellan olika verksamheter. Dessa faktorer har dock inte analyserats noggrannare inom denna studie och det hade behövts en mer omfattande undersökning om klädsel och aktivitet om slutsatser kring en eventuell TQX skulle kunna dras.

Förutom klädsel och aktivitet påverkar förstås flera andra faktorer också vad den optimala temperaturen är och värt att nämna är att majoriteten av personerna som vistas i salarna i denna studie är studenter i ungefär samma ålder (de flesta är i åldern 20-30 år) och vid god hälsa. Det borde vara en indikation på att det går att uppnå en låg andel av missnöjda människor (PPD) om en optimal temperatur nås i lokalerna.

6.4.1 Jämförelse mellan enkät- och mätresultat

En intressant synvinkel på resultaten är jämförelsen mellan enkätresultaten och mätresultaten och hurvida de styrker eller motsäger varandra. Detta avsnitt är menat att koppla samman resultaten och väga de mot varandra.

6.4.1.1 Hörsalarna

Analysen av enkätresultatet i hörsalarna visade framför allt att många studenter upplever problem med låga rumstemperaturer. Problem med låg operativ tempe-

raturer är något som jämförelsen mellan mätresultat och riktvärden också visade tecken på, så i detta fall styrker de båda metoderna varandras resultat.

Det är främst i SB-H1 som det finns ett uttryckt missnöje kring temperaturförhållandena enligt kommentarer som kom in i samband med enkätundersökningen. Det var även i denna sal som det uppmättes lägst lufttemperaturer och yttemperaturer av de båda hörsalarna som undersöktes. På positionerna längst bak i SB-H1 uppfylldes dock riktvärdena vid de flesta av mätningarna och då ventilationen stängdes av överskreds istället den övre gränsen av riktvärdena, vilket kanske kan förklara att en del studenter ansåg att temperaturförhållandena var goda eller att de besvärats av hög temperatur.

Något som skiljer resultaten från enkätundersökningen mot de från mätningarna är dock att enkäten frågar om alla hörsalarna i SB-huset medan mätningarna endast svarar för klimatet i två av hörsalarna. Enkätresultaten kan alltså indikera på att det även finns problem med låga temperaturer i de andra hörsalarna i SB-huset. Det kan dock också vara så att de studenter som enkäten lämnades ut till främst använder de salar som undersöktes med mätningar och alltså inte speglar klimatet i de övriga hörsalarna.

6.4.1.2 Grupprummen

Analysen av enkätresultaten gällande grupprummen visade ett upplevt problem med för höga temperaturer, något som mätningarna inte visade. Mätningarna visar visserligen att lufttemperaturen är närmare det övre gränsvärdet än det undre men lufttemperaturen ligger inom det optimala området. I detta fall motstrider alltså de båda metoderna varandra.

Vid enkätundersökningen inkom även kommentarer kring att temperaturförhållandena skiljer sig mellan de båda typerna av grupprum och att de utan fönster skulle vara sämre. Även här skiljer sig mätresultaten och enkätresultaten åt då inga skillnader mellan de båda typerna av grupprum kunde ses.

Enkätsvaren visade dock också ett upplevt problem med instängd luft i grupprummen (vilket även styrks av mätningarna presenterade i kandidatrapporten om luftkvalitet av Erntoft et al. (2017)). Varför studenterna upplever för höga rumstemperaturer i grupprummen skulle då eventuellt bero på att luftkvaliteten är dålig och att missnöjet blir felriktat i enkätsvaren. Ett missnöje med en parameter kan möjligtvis leda till en lägre tolerans på andra parametrar. Denna tanke kan även appliceras på skillnaderna i temperaturförhållanden mellan hörsalar och grupprum. På grund av att hörsalarna upplevs för kalla så kan grupprummen kanske upplevas varmare än de egentligen är, enbart på grund av skillnaderna. Något som inte får glömmas bort är dock att det inte går att göra alla nöjda vilket beskrivs i avsnitt 2.1.3.

Resultatet av mätningarna visar dock att ventilationen stängdes av klockan 16.00 vid ett av mättillfällena. När detta inträffade fanns det 2 personer i vardera grupprum och lufttemperaturen steg ungefär 1°C på en timme. Om detta fenomen hade inträffat med fler personer i rummen hade lufttemperaturen med största sannolikhet stigit snabbare, så som kan ses i resultatet av mätningarna i SB-H1 (se figur 5.5), och då överstigit riktvärdena. En annan möjlig förklaring till besvären av för höga temperaturer kan med andra ord vara att ventilationen ibland stängs av och att lufttemperaturen då överstiger gränsvärdena, men för att påstå det hade fler mätningar behövts utföras när ventilationen stängs av.

6.4.2 Möjliga orsaker och förändringar

Enligt syftet med denna studie finns det en målvision om att säkerställa ett gott inneklimat i SB-huset. För att möjliggöra detta resoneras det därför i detta avsnitt kring möjliga orsaker till resultaten samt hur dessa eventuellt hade kunnat påverkas.

6.4.2.1 SB-H1

Vid låga utomhustemperaturer verkar värmesystemet i SB-H1 inte ha förmåga nog att värma hörsalen, alternativt kyla salen för mycket av ventilationsluften. Eventuellt har klimatskalet till salen ett för högt u-värde i förhållande till värmesystemet, vilket gör att temperaturen i salen har svårt att uppnå riktvärdena. I flera av de intervjuer som utförts under studien har det uttryckts problem med att tilläggsisolera SB-H1 (personlig kommunikation, 4 april 2017) vilket kan antyda problem med köldbryggor. Ett förslag skulle därför kunna vara att se över klimatskalet ytterligare.

Ett annat resultat som var anmärkningsvärt från mätningarna i SB-H1 var de kalla yttemperaturerna på nödutgångsdörren längst fram till vänster i salen (se figur 3.2). Denna är således en stor köldbrygga och kan vara en ytterligare orsak till de låga lufttemperaturerna i den främre delen av salen. Den kan även vara en förklaring till de upplevt låga temperaturerna då den troligtvis påverkar studenterna på de främre raderna med kall temperaturstrålning. Ett förslag skulle kunna vara att isolera denna dörr ytterligare, alternativt byta ut den.

Vidare skulle de låga temperaturerna kunna förklaras av inställningarna i styrsystemen. Som beskrivs i avsnitt 3.2.1.2 är både temperaturgivaren som styr väggvärmens effekt och temperaturgivaren som styr tilluften placerade längst bak i salen (på väggen respektive i frånluften) och är inställda på 22°C . På grund av variationerna inom salen (se figur 5.6 och 5.7) kommer dessa givare således att känna av en högre lufttemperatur än vad det är i den främre delen av salen. Därmed kanske systemen inte värmer salen så mycket som skulle behövts, alternativt att ventilationen kyler salen mer än nödvändigt.

