



CHALMERS



Inverkan på luftkvalité av växtväggar med ätbara krukväxter

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

Jesper Söderlund
Anton Käll Frisk

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITETKUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2020
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Inverkan på luftkvalité av växtväggar med ätbara krukväxter

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

JESPER SÖDERLUND

ANTON KÄLL FRISK

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2020

Inverkan på luftkvalité av växtväggar med ätbara krukväxter

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

JESPER SÖDERLUND

ANTON KÄLL FRISK

© JESPER SÖDERLUND/ ANTON KÄLL FRISK, 2020

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2020

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Färdigställd aktiv växtvägg med ätbara krukväxter. Bilden är tagen på Bengt Dahlgren av författarna.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2020

Inverkan på luftkvalité av växtväggar med ätbara krukväxter

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

JESPER SÖDERLUND

ANTON KÄLL FRISK

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Inomhusmiljö är en miljö som människor numera tillbringar stora delar av sitt liv i, en miljö som fortfarande är främmande för oss då vi ursprungligen har befunnit oss i miljöer präglade av växter och annan grönska. Till följd av lågenergihus och att fler tekniska apparater tar plats, är dessa miljöer ofta förorenade och människor som vistas där riskerar att få negativa hälsoeffekter som huvudvärk, hosta, yrsel, trötthet, illamående och slemhinnor med nedsatta funktioner. Detta är ett syndrom som studerats aktivt och som kallas ”Sjuka hus-sjukan”.

Denna rapport behandlar olika föroreningars egenskaper, teori bakom hur växtväggar fungerar och de processer växtväggar använder för att rena luften från föroreningar. Rapporten behandlar även olika metoder för att rena luften med hjälp av växtväggar, dels genom tidigare litteraturstudier, dels genom egna undersökningar. Syftet med rapporten är att tillsammans med teknikkonsultföretaget Bengt Dahlgren, som inriktar sig på samhällsbyggnad, undersöka vilken reningseffekt växtväggar med ätbara krukväxter har på luften i kontorsmiljöer. Detta undersöktes med hjälp av tidigare litteraturstudier, mätningar på en framtagna passiv växtvägg från forskningsarenan HSB Living Lab, samt mätningar på en egenframtagna aktiv växtvägg på Bengt Dahlgren. HSB Living Lab är samarbetspartner med både Chalmers tekniska högskola och Bengt Dahlgren, och deras mål är att skapa framtidens boende.

Mätningar från Bengt Dahlgren och HSB Living Lab visar att luftförorening av partiklar och koldioxid minskar för mätningarna då den aktiva- och passiva växtväggen var på plats jämfört med då de inte var på plats. Detta om man jämför mätresultaten mellan samma mätinstrument de utfördes med, samt bara tittar på mätningarna som utfördes under fyra timmar.

Tillförlitligheten av mätningarna kan diskuteras då mätningarna påverkas av till exempel utomhusluften samt olika händelser som att mätningarna skedde i en inomhusmiljö där människor rörde sig fritt.

Nyckelord: Föroreningar, partiklar, koldioxid, växtvägg, inomhusmiljö, ventilation, biofiltrering, odlingsmedium, välmående, växter

Green walls with edible houseplants on impact on air quality

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

JESPER SÖDERLUND

ANTON KÄLL FRISK

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Installation technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Indoors has become the environment in which most people in the modern world spend their time. This setting is still in large parts foreign to us compared to the greenery and outdoors humans are used to. A consequence of optimizing energy usage in housing and an increased usage of technical apparatus is that these environments often become polluted. This can lead to that the people working in these environments encounter negative health effects, such as dizziness, fatigue, and even pneumonic related issues. This effect has been thoroughly studied and is termed “Sick building syndrome”.

This report considers the properties of different impurities, the theory behind green walls, and the processes which green walls use to purify the air. The report also considers different methods the clean the air with the aid of green walls, both by literature studies of previous research and by conducting our own experiments. The purpose of the study is with the help of the installation technology consultancy Bengt Dahlgren to study the effect a green wall with eatable plants has on an office environment. This is researched by literature studies, measuring the effects of a passive green wall in the research facility HSB Living Lab, and by constructing and measuring the effect of an active green wall in an office environment at Bengt Dahlgren.

Measurements from Bengt Dahlgren and HSB Living Lab presents an improvement in air quality for both the active as well as the passive green wall. Both measurements display a decrease in particles and carbon dioxide levels when the walls are installed compared to when they are not. This is when you compare the measurements between the same instruments they were performed with and only look at the measurements that were performed for four hours.

The credibility of the measurements is discussed as there are multiple sources of error with have not been accounted for whilst conducting the studies.

Key words: Pollutants, particles, carbon dioxide, green wall, indoor environment, ventilation, biofiltering, growth medium, health, plants

Innehåll

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Frågeställning	2
1.4	Metod	2
1.5	Avgränsningar	2
2	LUFTKVALITÉ	3
2.1	Föroreningar	3
2.1.1	VOC	3
2.1.2	Koldioxid	3
2.1.3	Partiklar	4
2.2	Luftfuktighet	4
2.2.1	Komfort	5
2.2.2	Sjukdomar	5
2.2.3	Bakterier	5
2.2.4	Virus	5
2.2.5	Kvalster	5
2.2.6	Svamp	5
2.3	Tidigare arbeten	6
2.3.1	Luftrening med växter	6
2.3.2	Biofilter	7
2.3.3	Botaniskt biofilter	8
2.3.4	Hydroponisk odling	9
3	METOD	10
3.1	Mätinstrument	10
3.2	Mätmiljö HSB Living Lab	10
3.3	Mätmiljö Bengt Dahlgren	11
3.4	Växtväggen	12
3.5	Placering av växter	14
3.6	Odlingsmedium	17
3.7	Val av fläkt	17
3.7.1	Utlopp	17
3.7.2	Radialfläkt	18
3.7.3	Axialfläkt	18

3.8	Vattencirkulation	20
3.9	Röktest	21
4	RESULTAT	23
4.1	Mätvärden från Bengt Dahlgren (aktiv växtvägg)	23
4.1.1	Koldioxid	23
4.1.2	Relativ luftfuktighet	25
4.1.3	Temperatur	27
4.1.4	Partiklar	29
4.1.5	Sammanfattning	31
4.2	Mätvärden från HSB Living Lab (passiv växtvägg)	33
4.2.1	Koldioxid	33
4.2.2	Relativ luftfuktighet	37
4.2.3	Temperatur	40
4.2.4	Partiklar	43
4.2.5	Sammanfattning	44
5	SLUTSATS	46
5.1	Framtida studier	46
6	REFERENSER	47

Förord

Detta arbete har utförts för Chalmers tekniska högskola med hjälp av teknikkonsultföretaget Bengt Dahlgren och forskningsarenan HSB Living Lab. Vi vill tacka alla på Chalmers Tekniska Högskola, Bengt Dahlgren och HSB Living Lab som har hjälpt oss med vårt arbete. Speciellt vill vi tacka Håkan Larsson som har hjälpt oss med mätutrustningen, vår handledare på Bengt Dahlgren Pär Larsson, Max Tillberg från Bengt Dahlgren, Anders Trüschel och Torbjörn Lindholm från Chalmers tekniska högskola. Vi vill även tacka Jesper Knutsson och Jenny Forshufvud som hjälpt oss på HSB Living Lab.

Göteborg juni 2020

Jesper Söderlund
Anton Käll Frisk

Beteckningar

c_{in}	$\frac{kg}{m^3}$	Koncentration in
c_{ut}	$\frac{kg}{m^3}$	Koncentration ut
m	kg	Vikt koncentration
t	d	Days (tid)
T	$^{\circ}C$	Temperatur
X	$\frac{g}{m^3*d}$ eller $\frac{g}{m^2*d}$	Volym eller bladarea

BTF	Biotrickling filter
CADR	Clean Air Delivery Rate (volym ren luft som framställs per minut)
CO ₂	Koldioxid
HVAC	Heating, Ventialting, Air conditioning
RH	Relative Humidity (relativ luftfuktighet)
PBTF	Plant-assisted biotrickling filter
PM ₁₀	Partiklar mindre än 10 mikrometer
PM _{2,5}	Partiklar mindre än 2,5 mikrometer
PPM	Part Per Million (miljondels volymkvot)
VOC	Volatile Organic Compound (flyktiga organiska ämnen)

1 Inledning

Idag tillbringar människor en större del av sin tid i inomhusmiljöer, men är dessa miljöer verkligen gynnsamma för oss människor? Vår ursprungliga miljö är ute i naturen bland växter och annan grönska. När vi vistas i inomhusmiljöer vistas vi många gånger i miljöer som vi inte är anpassade för. Växter har setts som något som ger ett förbättrat inomhusklimat, både fysiskt och psykiskt. Det har utförts ett flertal studier kring växters påverkan på luften men försök att effektivisera växters luftreningsförmåga utvecklas hela tiden. Vi ska undersöka om växtväggar med ätbara krukväxter påverkar luftkvaliteten i ett kontorslandskap för att se om det kan användas för att skapa en bättre inomhusmiljö.

1.1 Bakgrund

Med större fokus på lågenergihus och då fler tekniska apparater placeras i byggnaderna blir föroreningar ett växande problem. Symptom som kan uppstå vid vistelse i dåligt inomhusklimat är huvudvärk, hosta, yrsel, trötthet, illamående och nedsatta funktioner för slemhinnor. Dessa symptom har en direkt koppling till koldioxidhalten i rummet. Genom att mäta koldioxidhalten får man ett mått på hur förorenad luften är. En hög koldioxidhalt är däremot inte farlig för oss människor men ger en indikation på hur förorenad luften är. Dålig luftkvalitet är vanligt förekommande i kontorsmiljöer (Jafari, Khajevandi, Karamali, & Zabeti, 2018).

För att minska luftföroreningarna har ventilationen en viktig roll då den för bort förorenad luft inomhus för att ersätta den med ren och frisk luft utifrån. Däremot kan luften som tas utifrån fortfarande innehålla en hel del föroreningar, speciellt idag då luftföroreningarna ständigt ökar på grund av människans handlingar. Att filtrera bort alla föroreningar i ventilationen är kostsamt. Det kan även vara svårt att bara använda sig utav ventilationen för att ta bort luftföroreningarna som uppstår inomhus då ett stort luftflöde behövs för att föra bort samt späda ut föroreningarna. Därför kan en luftrenare vara användbar för att få en så hälsosam inomhusmiljö som möjligt (Arbetsmiljöverket, 2019). Wolverton skriver att tester har gjorts för att minska luftföroreningarna och Sjuka hus-sjukan genom att öka luftflödet i ventilationen. Det man kom fram till var att luftföroreningarna inte försvann helt (Wolverton & Wolverton, 1996).

Att använda växter som luftrenare har länge varit ett omtalat ämne. Växters renande effekt på luften studerades till exempel redan på 1770-talet av Joseph Priestly som även kallas syrets upptäckare, han påstår att växterna renar luften. Bland de mest omtalade studierna är Nasas studier av växter från 1980-talet där resultatet var att växter kan användas som luftrenare (Wolverton & Wolverton, 1996).

Idag är man skeptisk till om dessa studier gjordes med rätt förutsättningar. Tord Larsson skriver följande "Bland annat kan man ifrågasätta mätningarnas genomförande, behandlingen av erhållna mätdata samt den okritiska överföringen av data från mätningar på enskilda isolerade växter till större öppna växtsystem". Larsson menar att det går att använda växter som luftrenare. Däremot skulle det krävas överdrivet många växter (Larsson, 2004).

Professorn Elliott Gall, som studerar inverkan på luftkvalitet av byggnader inom samhällsbyggnadsteknik, menar att bara använda passiva växter för att rena luften från föroreningar inte rena luften tillräckligt effektivt, utan det krävs någon form av aktiv luftrening där man för luften genom ett filter för att uppnå önskad effekt (Gibbens, 2019).

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att se om växtväggar med ätbara krukväxter kan användas som luftrenare för att skapa ett bättre inomhusklimat och om så är fallet, i vilken utsträckning.

1.3 Frågeställning

Hur påverkar växtväggar med ätbara krukväxter luftkvaliteten med hänsyn till koldioxid, partiklar och flyktiga organiska ämnen (VOC).

1.4 Metod

Två växtväggar med ätbara krukväxter kommer att undersökas gällande luftpåverkan i inomhusmiljöer, en egentillverkad aktiv växtvägg på Bengt Dahlgren där ätbara krukväxter placeras vertikalt i en vägg för att sedan med hjälp av fläktar dra luft genom dess rötter samt mediet växten är placerad i, och en passiv växtvägg på HSB Living Lab framställd av dem. Mätningarna kommer att ske med hjälp av Chalmers tekniska högskolas- och HSB Living Labs mätinstrument.

Följande mätningar kommer utföras på den egenframtagna aktiva växtväggen:

- Mätning i kontor utan växtvägg.
- Mätning i kontor med vägg utan växter.
- Mätning i kontor med vägg med växter.

Följande mätningar kommer utföras på HSB Living Labs växtvägg:

- Mätning i inomhusmiljö utan växtvägg.
- Mätning i inomhusmiljö med växtvägg.

Den fakta som presenteras är främst från litteraturstudier av tidigare arbeten samt från egna undersökningar.

1.5 Avgränsningar

De föroreningar som kommer att undersökas är gaserna VOC och koldioxid, samt partiklar mellan 0.02 – 1 mikrometer. Lufttemperatur och luftfuktighet kommer att mätas. Växterna kommer vara ätbara krukväxter. Belysning kommer inte mätas. Mätningarna kommer ske i ett kontorsliknande utrymme. Inverkan på människans hälsa genom att inta krukväxterna kommer ej undersökas.

2 Luftkvalité

För att människors ska kunna vistas och må bra i inomhusmiljöer under längre perioder, behöver föroreningar som människor producerar tas omhand. Detta görs i vanliga fall med hjälp av ventilation, där den förorenade luften transporteras ut och fräsch luft flödar in (Folkhälsomyndigheter, 2019). Det finns olika sorters ventilation, de primära är självdrag, mekanisk frånluft, mekanisk frånluft med värmeåtervinning, mekanisk från- och tilluft och mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning. I moderna ventilationssystem i kontorsbyggnader används även filter i ventilationssystemet för att avlägsna partiklar från luften. Föroreningar så som ozon och VOC kan också filtreras bort. Detta sker då med hjälp av kemiska reaktioner i filtret och är mer specialiserat.

I rummet kan också luftrenare placeras för att bidra till friskare luft. De fungerar likt ventilationssystemet men istället för att nyttja uteluften så filtrerar de luften i rummet.

2.1 Föroreningar

Enligt Naturvårdsverket (2020) är de vanligaste luftföroreningarna kväveoxider (NO_x), lättflyktiga organiska ämnen (VOC), samt partiklar av olika storlekar. De olika föroreningstyperna har varierande ursprung, så utsattheten i olika miljöer varierar i hög grad.

2.1.1 VOC

Lättflyktiga organiska ämnen, eller på engelska: volatile organic compounds (VOC) är ett samlingsnamn för flyktiga organiska ämnen med kokpunkt mellan 50 och 260 C (Karolinska Institutet, 2014). VOC beskrivs som allmänna föroreningar som finns i inomhusmiljöer med olika ursprung.

Dess påverkan på mänsklig hälsa beskriver Karolinska Institutet (2014) vara liknande de symptom som upplevs vid dålig luftkvalitet, som irritation i ögon och luftvägar. Folkhälsomyndigheten (2018) säger att VOC i inomhusmiljöer främst har sitt ursprung från byggnadsmaterial, och det ämne som flest studier har gjorts på är formaldehyd.

2.1.2 Koldioxid

Koldioxid är en gas som har stor påverkan på miljön, då det är den mest dominant källan till växthuseffekten, som gör att jordens medeltemperaturer ökar och klimatet förändras (Naturvårdsverket, 2020). Även om en högre koldioxidhalt inte är farlig för människor, så kan symptom som matthet ändå upplevas.

Halten koldioxid i luften mäts i ppm, och i Sverige har ett gränsvärde för inomhusluft satts till 5000 ppm, då hälsorisker först kan uppstå vid högre koncentration. Koldioxid produceras främst då människor andas, så ju fler människor som befinner sig i ett rum, desto högre kommer koldioxidhalten vara och därmed också behovet av ventilation. Lösningen för att sänka koldioxidhalten i inomhusmiljöer är att ventiler ut den förorenade luften och ventiler in utomhusluften, som generellt ligger runt 400

ppm. En koldioxidhalt under 1000 ppm eftersträvas att uppnå, och för att klara detta behövs enligt Arbetsmiljöverket (2020) ungefär 8 liter per sekund och person.

2.1.3 Partiklar

Partiklar har funnits i naturen även innan människan kom in i bilden, såsom pollen, skogsbränder och vulkaniska rörelser. Det har däremot inte alls varit på samma skala som den mängden partiklar som skapas av biprodukter av mänskliga aktiviteter. De farligaste partiklarna anses vara partiklarna som uppkommer som en biprodukt av förbränning, främst förbränning av fossila bränslen.

Forskning har visat att både vad partiklarna består av och deras storlek har betydande påverkan på människans hälsa, men förordningar och forskning har hittills lagt större vikt på storleken av partiklarna.

Generellt delas partiklarna upp i tre grupperingar: PM10, PM2,5, och Ultrafina partiklar.

PM10 står för vikten av alla partiklar per m³ luft som har en diameter på upp till 10 mikrometer. Dessa partiklar når sällan ner till lungorna, utan fastnar istället i halsen och näsan, och kan därmed vara orsak till andningsbesvär. PM10 är ett större problem i urbana miljöer, då dess uppkomst till stor del kan kopplas till däckslitage. Naturvårdsverket (2019) säger att gränsen för PM10 ofta överskrids i stora och mellanstora städer, därför har åtgärder så som dubbdäcksförbud samt dammbindning implementerats.

Den något finare mätningen av partiklar; PM2,5 innefattar vikten av de partiklar som har en storlek på <2,5 mikrometer. Källan av denna partikelstorlek är främst förbränning och i Sverige är intransport från andra länder en betydande källa för dem, så Naturvårdsverket (2019) menar att södra Sverige är mer exponerat än de norra delarna, då regionen är närmre föroreningarnas ursprungsländer.

På grund av tillgängligheten av mätutrustning är de partiklar som kommer mätas i denna studie PM1. Forskning och förordningar har enligt Chen et al. (2017) inte gjorts till samma grad för denna partikelstorlek jämfört med PM10 och PM2,5, men dess effekter på hälsan liknar de som orsakas av PM2,5, då en stor del av dess effekter beror på PM1 (Chen et al., 2017).

Det är lätt att tro att de inandade partiklarna har störst påverkan på kroppens lungsystem, men Brugge (2018) menar att det faktiskt är kroppens hjärt- och kärlsystem partiklarna faktiskt har störst påverkan på.

2.2 Luftfuktighet

För mänsklig komfort i ett rum så spelar luftfuktigheten och lufttemperatur en väsentlig roll. De två är kopplade då den upplevda temperaturen kan ses som en funktion av de båda.

Det kan tänkas att absolut fuktighet istället skulle vara det mer relevanta, men när det gäller kvalster i luften så säger Baughman och Arens (1996) att det är den relativa fuktigheten som är den dominanta faktorn.

2.2.1 Komfort

Vattenmängden i luften påverkar den termiska komforten för människor. Då fuktigheten i luften ändras så ändras också den upplevda temperaturen samt påverkar hur luften upplevs, då den till exempel kan upplevas som torr och dammigare då den relativa fuktigheten är låg.

2.2.2 Sjukdomar

Smittsamheten av sjukdomar i inomhusmiljöer menar Arundel, Sterling, Biggin och Sterling (1986) är beroende av sex faktorer. Antalet smittade som producerar den kontaminerade luften, antalet smittbara, exponeringstid, flödesomsättningen, de kontaminerade partiklarnas sedimenteringstid, samt patogenens överlevnad. Av dessa faktorer så är sedimenteringstiden och patogenens överlevnad påverkbara av fuktighetshalten.

Sedimentationstiden för partiklarna påverkas ytterst lite vid RH 50–70% skriver Arundel et al. (1986), men vid högre fuktighetshalter finns risk för snabbare sedimentationshastigheter, och därmed minskar risken för smittspridning, då risken för exponering minskar.

2.2.3 Bakterier

Den relativa fuktighetens påverkan på lunginflammationsorsakande bakterier såsom TB, legionella och mjältbrand är relativt okänd. Studier på andra bakterier såsom E. coli har däremot visat stora skillnader på dess spridning beroende på den relativa fuktigheten. Bakterierna har högre överlevnadschans vid luftfuktigheter under 40 % och över 60 %. Detsamma gäller nära besläktade bakterier.

2.2.4 Virus

Virus smittar till största del via kontakt, dock sker också viss luftburen spridning. Laboratoriestudier har enligt Arundel et al. (1986) visat att liksom bakterier minskar virus överlevnadschans då den relativa fuktigheten är mellan 40 och 70 %.

2.2.5 Kvalster

Till skillnad från de patogena partiklarna påstår Arundel et al. (1986) att kvalsters överlevnadschans ökar då den relativa fuktigheten ökar, medan de i en torr miljö har sämre förutsättningar.

2.2.6 Svamp

Arbetsmiljöverket (2020) skriver att mögel kan ge upphov till allergibesvär och andra hälsobesvär. Vidare skriver de att mögelsvamp trivs bäst i fuktiga miljöer, även

Arundel et al. (1986) skriver att svamp kräver en relativ fuktighet på minst 75 % för att kunna växa.

2.3 Tidigare arbeten

Att använda växter för att förbättra luftkvaliteten är något som undersökts tidigare. Bland annat har man undersökt vilka delar av växten som har störst inverkan på förbättring av luftkvaliteten samt vilka för- och nackdelar det finns med olika odlingsmedium.

2.3.1 Luftrening med växter

Att använda växter som luftrenare började studeras tidigt och år 1772 experimenterade Joseph Priestley med växter genom att först förorena luften i en behållare för att sedan placera en växt i behållaren. Resultatet var att luften renades från föroreningarna. Priestley sade följande kring experimentet “. . . plants, instead of affecting the air in the same manner with animal respiration, reverse the effects of breathing, and tend to keep the atmosphere sweet and wholesome, when it is become noxious, in consequence of animals living and breathing, or dying and putrefying in it” (Brennan, 2015).

Med Wolverton i täten utförde National Aeronautics and Space Administration (NASA) ett antal studier på växters inverkan på luftkvaliteten under 1980 – talet. Dessa kom att bli väldigt omtalade. NASA antog att vistelse i ett utrymme utan några växter var långt ifrån det naturliga för oss människor och att människan är beroende av växter för att få bästa möjliga hälsopåverkan. De trodde bland annat att växter kunde lösa Sjuka hus-sjukan (Wolverton, Johnson, & Bounds, 1989).

Experimenten på växterna utfördes främst genom att först förorena en sluten kammare för att sedan placera en växt där tillsammans med cirkulerande ventilation. Från studierna visade det sig bland annat att växternas rotsystem tillsammans med jorden var den delen av växterna som hade störst påverkan på VOC. NASA säger även att växter som kräver lite belysning är bra för att ta bort VOC (Wolverton et al., 1989).