Enligt mätningarna i SB-H5 finns det dessutom en skillnad mellan lufttemperaturen på positionen längst bak i salen (vilken är cirka 1,5 m rakt under frånluftsdonen) och lufttemperaturen i frånluften med $0,5 - 1^{\circ}\text{C}$. Det innebär att det troligtvis finns en skillnad även i SB-H1 mellan lufttemperaturen i bänkhöjd och lufttemperaturen i frånluften och således mellan de olika givarna. Denna skillnad skulle också kunna vara ännu större än $0,5 - 1^{\circ}\text{C}$ på grund av det ännu högre placerade frånluftsdonet i SB-H1, samt konvektorerna under fönsterbandet, som alltså befinner sig mellan de båda givarna. Hur stora skillnaderna mellan luften i bänkhöjd och frånluften är går dock inte att avgöra då frånluften inte mättes i SB-H1 på grund av praktiska svårigheter.

Om dessa resonemang stämmer så indikerar resultaten i så fall på att hörsalens ventilationssystem fungerar som det ska, men eventuellt bör ses över så att även de främre delarna av salen kan nå upp till bra temperaturförhållanden. Ytterligare en temperaturgivare i salen, i den främre delen av salen hade kanske kunnat styra lufttemperaturen till att uppnå bra värden i hela salen. Alternativt hade börvärdet i de nuvarande givarna kunnat höjas något för att höja lufttemperaturen i hela salen.

Vidare verkar tiderna som ventilationssystemet är inställt på inte vara de som preciserades i RFP:n (se avsnitt 3.2) eftersom ventilationen stängs av klockan 16.00 vid varje mätning. Detta kan vara en bidragande faktor till missnöje kring inneklimatet i hörsalarna och skulle kunna åtgärdas med en ändrad tidsinställning.

6.4.2.2 SB-H5

En anledning till de låga temperaturerna i SB-H5 skulle kunna vara att värmesystemet inte har nog med kapacitet för att värma hörsalen i förhållande till klimatskalets värmeförluster, precis som det resoneras kring gällande SB-H1. Ytterväggen i SB-H5 kanske har ett högt u-värde och därmed blir det svårt att enbart styra klimatet med ventilationssystemet. Dessutom blir det ett stort energibehov i salen. De låga yttemperaturerna på den högra sidan av salen styrker denna tes och att se över klimatskalet i ytterväggen skulle eventuellt kunna bidra till ett bättre termiskt klimat i SB-H5.

I SB-H5 finns det däremot två temperaturgivare i salen (istället för en som i SB-H1), en längst fram och en längst bak. Dessa bör således styra ventilationen utifrån klimatet i hela salen. Trots det är salen för kall och detta skulle möjligtvis kunna bero på att börvärdet är inställt på 21°C i salen, vilket är i den lägre delen av intervallet som temperaturen bör vara inom. Som kan ses i figur 5.10 överstigs inte 21°C vid någon av mätningarna på positionerna längst fram i salen vilket kan vara en indikation på att ventilationssystemet fungerar väl utifrån vad det är inställt på; men för att temperaturen inte ska understiga gränsvärdena i salen borde börvärdet

i temperaturgivarna kanske höjas.

6.4.2.3 Grupprummen

Jämförelsen mellan enkät- och mätresultatet i grupprummen visade att gällande rumstemperatur visar enkätresultatet och mätresultatet olika, och studenternas missnöje kan bero på andra faktorer. Det är endast instängd luft som både enkät- och mätresultat indikerar på att det finns problem med.

En förklaring till missnöjet med instängd luft kan vara att ventilationen enbart styrs av lufttemperatur och inte CO_2 -koncentrationen i luften. När tilluften bara regleras av lufttemperatur kan CO_2 -koncentrationen stiga utan att ventilationssystemet känner av det.

Problemet med instängd luft kan eventuellt lösas genom att ha ett högre tilluftsflöde och på så sätt få en högre luftomsättning. Om luftflödet ökar minskar troligen lufttemperaturen som följd av detta, men som mätresultatet visar skulle lufttemperaturen i grupprummen kunna vara drygt en grad kallare och ändå klara riktvärdena. Detta skulle eventuellt även påverka det upplevda termiska klimatet positivt med tanke på att flera studenter menar att de upplevt besvär av höga rumstemperaturer.

Ett annat sätt att lösa problemet med instängd luft hade kunnat vara att installera CO_2 -givare i grupprummen som då kan öka tilluftsflödet vid höga CO_2 -halter. Detta skulle dock vara kostsamt att införa i alla grupprum i SB-huset.

En ytterligare förklaring till missnöjet med instängd luft kan vara tiderna som ventilationssystemet är igång på. Det är vanligt att studenter pluggar i skolan till sent på kvällen samt under helger och då systemet i SB-H1 inte är inställt på de tider som är preciserade i RFP:n kanske inte systemet för våning 2-5 är det heller. Då inga mätningar utfördes under sena kvällar och helger är det endast en mätning som antyder att ventilationssystemet för grupprummen kanske inte är helt korrekt inställt (den när ventilationen stängdes av klockan 16.00). Det skulle dock kunna vara värt att se över vilka tider som ventilationssystemet för grupprummen är inställt på och eventuellt utöka tiderna till de som finns i RFP:n.

Slutsatser

Efter de jämförelser mellan resultat och riktvärden samt resonemang kring mätfel och skillnader till referensvärden i enkätresultaten som förts kan några slutsatser kring SB-husets termiska klimat dras.

Det finns ett tydligt missnöje gällande inneklimatet i SB-huset bland studenterna i SB-huset vintern 2016-2017. En majoritet av studenterna upplever att inneklimatet påverkar deras studieförmåga och fler anser att temperaturförhållandena är dåliga (eller mycket dåliga) än att de är bra (eller mycket bra). Främst upplevs problem med låga temperaturer i hörsalarna och instängd luft i grupprummen.

Mätningarna bekräftar studenternas upplevelse kring att det finns problem med låga temperaturer i hörsalarna under vintertid och problem med luftkvaliteten i grupprummen enligt Erntoft et al. (2017). Däremot är luftkvaliteten i hörsalarna god enligt Erntoft et al. (2017), och det termiska klimatet i grupprummen ligger inom godkända värden.

Lufttemperaturerna i hörsalarna klarar inte kraven enligt de nationella riktvärden som finns för kontor eller de värden som ombyggnationen projekterades utefter och en vidare utredning bör genomföras. Problem dokumenterades i både SB-H1 och SB-H5 under främst förmiddagarna och i de främre delarna av salarna, vilket skulle kunna bero på för stora brister i klimatskalen eller ogynnsamma inställningar i styrsystemen.

I SB-H1 mättes dessutom stora skillnader inom salen, där den främre delen av salen ofta var 2°C lägre än i den bakre delen av salen. Detta kan vara en indikation på att det är svårt att säkerställa ett gott inneklimat i hela salen, av utformningsmässiga och byggnadstekniska skäl. Detta styrks av att värdena som salen är projekterad efter inte uppfylls på någon position i salen vid väldigt låga utomhustemperaturer. Däremot indikerar resultaten på att systemet i SB-H1 klarar av att reglera inneklimatet väl utefter olika belastning.

Mätningarna antyder även att ventilationssystemen i grupprummen klarar av att anpassa sig utefter olika belastning då temperaturförhållandena är goda med både 2 och 6 personer i rummen. Däremot verkar ventilation endast styrd på temperatur inte klara av kraven på koldioxid när det är många personer i rummen, Erntoft et al. (2017).

Ambitionen med ombyggnationen, som bland annat är att uppnå utmärkelsen Miljöbyggnad silver, kan inte fastställas med säkerhet baserat på de mätningar som har utförts. En komplicerande faktor är att det inte finns egna riktlinjer för universitetslokaler och arbetet skulle kanske underlättas om det kan utarbetas i framtiden.

Sammanfattningsvis rekommenderas att styrsystemen i SB-huset ses över och eventuellt att hörsalarnas klimatskal utreds vidare för att ett gott inneklimat ska kunna säkerställas. Detta för att studenterna på Chalmers ska få goda förutsättningar att få ut så mycket som möjligt av sin undervisning i Samhällsbyggnadshuset.

Referenslista

- Abel, E. & Elmroth, A. (2012). *Byggnaden som system* (Tredje uppg.). Lund: Studentlitteratur AB.
- Andersson, K., Stridh, G., Fagerlund, I. & Aslaksen, W. (2012). MM-enkäterna. Hämtad från www.regionorebrolan.se/sv/uso/Patientinformation/Kliniker-och-enheter/Arbets--och-miljomedicinska-kliniken/Vara-arbetsomraden/Innemiljo/Enkatutvardering/manualer/
- Boverket. (2016). *Boverkets byggregler – föreskrifter och allmänna råd, BBR*.
- Brüel & Kjær. (1982). *Technical review* (No 2).
- Brüel & Kjær. (2002). *Thermal Comfort*. Nærum, Denmark.
- Erntoft, H., Lundberg, T. & Sandäng Sernheim, C. (2017). *Luftkvalitet i Samhällsbyggnadshuset på Chalmers* (doktorsavhandling, Chalmers).
- Folkhälsomyndigheten. (2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus FoHMFs 2014:17*. Hämtad från www.folkhalsomyndigheten.se/documents/publicerat-material/foreskrifter1/fohmfs-2014-17.pdf
- Greisinger. (2017). EASYLOG 24-RFT. Hämtad från greisinger.de/files/upload/en/produkte/kat/k16%7B%5C_%7D108%7B%5C_%7DEN%7B%5C_%7DoP.pdf
- Göteborg Energi. (2015). Tekniska bestämmelser för fjärrvärmecentraler i småhus, s. 4.
- Lindinvent AB. (2017). Aktivitet tilluftsdon för ventilation - TTC.
- Miljömedicin MM konsult AB. (2017). ÖREBROMODELLEN. Hämtad från www.inomhusklimatproblem.se/model/mdellen.html
- Nilsson, P.-E. (2000). *God inomhusmiljö*. Centrum för Effektiv Energianvändning. Borås.
- Norman, K. (2017). Enkäter inneklimate. Hämtad från www.regionorebrolan.se/sv/uso/Patientinformation/Kliniker-och-enheter/Arbets--och-miljomedicinska-kliniken/Vara-arbetsomraden/Innemiljo/Enkatutvardering/
- Socialstyrelsen. (2005). *Temperatur inomhus*.
- Sweden Green Building Council. (2012). *Bedömningskriterier för befintliga byggnader*. Stockholm. Hämtad från www.sgbc.se/docman/certifieringssystem-1/105-bedomningskriterier-befintliga-byggnader/file

- Swema AB. (2017a). Swema 05.
- Swema AB. (2017b). Swemaair 300.
- Topac Inc. (2017). Non Contact high precision Hand held IR Thermometers. Hämtad 17 mars 2017, från www.topac.com/ir%7B%5C_%7Dthermometer%7B%5C_%7Dmx.html
- VVS-tekniska föreningen. (2000). *R1 - Klassindelade inneklimatsystem*. Stockholm. Hämtad från www.lindinvent.se/produkter/tilluftsdon/ttc/
- Wyon, D. P. (2004 augusti). The effects of indoor air quality on performance and productivity. *Indoor Air, Supplement, 14* (SUPPL. 7), 92–101. doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00278.x. arXiv: arXiv:1011.1669v3

A

Enkät

Inneklimatet i SB-huset – en enkätundersökning till grund för kandidatarbete

Allmänna uppgifter

Datum: Antagningsår: Kön:

Inneklimat - Hörsalar

Har du de senaste 3 månaderna känt besvär av någon eller några av följande faktorer i någon av hörsalarna i SB-huset?

	Ja, ofta (varje vecka)	Ja, ibland	Nej, aldrig
Drag	☐	☐	☐
För hög rumstemperatur	☐	☐	☐
Varierande rumstemperatur	☐	☐	☐
För låg rumstemperatur	☐	☐	☐
Instängd ("dålig") luft	☐	☐	☐
Torr luft	☐	☐	☐
Lukt	☐	☐	☐

Temperaturförhållande - Hörsalar

	Mycket bra	Bra	Acceptabla	Dåliga	Mycket dåliga
Vad anser du om temperaturförhållandena i hörsalarna i SB-huset?	☐	☐	☐	☐	☐

	Morgnarna	Eftermiddagarna	Vid full sal	Vid tom till halvtom sal
Om problem med temperaturen, när? (Ett eller flera alternativ.)	☐	☐	☐	☐

Finns det någon eller några hörsalar som har mer problem än andra vad gäller temperaturförhållanden?