I ett utav experimenten NASA utförde använde de växters rötter tillsammans med jord och aktivt kol som odlingsmedium och sedan tillfördes förorenad luft med hjälp av en fläkt. Teorin bakom är att föroreningar absorberas av kolfiltret varav de sedan tillsammans med mikroorganismer runt rötterna bryts ned som näringsämne till växten. NASA mätte sedan frånluften vilken konstaterades var fri från patogena mikroorganismer. (Wolverton et al., 1989).

Michael Waring, en ingenjör inom samhällsbyggnadsteknik, menar att tidigare tester som gjorts på växters luftreningsförmåga inte återspeglar verkligheten, utan att resultatet hade sett annorlunda ut om experimenten skett med andra förutsättningar. I NASA:s studier utfördes de flesta experimenten i en försluten testkammare. Waring menar att testerna på växterna behöver vara mer verklighetsanpassade där man till exempel framställer en mer kontorsanpassad miljö (Gibbens, 2019).

Han tog därför reda på CADR (volym ren luft som framställs per minut) för miljön han utförde testerna i. Genom detta såg han vilken påverkan en växt har på luftkvaliteten jämfört med en luftrenare eller vädring. Waring säger följande kring resultatet "Plants, though they do remove VOCs, remove them at such a slow rate that they can't compete with the air exchange mechanisms already happening in buildings," (Gibbens, 2019).

2.3.2 Biofilter

Att använda filter för att samla upp föroreningar är en teknik som används i många olika sammanhang, men principen är densamma för dem alla. Till exempel används ett filter i vattenreningsverk när man vill separera vattnet från föroreningar. En metod för att rena luften från föroreningar är att filtrera bort dem (Alenius & Hermansson, 2016).

Att rena med ett biofilter är ekonomiskt hållbart. Ett biofilter samlar upp förorenad luft och ämnen lösta i vatten genom processer som adsorption, absorption och biooxidation, för att sedan bryta ned dem till biomassa eller låta dem oxidera bort då mikroorganismer använder föroreningarna som näringsämne. Mediet till biofiltret kan till exempel vara det organiska mediet jord, torv eller kompost, vilket gör biofiltret till ett poröst paketerat material (Khammar, Malhautier, Degrange, Lensi, Godon, & Fanlo, 2004; Öqvist, 2018; Hamberg, 2007).

Istället för att bara använda ett medium som jord till biofiltret kan man effektivisera biofiltreringen genom att blanda in tillskottsmaterial, som till exempel de inerta materialen porös lera, polystyren sfär eller perlit. Detta leder till att nedbrytningsprocessen ökar och tryckfallen minskar i biofiltret (Tonekaboni, 1998). Man kan även blanda in aktivt kol i mediet för att få en ökad luftreningseffekt då det aktiva kolet binder föroreningar (Visser, 2017).

Det biologiska mediet i biofiltret är avgörande för hur väl biofiltreringsprocesserna fungerar. Det finns fem viktiga egenskaper som krävs av mediet:

- Det ska vara näringsrikt för att mikroorganismer ska frodas.
- En mångfaldig mikrobisk miljö.
- Ytarens storlek ska vara stor då flödet kan öka och möjligheten att absorbera gaser vilket ger en större effektivitet.
- Fukthalten ska vara hög, detta bland annat för att hydrolysen ska fungera.
- Tillräckligt hög porositet för att undvika tryckförluster i filtret.

Då föroreningar kan innehålla låga pH halter är det även bra om mediet har en buffertkapacitet så att pH halten förblir relativt oförändrad i mediet (Tonekaboni, 1998).

Storleken på filtret spelar en stor roll. Filter med mindre porstorlek har problem med tryckförluster och höga friktioner. För att motverka hur snabbt filtret mättas spelar djupet på filtret roll. Genom att använda ett djupare filter kan flera ämnen samlas upp innan filtret mättas vilket minskar underhållet, då man till exempel inte behöver byta filtret lika ofta. Däremot kan man behöva använda sig utav två olika filter med olika porstorlekar för att dra nytta av filterdjupen, då ämnena som samlas upp ofta har olika storlekar (Alenius & Hermansson, 2016).

Genom att aktivt föra luft eller vatten genom ett biofilter kan man rena större volymer genom att man utnyttjar högre flöde. Detta kallas även aktiv biofiltrering (Soreanu, Dixon, & Darlington, 2013).

2.3.3 Botaniskt biofilter

Att bara använda ett biologiskt medium som biofilter för att rena luften leder till att man måste byta medium med jämna mellanrum, dels då det organiska ämnets kvalitet försämras efter ett tag, dels då det mediet kan bli mättat eller komprimeras vilket leder till lägre luftflöde genom mediet (Cummings, 2017; Tonekaboni, 1998)

För att effektivisera biofiltret och öka nedbrytningen av föroreningarna kan man plantera en växt i det biologiska mediet. Växternas rötter avger hela tiden nytt organiskt material till odlingsmediet vilket gör att mikroorganismerna hela tiden fortsätter att bryta ned föroreningarna utan att man behöver byta ut odlingsmediet. Denna process kallas botanisk biofiltrering som är en blandning mellan biofiltrering och fyrtomediering. Hur botanisk biofiltrering hanterar föroreningar kan sammanfattas med följande fem steg (Soreanu et al., 2013; Cummings, 2017; Öqvist, 2018)

- Nedbrytning kring rötterna med hjälp av mikroorganismer.
- Fytoextraktion, biomassans lagring av föroreningar lösta i vätska vid upptag av rötterna.
- Upptag av gaser genom klyvöppningarna.
- Fytodegradering, nedbrytning av föroreningar genom metabolism.
- Fytovolatilisering, föroreningen avdunstar vid transpiration.

Den nedbrytningsprocess som främst sker är nedbrytning kring rötterna med mikroorganismer. Växten utsöndrar ämnen och ger en ökad mängd mikroorganismer till rhizosfären vilket ökar nedbrytningen av föroreningar. Förenklat sett kan man säga att fyto Remediering sker då växterna vill växa och fortplanta sig. För detta kräver växterna näring och vatten. Mikroorganismerna har även en förmåga att anpassa sig efter förändringar, vilket innebär att de är effektiva att använda sig utav för att bryta ned en mängd olika föroreningar (Andersson & Svensson, 2007; Öqvist, 2018).

Kapaciteten för botanisk biofiltrering kan beskrivas med hjälp av ekvationer, där den totala nedbrytningskapaciteten fås genom att multiplicera borttagningseffekten med totala belastningen, se tabell 1 (Soreanu et al., 2013).

Tabell 1 Ekvationer för att räkna ut kapaciteten för botanisk biofiltrering (Soreanu et al., 2013).

Borttagningseffekt [%]	Belastning $[\frac{g}{m^3 * d}]$ eller $[\frac{g}{m^2 * d}]$	Nedbrytningskapacitet $[\frac{g}{m^3 * d}]$ eller $[\frac{g}{m^2 * d}]$
$\frac{c_{in} - c_{ut}}{c_{in}} * 100$ (1)	$\frac{m}{X * t}$ (2)	(1) * (2) (3)

c_{in} – Koncentration in, c_{ut} – Koncentration ut, m - Vikt koncentration, X – Volym eller bladarea, t – tid.

Att rena inomhusluften med botanisk biofiltrering är fortfarande i utvecklingsstadiet då det är ett avancerat samspel mellan växter, föroreningar och mikroorganismer som beaktas (Soreanu et al., 2013; Cummings, 2017).

2.3.4 Hydroponisk odling

Ett effektivt sätt att odla växter inomhus är genom att plantera växterna utan något biologiskt odlingsmedium som jord, utan låta rötterna komma i direktkontakt med vatten och näring. Detta kallas även hydroponisk odling. Mediet man använder är bara för att hålla växten på plats, som till exempel kokos, leca eller rockwool. Filtret som skapas av hydroponisk odling kallas BTF (biotrickling filter) och är en variant av ett biofilter. För att använda BTFs som luftrenare på ett effektivt sätt kan man föra luft igenom filtret med hjälp av till exempel en fläkt. Man får då ett system som kallas PBTF (plant-assisted biotrickling filter) (Soreanu et al., 2013).

Ett försök för att rena inomhusluften med PBTFs gjordes av Wang och Zang. De använde sig utav 8 växter som placerades i det icke-organiska ämnet materialskiffersten tillsammans med aktivt kol. Teorin bakom var att det aktiva kolet skulle ta upp föroreningar med adsorption och vattnet skulle absorbera föroreningar. Sedan skulle föroreningarna brytas ned kring rötterna som näringsämne åt växterna. Testerna utfördes först i en 54,4 m³ stor kammare. En fläkt användes för att skapa ett luftflöde på 680 m³/h genom filtret. Först användes PBTF-systemet utan några växter, sedan testades systemet med växter. Båda testen visade att PBTF effektivt tog bort VOC från luften, däremot ökade borttagningseffekten för testet med växter på plats. Däremot kunde det inte fastställas om föroreningarna bröts ned, då testperioden inte var tillräckligt lång (Wang & Zhang, 2011; Soreanu et al., 2013).

Sedan utfördes testerna i ett rum på 260 m³ där ett HVAC-system (Heating, Ventilating, Air conditioning) användes med ett luftflöde på 1563 m³/h. Denna gången användes en fläkt för att skapa ett luftflöde på 815 m³/h genom PBTFs filter. Testerna utfördes även under en längre tid jämfört med i första testet, nämligen 300 dagar. Detta testet visade att nedbrytningsprocesserna av föroreningar fungerade då inget tryckfall skapades i filtret under denna tid (Wang & Zhang, 2011; Soreanu et al., 2013).

Resultatet från dessa tester var att genom att använda PBTFs kunde en del av energin sparas istället för att använda ventilation för att få ett rent inomhusklimat. I båda testerna ökade även den relativa luftfuktigheten med 10 % – 20 % medan temperaturen sjönk mellan 0.5 °C – 1 °C (Wang & Zhang, 2011; Soreanu et al., 2013).

3 Metod

För att studera växtväggars effekt så studerades två fall; ett på en passiv växtvägg i ett öppet inomhuslandskap och en aktiv växtvägg där luft flödar genom växternas rötter för att på så sätt rena luften.

Den passiva växtväggen var konstruerad av GreenCityFarming och använde sig av hydroponisk odling. Väggen installerades vid en av entréerna till HSB Living Lab.

Den aktiva växtväggen var en vägg konstruerad av oss med hjälp av Bengt Dahlgren. Med de mätinstrument som var tillgängliga kunde koldioxidhalt, partiklar, temperatur och relativ fuktighet mätas.

3.1 Mätinstrument

För mätning av lufttemperatur, relativ fuktighet, och koldioxidhalt användes Koldioxidlogger Rotronic CP11.

Instrumentets osäkerhet för koldioxid är $\pm 30 \text{ ppm} \pm 5\%$ avläst värde, $\pm 2,5\%$ RF för luftfuktigheten och $\pm 0,3^\circ\text{C}$ (Swema).

Mätning av partiklar gjordes med P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525. Partiklar som mäts är mellan 0.02-1 mikrometer, alltså PM1.

3.2 Mätmiljö HSB Living Lab

HSB Living Lab är en byggnad och ett boende där forskningsexperiment utförs. Byggnaden har över 2000 sensorer som används för att ta fram data om luftfuktighet, koldioxidhalt, temperatur med mera.