Luftkvalitet – Hörsalar

	Mycket bra	Bra	Acceptabla	Dåliga	Mycket dåliga
Vad anser du om luftkvaliteten i hörsalarna i SB-huset?	☐	☐	☐	☐	☐

	Morgnarna	Eftermiddagarna	Vid full sal	Vid tom till halvtom sal
Om problem med luftkvaliteten, när? (Ett eller flera alternativ.)	☐	☐	☐	☐

Finns det någon eller några hörsalar som har mer problem än andra vad gäller luftkvaliteten?

Inneklimat – Grupprum

Har du de **senaste 3 månaderna** känt besvär av någon eller några av följande faktorer i något av **grupprummen** i SB-huset? Om du **ej använder** grupprummen i SB-huset, vänligen svara ej på nedanstående frågor.

	Ja, ofta (varje vecka)	Ja, ibland	Nej, aldrig
Drag	☐	☐	☐
För hög rumstemperatur	☐	☐	☐
Varierande rumstemperatur	☐	☐	☐
För låg rumstemperatur	☐	☐	☐
Instängd ("dålig") luft	☐	☐	☐
Torr luft	☐	☐	☐
Lukt	☐	☐	☐

Temperaturförhållande - Grupprum

	Mycket bra	Bra	Acceptabla	Dåliga	Mycket dåliga
Vad anser du om temperaturförhållandena i grupprummen i SB-huset?	☐	☐	☐	☐	☐

	Morgnarna	Eftermiddagarna	Vid 1-3 pers i rummet	Vid 4-6 pers i rummet
Om problem med temperaturen, när? (Ett eller flera alternativ.)	☐	☐	☐	☐

Finns det något eller några grupprum som har mer problem än andra vad gäller temperaturförhållanden?

Luftkvalitet - Grupprum

	Mycket bra	Bra	Acceptabla	Dåliga	Mycket dåliga
Vad anser du om luftkvaliteten i grupprummen i SB-huset?	☐	☐	☐	☐	☐

	Morgnarna	Eftermiddagarna	Vid 1-3 pers i rummet	Vid 4-6 pers i rummet
Om problem med luftkvaliteten, när? (Ett eller flera alternativ.)	☐	☐	☐	☐

Finns det något eller några grupprum som har mer problem än andra vad gäller luftkvaliteten?

Kompletterande frågor

	Ja	Nej
Anser du att inneklimatet i SB-huset påverkar din studieförmåga?	☐	☐

Tack för din medverkan! Vid ytterligare synpunkter, kontakta oss gärna!

Martina Svantesson, Anna Rosenberg, Henric Erntoft, Tor Lundberg & Christofer Sandäng, TKVOV-3

B

Enkätresultat

Tabell B.1: Antal svarande på enkätundersökningen.

	2014 eller tidigare				2015				2016				Totalt			
	Kvinnor	Män	Ej kön	Totalt	Kvinnor	Män	Ej kön	Totalt	Kvinnor	Män	Ej kön	Totalt	Kvinnor	Män	Ej kön	Totalt
Antal svar	42	38	27	107	59	39	1	99	68	84	5	157	169	161	33	363

Tabell B.2: Svar på frågan: ”Har du de senaste 3 månaderna känt besvär av någon eller några av följade faktorer i någon av hörsalarna i SB-huset?”

	Man			Kvinna			Ej kön			Totalt		
	Ofta	Ibland	Aldrig	Ofta	Ibland	Aldrig	Ofta	Ibland	Aldrig	Ofta	Ibland	Aldrig
Drag	17	44	99	32	78	59	3	12	18	52	134	176
Hög temp	7	49	104	5	28	136	2	8	23	14	85	263
Var temp	17	94	49	21	107	41	4	19	10	42	220	100
Låg temp	53	65	42	108	55	6	10	14	9	171	134	57
Dålig luft	25	77	58	36	85	48	8	14	11	69	176	117
Torr luft	7	49	104	12	71	86	2	13	18	21	133	208
Lukt	6	27	127	3	47	119	0	10	23	9	84	269

Tabell B.3: Svar på frågan: ”Har du de senaste 3 månaderna känt besvär av någon eller några av följade faktorer i något av grupprummen i SB-huset?”

	Man			Kvinna			Ej kön			Totalt		
	Ofta	Ibland	Aldrig	Ofta	Ibland	Aldrig	Ofta	Ibland	Aldrig	Ofta	Ibland	Aldrig
Drag	4	13	119	3	27	129	1	6	25	8	46	273
Hög temp	34	55	47	47	47	65	8	15	9	89	117	121
Var temp	14	73	49	19	97	43	2	20	10	35	190	102
Låg temp	14	43	79	28	75	56	2	12	18	44	130	153
Dålig luft	66	54	16	90	50	19	17	10	5	173	114	40
Torr luft	7	39	90	4	55	100	3	6	23	14	100	213
Lukt	14	47	75	22	60	77	5	7	20	41	114	172

Tabell B.4: Svar på frågan gällande temperaturförhållande i hörsalar och grupprum.

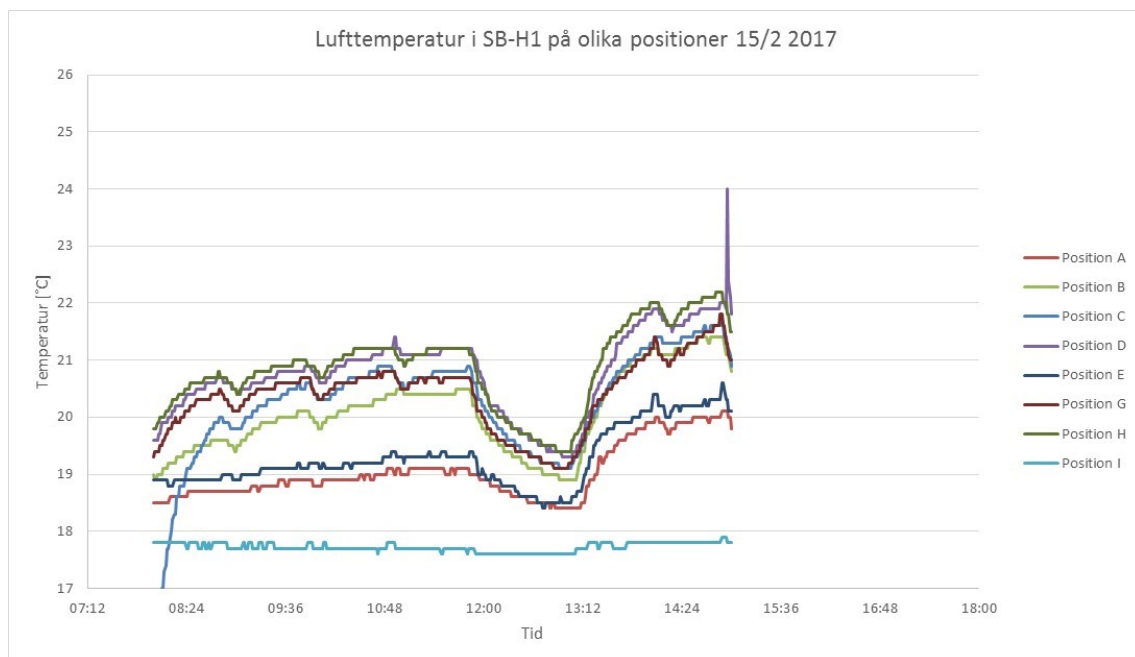
	2014 eller tidigare				2015				2016				Totalt			
	Kvinnor	Män	Ej kön	Totalt	Kvinnor	Män	Ej kön	Totalt	Kvinnor	Män	Ej kön	Totalt	Kvinnor	Män	Ej kön	Totalt
Hörsal																
Mycket bra	1	0	0	1	0	0	0	0	6	0	1	7	7	0	1	8
Bra	7	9	7	23	7	1	1	9	23	10	1	34	37	20	9	66
Acceptabla	17	17	10,5	44,5	12	17,5	0	29,5	42	29	2	73	71	63,5	12,5	147
Dåliga	11	16	5,5	32,5	15	31,5	0	46,5	13	26	1	40	39	73,5	6,5	119
Mycket dåliga	2	2	3	7	4	9	0	13	2	1	0	3	8	12	3	23
Morgon	18	28	10	56	29	43	0	72	19	30	2	51	66	101	12	179
Eftermiddag	6	19	7	32	6	21	0	27	19	27	1	47	31	67	8	106
Full sal	18	19	11	48	14	33	1	48	38	38	3	79	70	90	15	175
Halvtom sal	11	19	10	40	15	34	0	49	16	20	0	36	42	73	10	125
Grupprum																
Mycket bra	1	1	1	3	1	0	0	1	3	0	0	3	5	1	1	7
Bra	3	6	7	16	7	11	1	19	25	12	2	39	35	29	10	74
Acceptabla	17	17	10	44	12	30	0	42	29	20	1	50	58	67	11	136
Dåliga	10	13	3	26	7	12	0	19	19	25	1	45	36	50	4	90
Mycket dåliga	3	2	3	8	2	2	0	4	0	5	0	5	5	9	3	17
Morgon	5	8	1	14	3	16	0	19	10	9	1	20	18	33	2	53
Eftermiddag	7	14	4	25	5	18	0	23	17	15	1	33	29	47	5	81
1-3 pers	14	11	5	30	8	17	0	25	18	25	1	44	40	53	6	99
4-6 pers	14	25	10	49	17	28	1	46	40	40	2	82	71	93	13	177

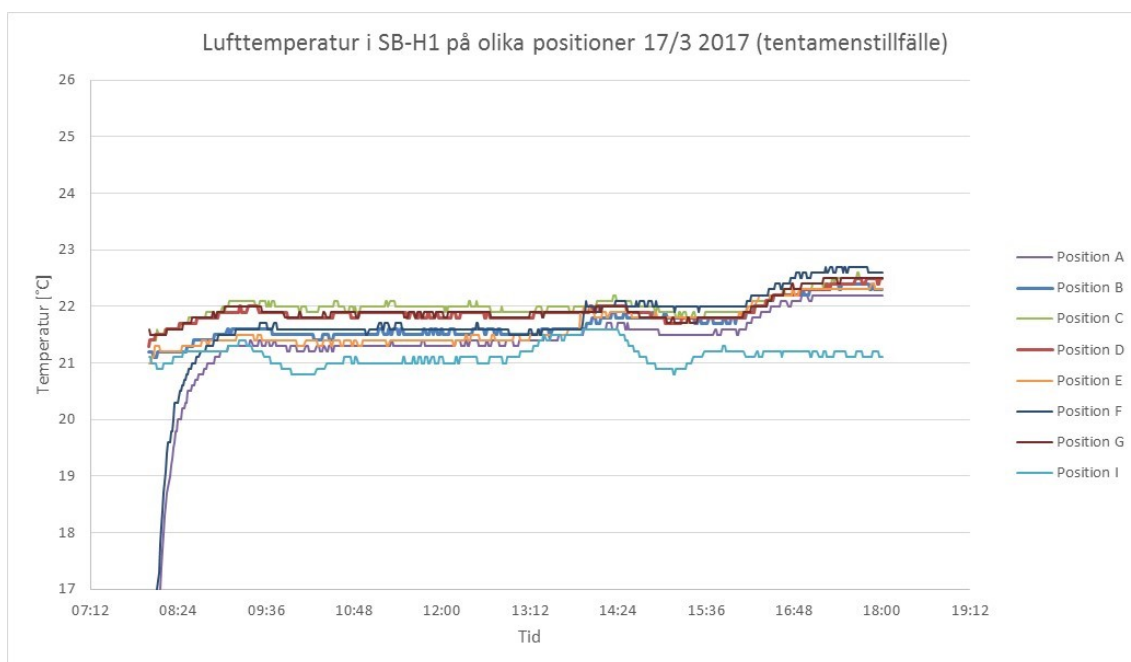
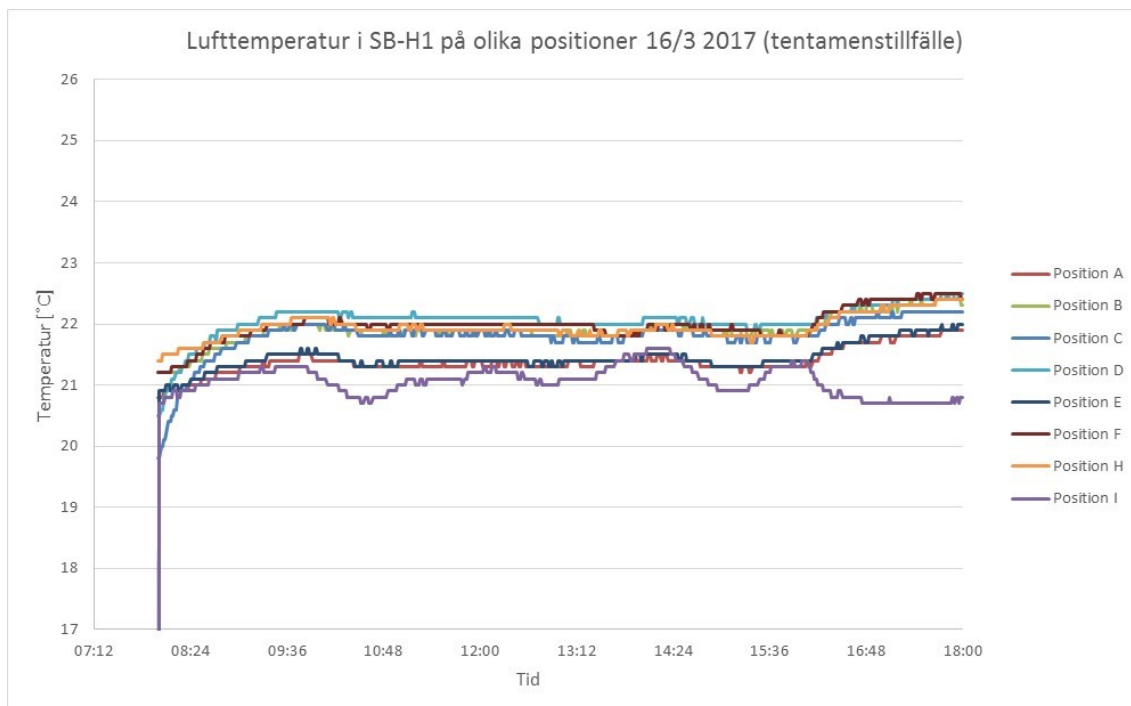
C