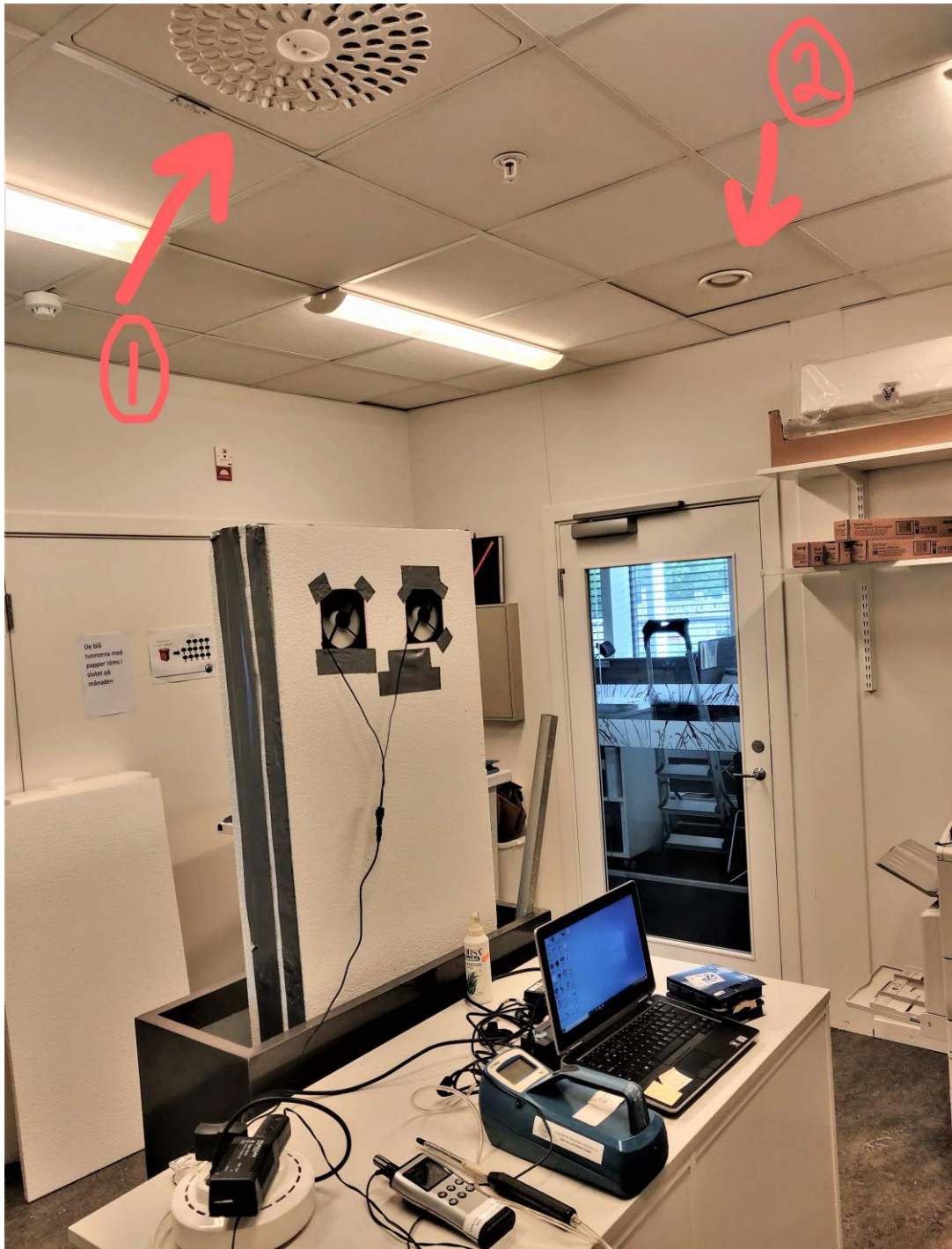
I en av hallarna installerade GreenCityFarming en växtvägg enligt figur 1. För att undersöka vilken påverkan väggen hade på omgivningen gjordes en mätning på koldioxid- och partikelhalten samt temperaturen och luftfuktigheten i rummet innan väggen var installerad och en vecka efter installation. Mätdata från en månads tid hämtades också från HSB Living Lab för att grafiskt avläsa om några skillnader kunde ses från när väggen installerats.



Figur 1: HSB Living Lab Växtvägg

3.3 Mätmiljö Bengt Dahlgren

I detta fall var mätningarnas miljö tänkt att likna ett kontorslandskap. För att simulera detta samtidigt som felkällor minskades användes ett kopiatorrum med ett konstant till och frånluftsflöde på 20 l/s och för att simulera aktivitet var en person i konstant i rummet. Rummet var inte avspärrat så viss aktivitet fanns då dörrar öppnades och rummet besöktes under korta intervall. Placering av till- och frånluftsdon kan ses i figur 2.



Figur 2: Bengt Dahlgren Kopierorrum

3.4 Växtväggen

Växtväggen som skulle arbetas på bestod till grunden av en metallram, i metallramen var en slang lagd för att förse det fastspända stålullsskiktet med vatten via vattenpumpen i botten av karet.

Det som krävdes för att kunna utföra mätningar på växterna var att få det lufttätt så att den cirkulerande luften endast kan flöda genom växterna. För att ett luftflöde genom växterna skulle kunna ske behövde därför ett undertryck skapas i väggen, detta gjordes med hjälp av fläktar.

För enkelhetens skull användes frigolit som material, då det uppfyller både kravet på lufttätthet och önskemålet om vattentålighet.

Vid val av växter var ett krav från Bengt Dahlgren att växterna skulle vara ätbara och då fokus lades på mätningar och inte just en specifik växts egenskaper så gjordes valet baserat på tillgänglighet. Basilika användes därför som växt. I figur 3 så kan krukan och växten ses.



Figur 12: Basilikakruka

För att öka ytan som luften ska flöda genom så togs botten bort av krukan så att rötterna blev helt exponerade, se figur 4. Detta gör också att om vattencirkulation används så är en större del av växten i direkt kontakt med den vattenfyllda stålullen.



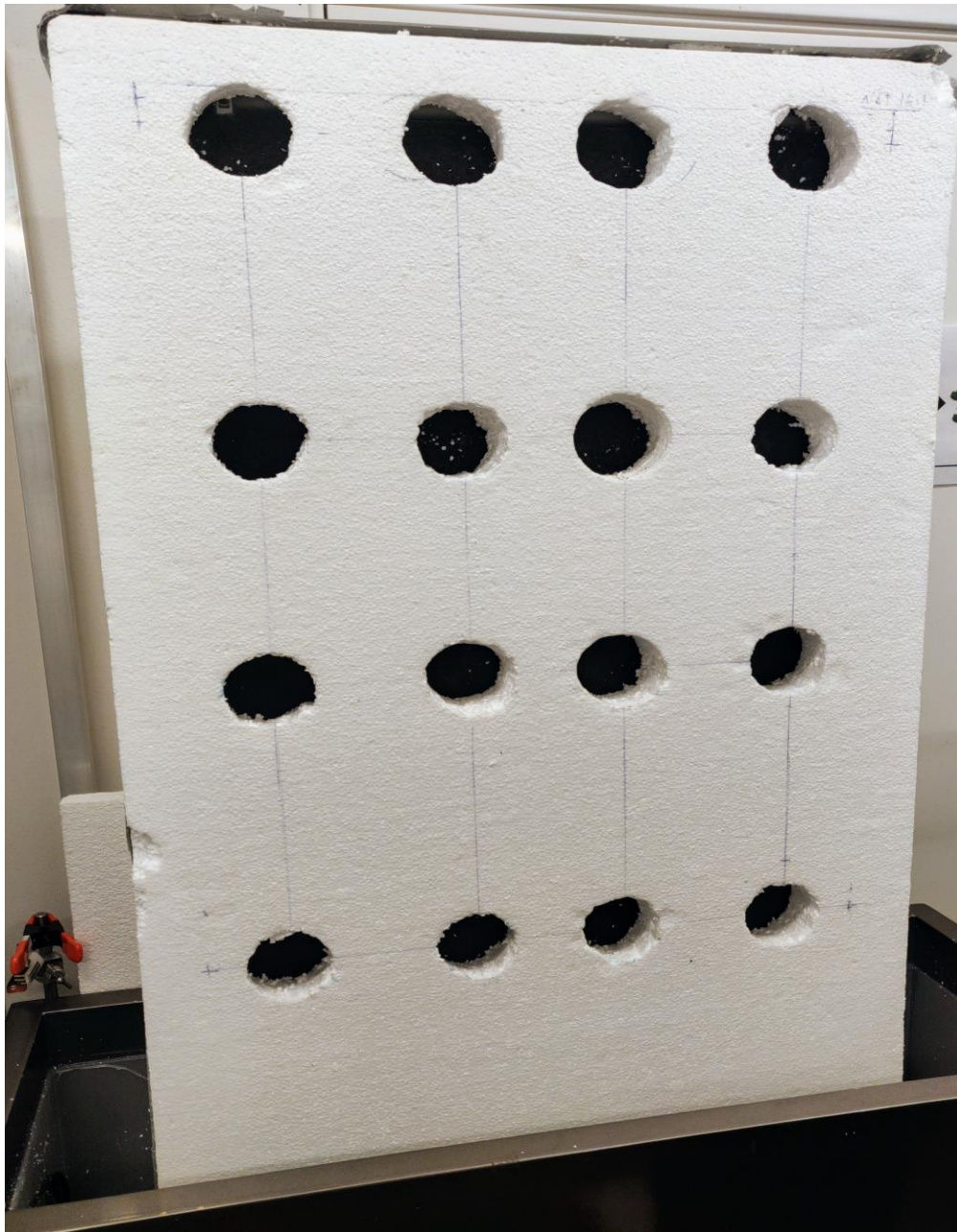
Figur 4: Botten av kruka

Vid luftflödessimulering så kunde det ses att luften hade svårigheter att flöda genom växten. En del av jorden i varje växt togs därför bort för att underlätta luftflödesmöjligheterna.

3.5 Placering av växter

Växternas påverkar fläktarnas placering, då ett homogent flöde vill uppnås, för att varje växt ska ha lika högt flöde. Placeringen av dem beror också på mängden växter och den tillgängliga ytan.

För estetikens skull var den ursprungliga tänkta mängden växter 16, då de kunde placeras i en formation enligt figur 5. Det var då tänkt att väggen skulle använda sig av fyra fläktar, en för varje kvadrant av hål, för att eftersträva homogent flöde.



Figur 5: Vegg med 16 hål för växter

Till en början kunde dock endast två fläktar införskaffas, de åtta nedre hålen täpptes därför igen så att de blev lufttäta. Åtta hål blev därför den mängd som användes för mätningarna, både med och utan växter i.

Krukan är 7 cm i diameter, och har därmed en yta på $38,5 \text{ cm}^2$. Växterna totala yta som luften flödar genom blir därmed 308 cm^2 i perfekta fall. Vid mätning med växterna såg väggen ut som figur 6.



Figur 6: Växtvägg vid mätning med växter

Växterna placerades vertikalt som kan ses i figur 7 för att underlätta flödesmöjligheterna.



Figur 7: Vertikal placering av växten

3.6 Odlingsmedium

På grund av förutsättningarna så användes vanlig jord som odlingsmedium, då plantorna köptes i krukor där de redan var planterade. Ett alternativ hade varit att hydroponiskt odla de växter som tänkts användas, men på grund av tidsbrist valdes istället denna metod. En möjlig nackdel med denna metod är att då vi mäter partiklar så finns risken att jordpartiklar fås med i utflödet, vilket bidrar till en egen källa av partiklar i luften, och då endast partikelstorlek mäts så går det inte att veta om det är fallet. Ytterligare en brist med denna metod är att då jorden och rötterna är tätt packade har luften ingen möjlighet att flöda genom växten, då porositeten är för låg. Denna brist löstes genom att avlägsna en del av jorden och till viss grad öppna upp växterna.

3.7 Val av fläkt

Luftflödet som fläkten ska ge upphov till beror till stor del på rummet. Det är också viktigt för vårt syfte att inte flödet är för högt så att växterna tar skada, samtidigt som det är högt nog för att ha någon effekt. Då luften behöver flöda genom växtens rötter och ett fuktigt skick så kommer tillräckligt högt tryck behöva nås för att klara av motståndet.