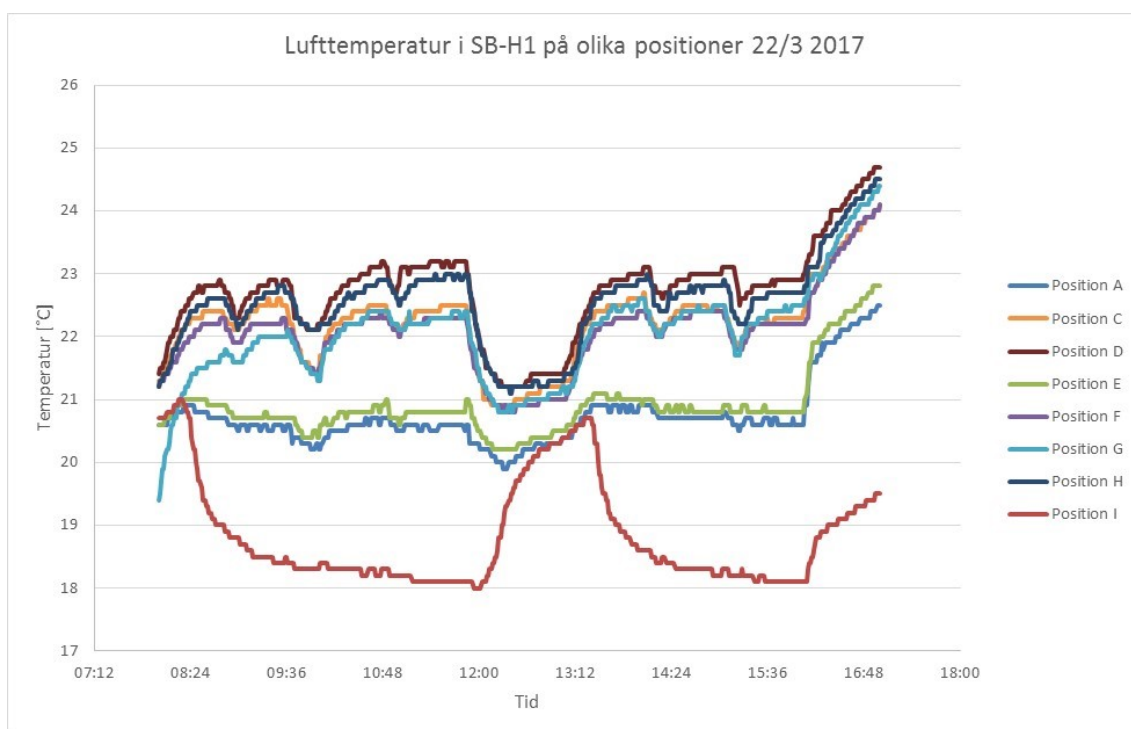
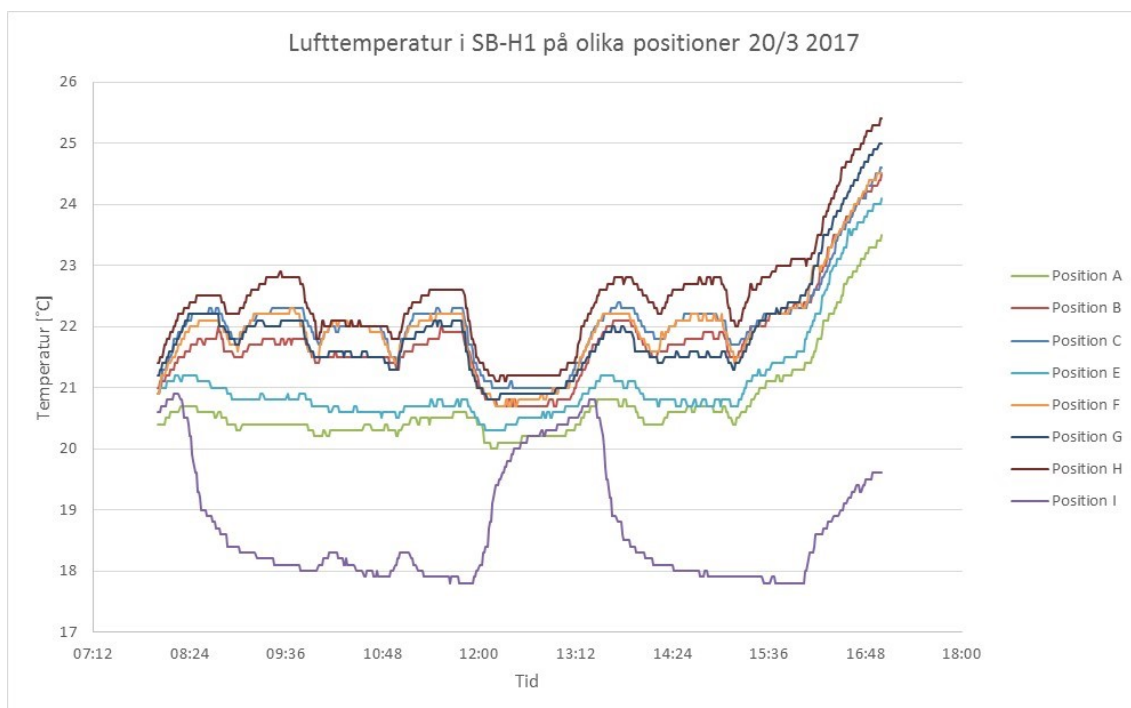
Mätresultat SB-H1

Tabell C.1: Antal personer som befann sig i SB-H1 under föreläsningarna resp. tentamen, samt utetemperaturen vid de fem olika mätningarna.