3.7.1 Utlopp

Kopplat till fläktar är också utlopp en faktor som behöver beaktas, då beroende på var utloppet placeras och hur det ser ut så kommer luftens omblandning i rummet variera.

De potentiella placeringarna av fläkten eller fläktarna är väggens baksida, ovansida, sidorna, eller placerat ovanför växterna.

Då rummet mätningarna utförs i är relativt litet och frånluftdonet kommer vara nära placerat var än väggen ställs, så anser vi att det blir lämpligast att sätta fläktarna på väggens baksida. Detta gör så att luften rör sig direkt genom växternas rötter och dess odlingsmedium, följt av det bevattnade stenullsskiktet och sedan ut genom fläkten. För att minska risken för ett inhomogent flöde används en luftspalt mellan fläktarna och stålullen.

3.7.2 Radialfläkt

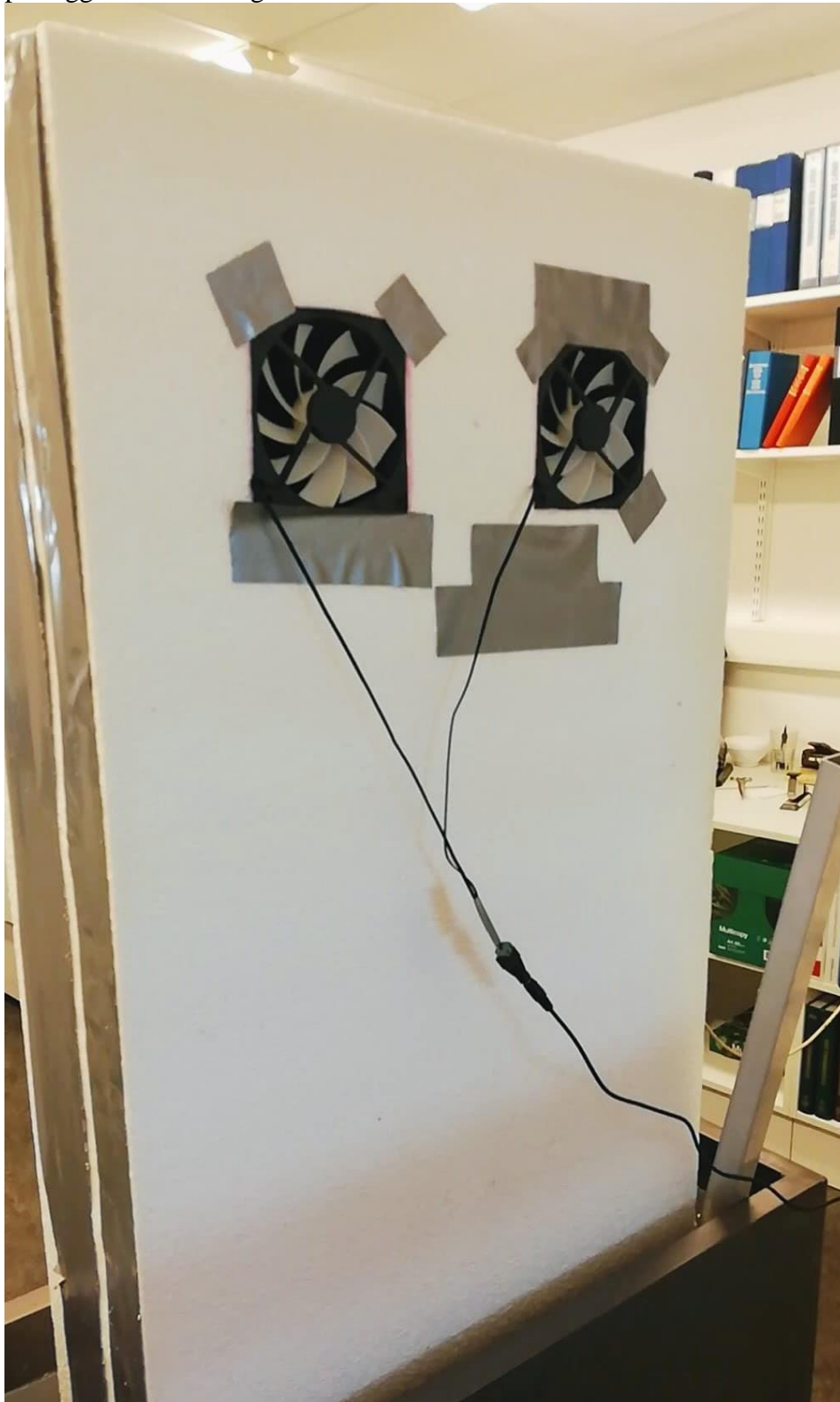
Radialfläktar används främst i system där luft ska ledas. Detta är för att radialfläktar kan ge upphov till högt tryckt även vid lägre flöden. Dessa fläktar hade troligtvis varit lämpliga att använda för att få luften att cirkulera genom växtens rötter, problemet med dem är att det är svårt att finns radialfläktar med lämplig storlek, då de generellt är dimensionerade för ventilationskanaler.

3.7.3 Axialfläkt

Små axialfläktars främsta användningsområde är för kylningssyften för elektronik och de är ofta energisnåla och kompakta. Axialfläkten gör att utloppet kommer hamna på väggens baksida, vilken kan öka eller förminska spridningen av luften baserat på hur väggen placeras i ett rum.

På grund av tillgänglighet så kommer små axialfläktar användas, fläktar med lämplig storlek och tillräckligt högt flöde är till exempel datorfläktar, vilket vi tänkte använda på grund av deras flexibilitet, tillgänglighet, låga ljudvolym samt storlek vilket gör dem lämpliga att använda för att minimera väggens tjocklek.

Två Arctic Cooling F12 120mm Fan Low Noise fläktar används för luftflödet (Arctic). En fläkt har ett flöde på 18 l/s, vilket betyder att det totala flödet genom väggen då blir 36 l/s och ett flöde på 4,5 l/s genom vardera växt. Fläktarnas placering på väggen kan ses i figur 8.



Figur 1: Placering av fläktar

3.8 Vattencirkulation

Visionen med väggen var ursprungligen att den skulle ha ett cirkulerande vattensystem där näringsämnen skulle tillsättas i vattnet och sedan pumpas runt i systemet. Väggen skulle då vara placerad i en tank som skulle fyllas med vatten, som sedan skulle pumpas upp i slangen längs med ramen och sedan flöda ut jämnt fördelat längs med ovansidan av stålullen. Bild av konstruktionen ses i figur 9.



Figur 9: Vattenslang samt stålull

På så sätt skulle växterna vara i direkt kontakt med vattnet och skötselbehovet av växterna skulle minska.

Istället valdes att inte använda vatten i systemet, då det skulle försvåra luftflödet. Växterna bevattnades istället manuellt. Stålullsfiltret valdes att ha kvar då vi ville undersöka om det hade någon renande funktion, då fortsatt framtida arbete kan tänkas använda sig av det för vattencirkulation.

3.9 Röktest

För att testa att luften faktiskt flödade genom växterna och väggen gjordes två röktest, ett för väggen utan växter (figur 10) och ett då luften flödar genom växterna (figur 11).



Figur 2: Röktest, luftflöde genom vägg



Figur 11: Röktest, luftflöde genom växten

Som kan ses i figur 10 var det ett tydligt luftflöde genom väggen då växterna inte var placerade. Flödet för röktestet som gjordes i figur 11 var inte lika homogent som det utan växter, utan det var tydligt att luften valde en specifik väg genom växtens rötter.

4 Resultat

Två olika växtväggar studerades angående vilken inverkan på luftkvaliteten de har, en aktiv växtvägg på Bengt Dahlgren och en passiv växtvägg på HSB Living Lab. Mätresultaten från de olika växtväggarna presenteras först i diagram där man ser hur mätvärdena varierar under mätperioden. Sedan presenteras en sammanfattning av medelvärdena för de olika mätvärdena i en tabell, tillsammans med mätvärden från stickprov i utomhusluften. Tidsperioden mätningarna utfördes under var antingen som ett stickprov, ett fyra timmars mätintervall eller en månads mätintervall. Det som mättes och redovisas är relativ luftfuktighet, temperatur, koldioxid och partiklar.

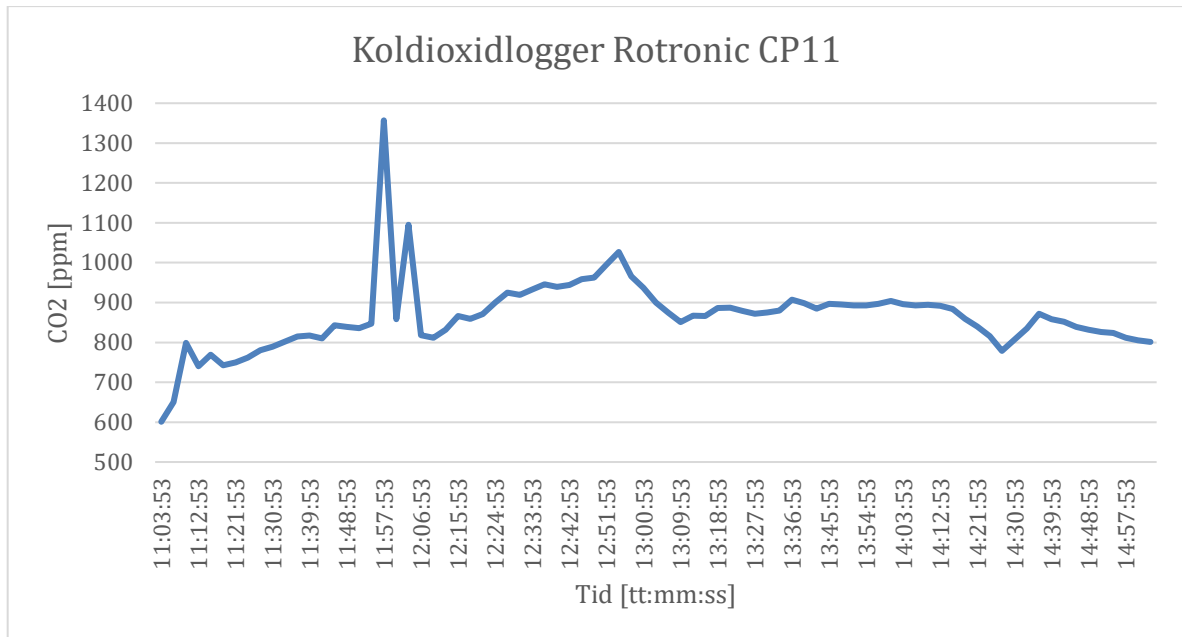
4.1 Mätvärden från Bengt Dahlgren (aktiv växtvägg)

Mätningarna på Bengt Dahlgren utfördes med Chalmers tekniska högskolas mätinstrument ”Koldioxidlogger Rotronic CP11” och ”P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525”. Mätperioden var antingen ett stickprov eller ett fyra timmars mätintervall. Mätningarna utfördes i ett kopiatorrum på ungefär 12 m² där en person konstant befann sig i rummet. Utöver detta besöktes rummet av 0 – 5 människor per timme, detta eftersom mätmiljön var tänkt att efterlikna ett verkligt scenario i ett kontorslandskap. Ett konstant till- och frånluftsflöde på 20 l/s användes i rummet.