Mättag	Antal personer förmiddag	Antal personer eftermiddag	Utetemp. förmiddag	Utetemp. eftermiddag
15/2	100-120	178	-1,6	1,3
16/3	20	25	6,5	8,7
17/3	19	22	5,5	5,1
20/3	110	138-180	3,9	5,4
22/3	120-156	129-175	4,9	6,7





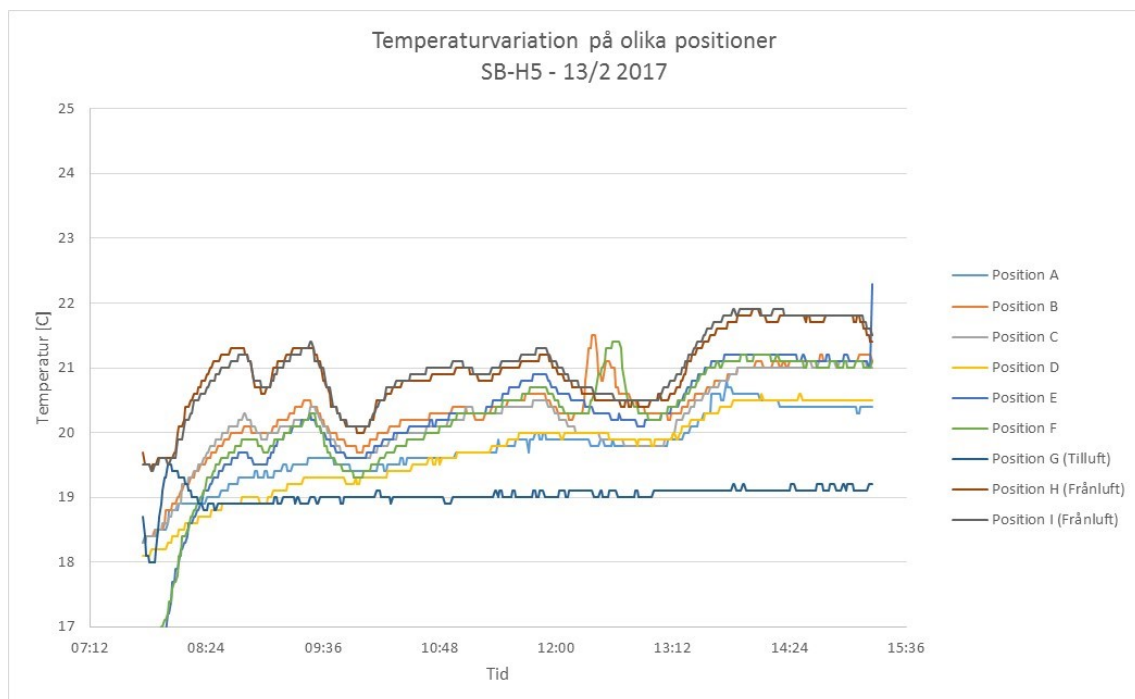


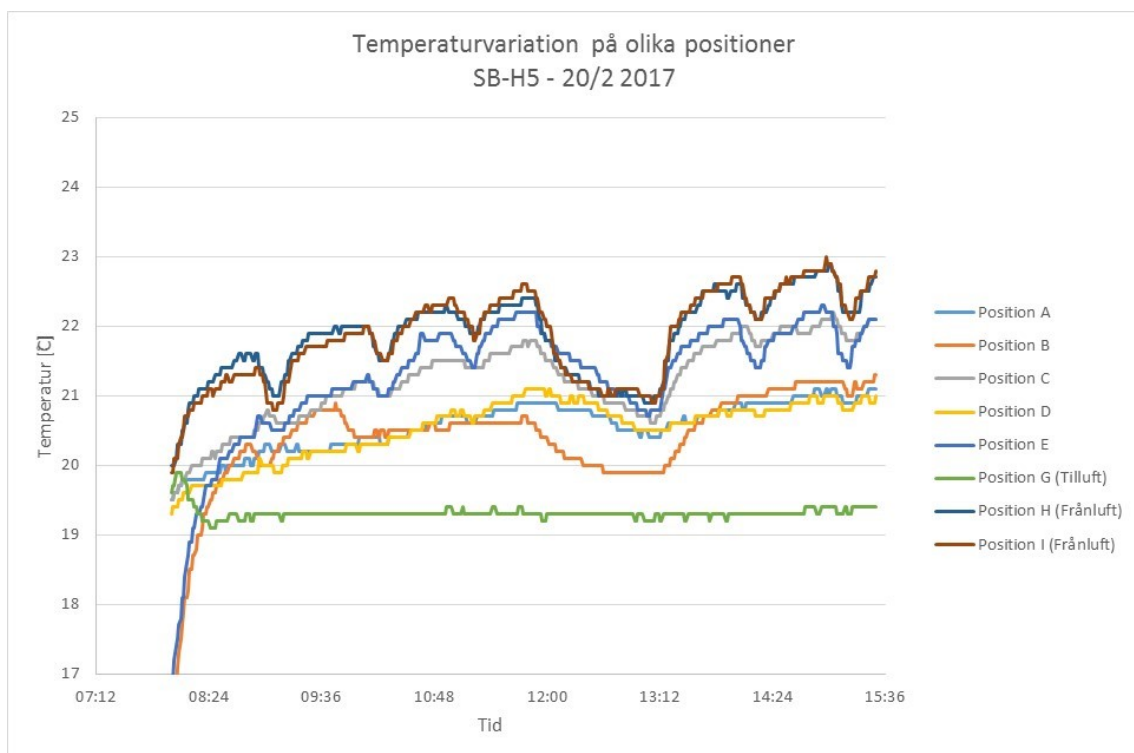
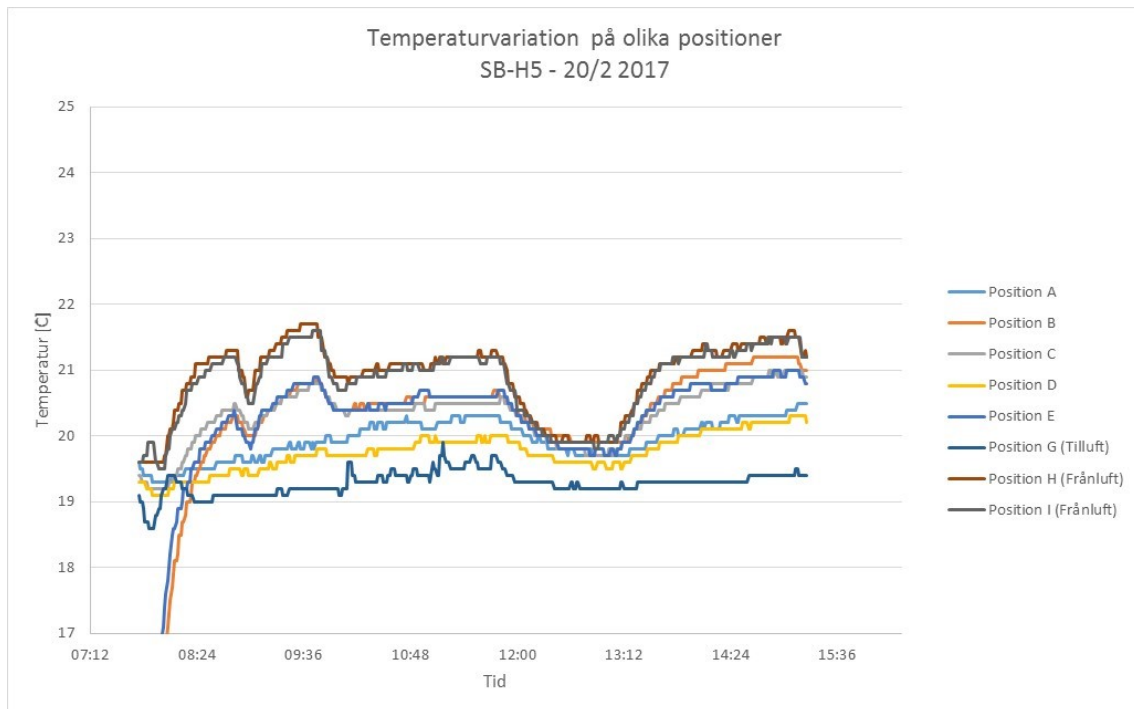
D

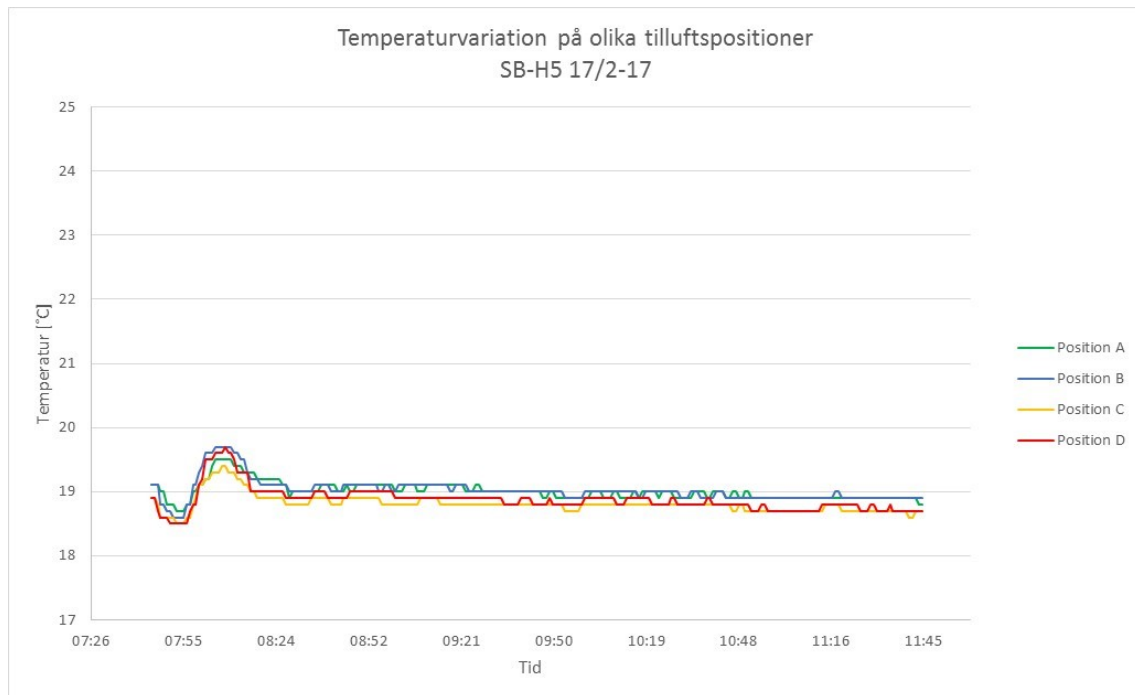
Mätresultat SB-H5

Tabell D.1: Antal personer som befann sig i SB-H5 under föreläsningarna, samt utetemperaturen vid de tre olika mätningarna.

Mättag	Antal personer kl 8-10	Antal personer kl. 10-12	Antal personer kl. 13-15	Utetemp. förmiddag	Utetemp. eftermiddag
13/2	30	22	26	-6,7	1,2
20/2	35	20	27	5	7
22/2	32	32	44	3,9	6,3







E

Mätresultat grupprum

*Tabell E.1: Antal personer som befann sig i SB-G305 under mätningarna, samt utetempe-
raturen vid de olika mättillfällerna.*

Mätdag	Antal personer förmiddag	Antal personer eftermiddag	Utetemp. förmiddag	Utetemp. eftermiddag
17/2	2	2	5,1	2,4
28/2	2	2	6	4,2
3/3	2	2	4,8	5,1
9/3	5	5	5,2	5,3
10/3	6	6	2,7	5,2
13/3	2	2	2,3	5,4

*Tabell E.2: Antal personer som befann sig i SB-G311 under mätningarna, samt utetempe-
raturen vid de olika mättillfällerna.*

Mätdag	Antal personer förmiddag	Antal personer eftermiddag	Utetemp. förmiddag	Utetemp. eftermiddag
17/2	2	2	5,1	2,4
28/2	2	2	6	4,2
3/3	2	2	4,8	5,1
9/3	5	-	5,2	5,3
10/3	5	5	2,7	5,2
13/3	6	5	2,3	5,4