4.1.1 Koldioxid

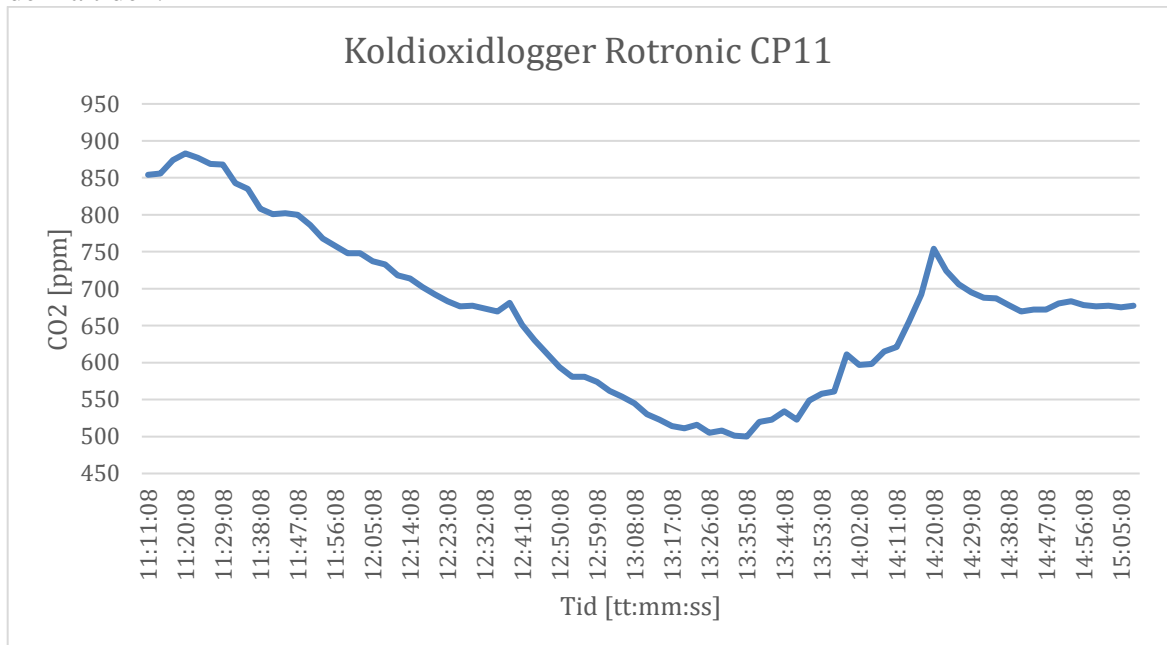
Här ser man hur koldioxidhalten varierar i rummet under ett fyra timmars mätintervall. De tre olika mätmiljöerna som undersöktes var *kopiatorrum utan vägg*, *kopiatorrum med vägg utan växter* och *kopiatorrum med aktiv växtvägg*.

Mätningen i mätmiljön *kopiatorrum utan vägg* (Figur 12) visar att koldioxidhalten är relativt oförändrad under hela mätperioden. Däremot kan man vid tidpunkten 12:00:00 se hur koldioxidhalten kraftigt ökar under en kortare period för att sedan snabbt sjunka igen. Detta kan till exempel bero på att rummet besöktes av människor vid denna tiden.



Figur 12: Mätning av koldioxidhalt på Bengt Dahlgren i kopiatorrum utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-05-20 under tidsperioden 11:00:00 – 15:00:00.

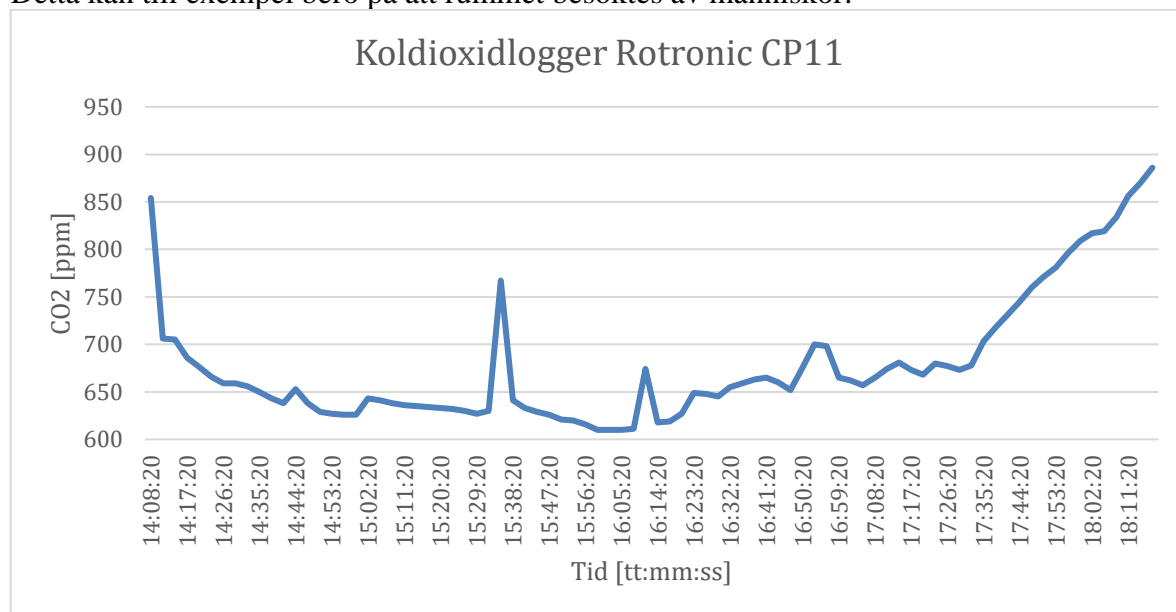
För mätningen i mätmiljön *kopiatorrum med vägg utan växter* (Figur 13) ser man hur koldioxidhalten konstant minskar under ungefär två timmar för att sedan öka igen. Detta kan bero på att rummet tidigare var förorenat men när man startade fläktarna på väggen utan växter och förde luften genom stålullskiktet filtrerades dessa bort. Att koldioxidhalten ökade i slutet kan bero på att flera människor besökte rummet under denna tiden.



Figur 13: Mätning av koldioxidhalt på Bengt Dahlgren i kopiatorrum med vägg utan växter. Mätningarna utfördes 2020-05-28 under tidsperioden 11:00:00 – 15:00:00.

Mätningen i mätmiljön *kopiatorrum med aktiv växtvägg* (Figur 14) visar hur koldioxidhalten i början av mätperioden först minskar kraftigt för att sedan vara relativt oförändrad ett tag för att sedan öka kraftigt igen. Detta kan bero på att luften

var förorenad men när de två axialfläktarna på den aktiva växten startades och förde luften genom växternas rötter tillsammans med jorden filtrerades föroreningarna bort. Även stålullsskiktet kan ha filtrerat föroreningarna. Att sedan koldioxiden ökar kraftigt på slutet kan bero på att dörrarna till kopiatorrummet öppnades under en längre period. Vid tidpunkterna 15:30:00 och 16:10:00 kan man se hur koldioxidhalten kraftigt ökar under en kortare period för att sedan snabbt sjunka igen. Detta kan till exempel bero på att rummet besöktes av människor.



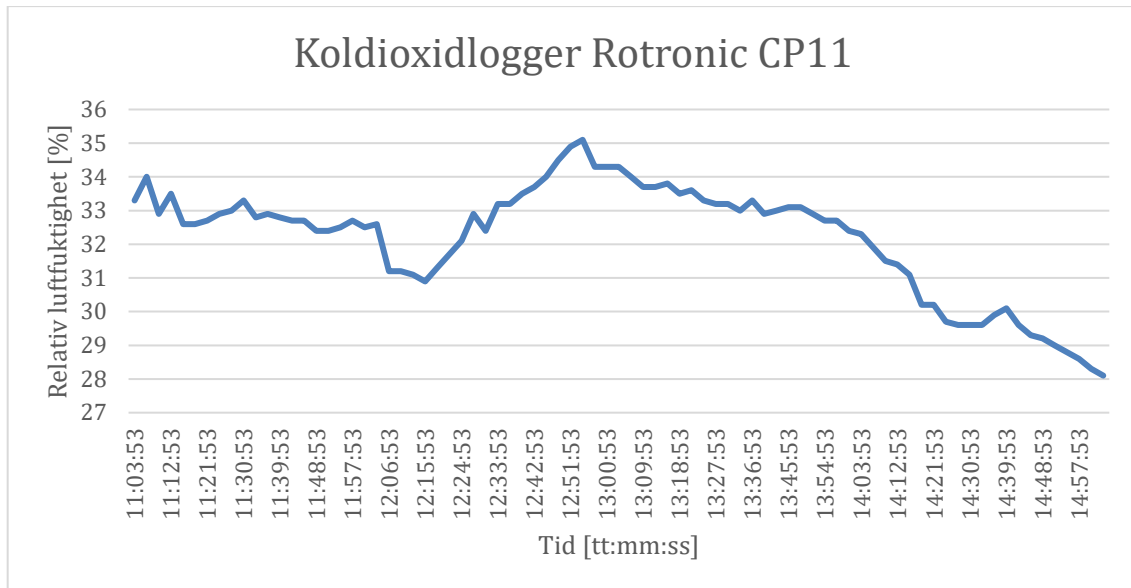
Figur 14: Mätning av koldioxidhalt på Bengt Dahlgren i kopiatorrum med aktiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-06-01 under tidsperioden 14:00:00 – 18:00:00.

Om man jämför mätvärdena i mätmiljön *kopiatorrum utan vägg* (Figur 12) med mätvärdena från mätmiljöerna *kopiatorrum med vägg utan växter* (Figur 13) och *kopiatorrum med aktiv växtvägg* (Figur 14) ser man att koldioxidhalten överlag var lägre i de senare mätmiljöerna.

4.1.2 Relativ luftfuktighet

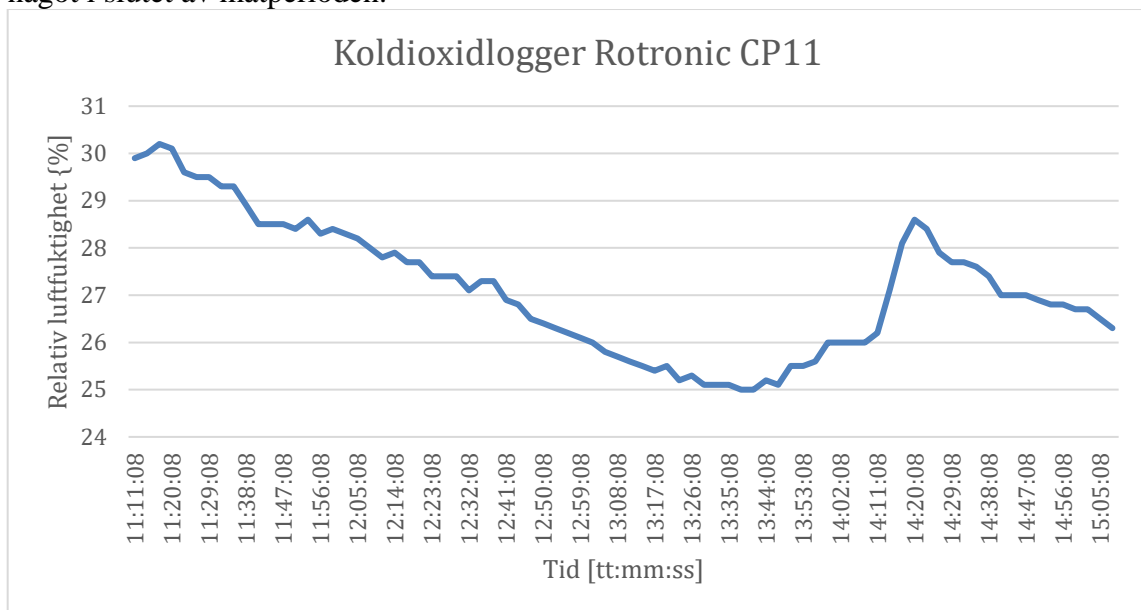
Här ser man hur den relativa luftfuktigheten varierar i rummet under ett fyra timmars mätintervall. Mätningarna utfördes med instrumentet ”Koldioxidlogger Rotronic CP11”. De tre olika mätmiljöer som undersöktes var *kopiatorrum utan vägg*, *kopiatorrum med vägg utan växter* och *kopiatorrum med aktiv växtvägg*.

Mätningen i mätmiljön *kopiatorrum utan vägg* (Figur 15) visar att den relativa luftfuktigheten varierar mellan 28 % – 35 %. I början av mätperioden är den relativa luftfuktigheten hyfsat konstant för att sedan minska vid slutet av mätperioden.



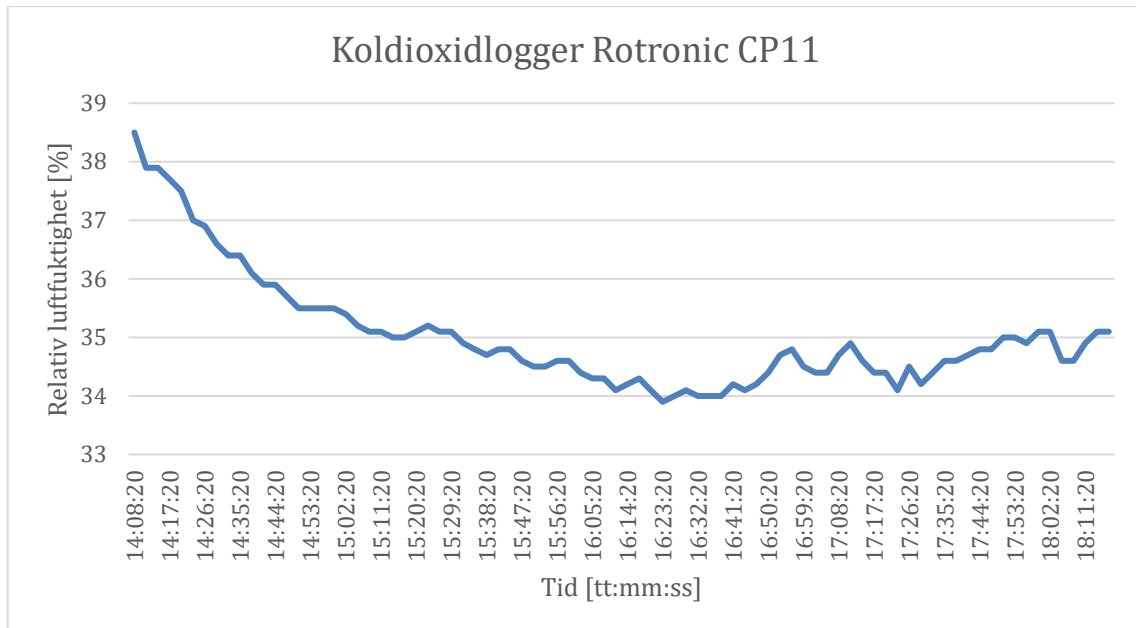
Figur 15: Mätning av relativ luftfuktighet på Bengt Dahlgren i kopiatorrum utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-05-20 under tidsperioden 11:00:00 – 15:00:00.

Mätningen i mätmiljön *kopiatorrum med vägg utan växter* (Figur 16) visar att den relativa luftfuktigheten konstant minskade i början av mätperioden för att sedan öka något i slutet av mätperioden.



Figur 16: Mätning av relativ luftfuktighet på Bengt Dahlgren i kopiatorrum med vägg utan växter. Mätningarna utfördes 2020-05-28 under tidsperioden 11:00:00 – 15:00:00.

Mätningen i mätmiljön *kopiatorrum med aktiv växtvägg* (Figur 17) visar att den relativa luftfuktigheten minskade från 38 % till 34 % under de första två timmarna för att sedan konstant vara ungefär 34 %.



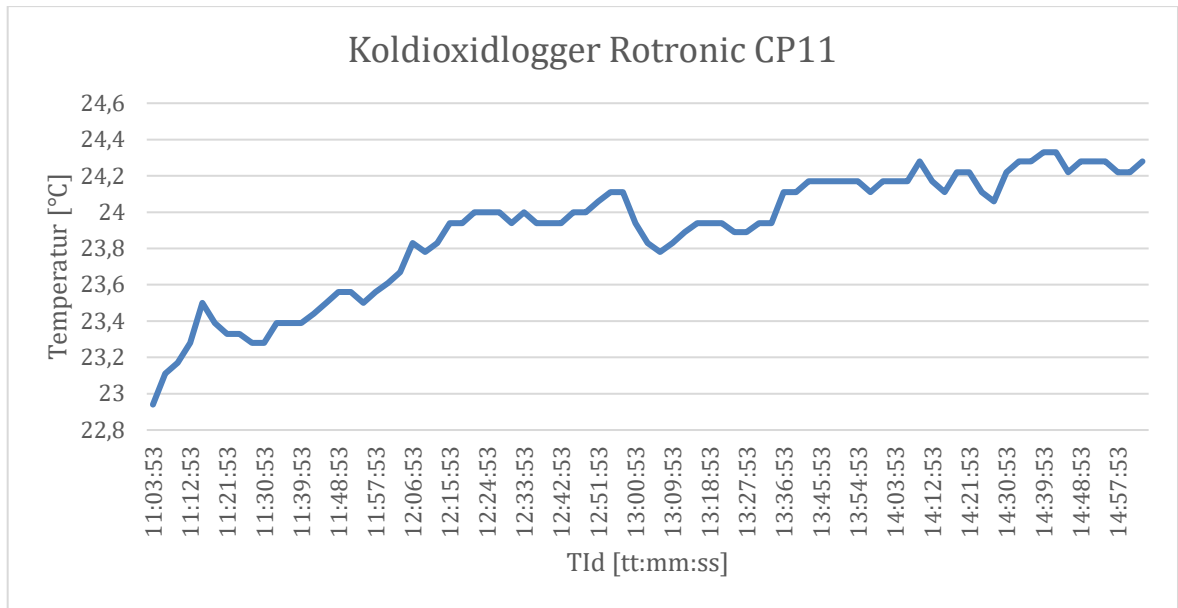
Figur 17: Mätning av relativ luftfuktighet på Bengt Dahlgren i kopiatorrum med aktiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-06-01 under tidsperioden 14:00:00 – 18:00:00.

Den relativa luftfuktigheten är högst för mätningen i mätmiljön *kopiatorrum med aktiv växtvägg* (Figur 17) och lägst för mätningen i mätmiljön *kopiatorrum med vägg utan växter* (Figur 16). Detta kan bero på att de åtta ätbara krukväxterna som användes vid mätningen av den aktiva växtväggen höjde luftfuktigheten i rummet. Inomhustemperaturen (som presenteras nedan) för de två olika dagarna mätmiljöerna undersöktes är relativt oförändrad vilket inte borde ha påverkat mätresultatet. Däremot skiljer sig utomhustemperaturen för de olika mät dagarna vilket kan ha påverkat resultatet, se tabell 2 nedan.

4.1.3 Temperatur

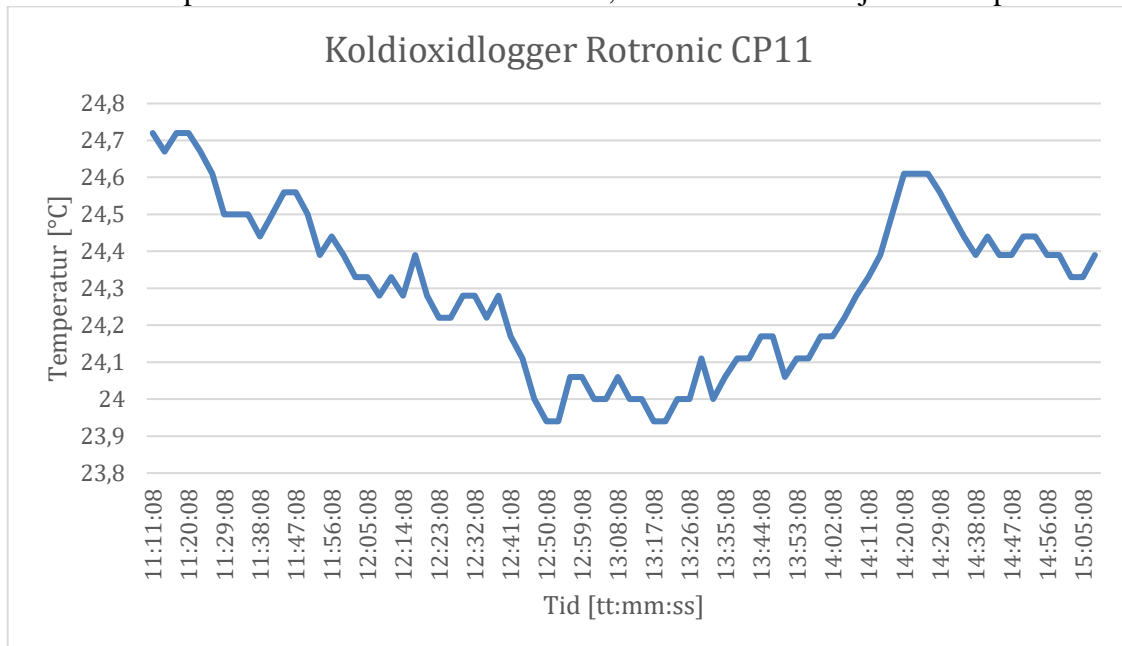
Här ser man hur temperaturen varierar i rummet under ett fyra timmars mätintervall. Mätningarna utfördes med instrumentet ”Koldioxidlogger Rotronic CP11”. De tre olika mätmiljöerna som undersöktes var *kopiatorrum utan vägg*, *kopiatorrum med vägg utan växter* och *kopiatorrum med aktiv växtvägg*.

Mätvärdena från första mätmiljön *kopiatorrum utan vägg* (Figur 18) visar att temperaturen varierar mellan 23 °C – 24,3 °C. Minimumvärdet 23 °C återfinns i början av mätperioden och maximumvärdet 24,3 °C återfinns i slutet av mätperioden.



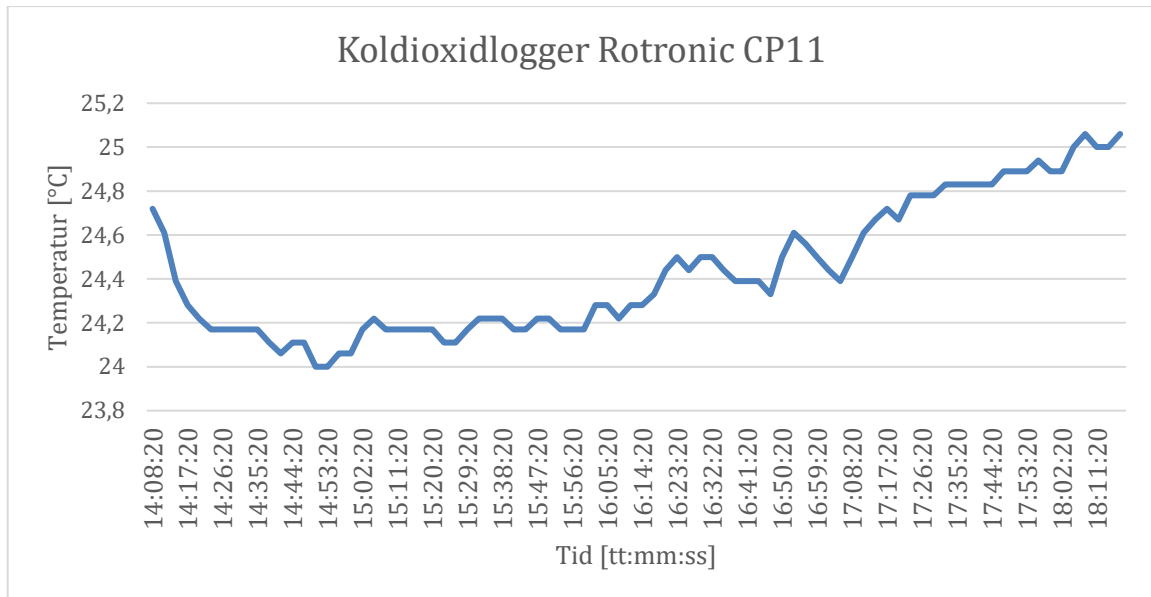
Figur 18: Mätning av temperatur på Bengt Dahlgren i kopiatorrum utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-05-20 under tidsperioden 11:00:00 – 15:00:00.

Mätvärdena i mätmiljön kopiatorrum med vägg utan växter (Figur 19) visar att temperaturen varierar mellan 23,9 °C – 24,7 °C. Minimumvärdet 23,9 °C återfinns i mitten av mätperioden och maximumvärdet 24,7 °C återfinns i början av mätperioden.



Figur 19: Mätning av temperatur på Bengt Dahlgren i kopiatorrum med vägg utan växter. Mätningarna utfördes 2020-05-28 under tidsperioden 11:00:00 – 15:00:00.

Mätvärdena i mätmiljön kopiatorrum med aktiv växtvägg (Figur 20) visar att temperaturen varierar mellan 24 °C – 25 °C. Minimumvärdet 24 °C återfinns i början av mätperioden och maximumvärdet 24,7 °C återfinns i slutet av mätperioden.



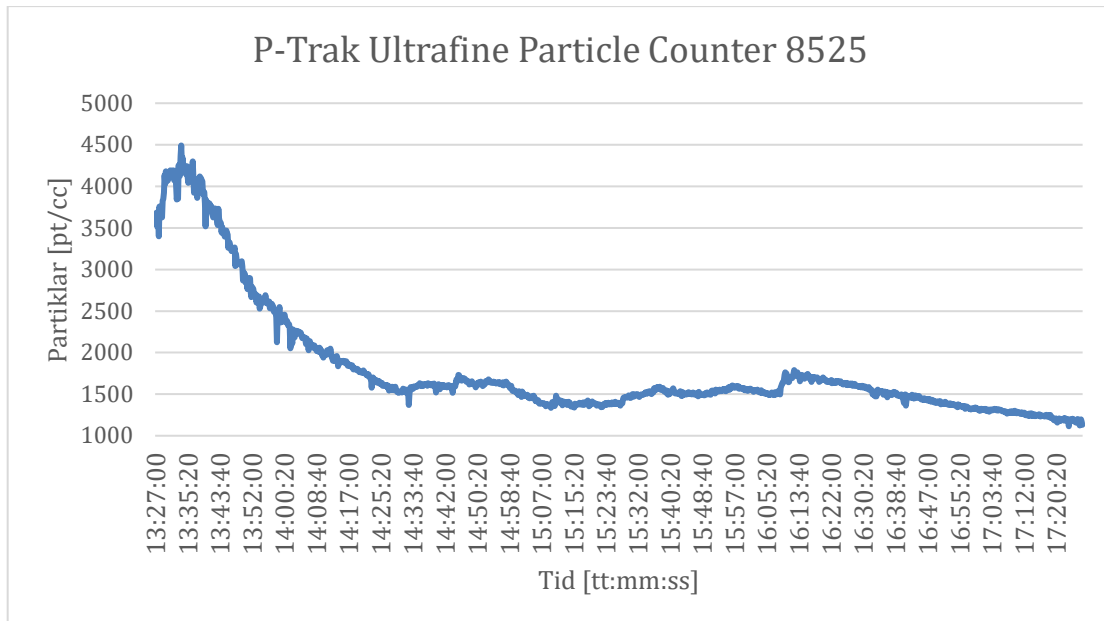
Figur 20: Mätning av temperatur på Bengt Dahlgren i kopiatorrum med aktiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-06-01 under tidsperioden 14:00:00 – 18:00:00.

Temperaturen i mätmiljön *kopiatorrum med vägg utan växter* (Figur 19) och temperaturen från i mätmiljön *kopiatorrum med aktiv växtvägg* (Figur 20) är nästintill identiska, vilket kan betyda att de åtta växter som användes inte påverkade temperaturen. Däremot skiljer sig temperaturen från dessa två mätmiljöer med temperaturen i mätmiljön *kopiatorrum utan vägg* (Figur 18), som har en temperatur som är ungefär 1 °C lägre i genomsnitt.

4.1.4 Partiklar

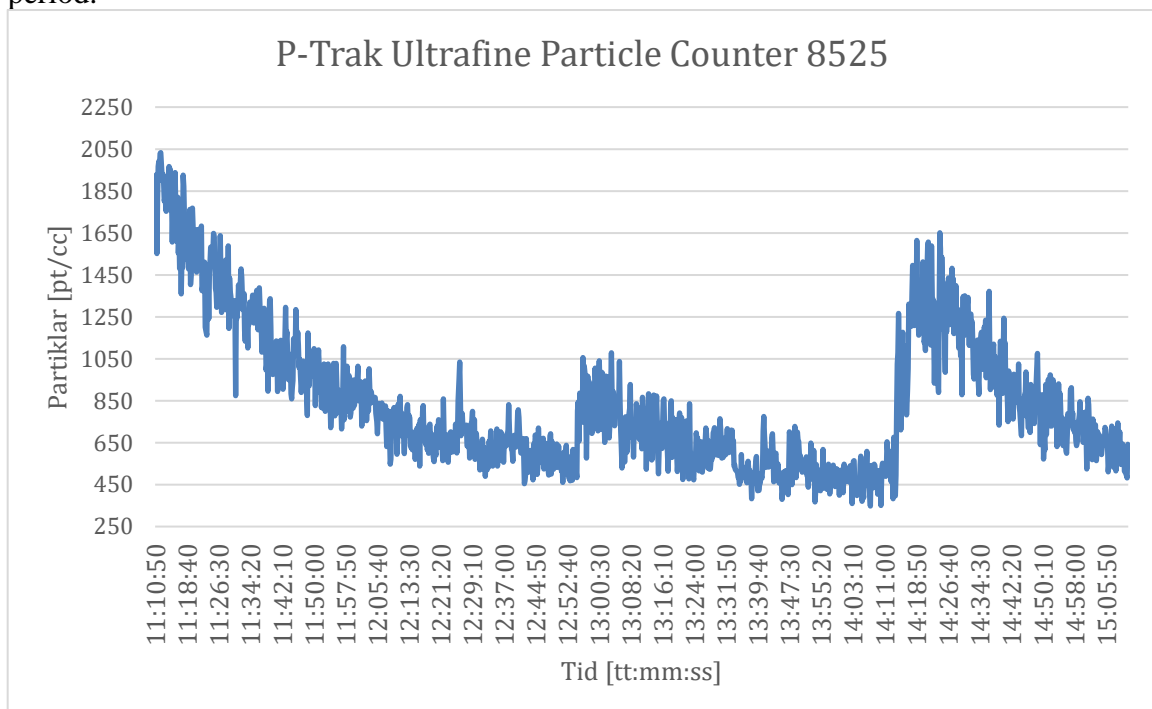
Här ser man hur partikelhalten varierar i rummet under ett fyra timmars mätintervall. Mätningarna utfördes med instrumentet ”P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525”. De tre olika mätmiljöerna som undersöktes var *kopiatorrum utan vägg*, *kopiatorrum med vägg utan växter* och *kopiatorrum med aktiv växtvägg*.

Mätvärdena i mätmiljön *kopiatorrum utan vägg* (Figur 21) visar att partikelhalten varierar mellan 1000 pt/cc – 4500 pt/cc. Minimumvärdet 1000 pt/cc återfinns i slutet av mätperioden och maximumvärdet 4500 pt/cc återfinns i början av mätperioden. Den höga partikelhalten som återfinns i början av mätperioden kan vara ett resultat av att många människor vistades i rummet samtidigt då.



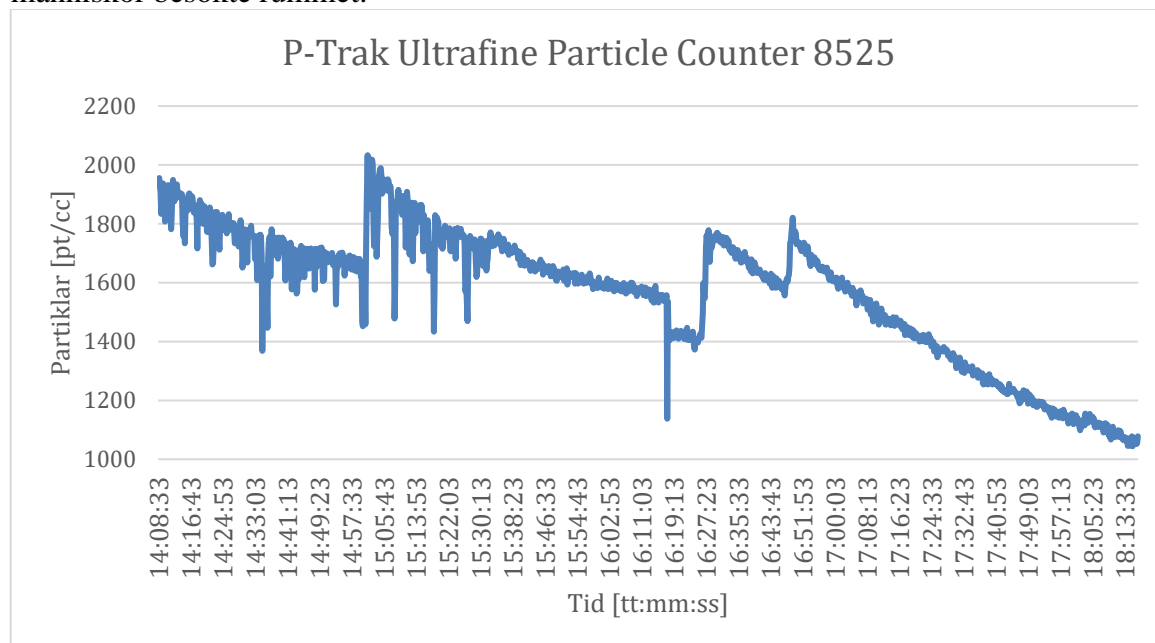
Figur 213: Mätning av partikelhalt på Bengt Dahlgren i kopiantrum utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-05-25 under tidsperioden 13:30:00 – 17:30:00.

Mätvärdena i mätmiljön *kopiantrum med vägg utan växter* (Figur 22) visar att partikelhalten varierar mellan 350 pt/cc – 2050 pt/cc. Minimumvärdet 350 pt/cc återfinns i slutet av mätperioden och maximumvärdet 2050 pt/cc återfinns i början av mätperioden. Den höga partikelhalten som återfinns i början av mätperioden kan vara ett resultat av att många människor vistades i rummet samtidigt då. Man kan även se att partikelhalten ökar kraftigt för att sedan sjunka snabbt vid tidpunkterna 13:00:00 och 14:20:00. Detta kan bero på att människor besökte rummet under en kortare period.



Figur 22: Mätning av partikelhalt på Bengt Dahlgren i kopiantrum med vägg utan växter. Mätningarna utfördes 2020-05-28 under tidsperioden 11:00:00 – 15:00:00.

Mätvärdena i mätmiljön *kopiatorrum med aktiv växtvägg* (Figur 23) visar att partikelhalten varierar mellan 1000 pt/cc – 2000 pt/cc. Minimumvärdet 1000 pt/cc återfinns i slutet av mätperioden och maximumvärdet 2000 pt/cc återfinns vid tidpunkten 15:00:00. Man kan se att partikelhalten ökar kraftigt för att sedan sjunka snabbt vid tidpunkterna 15:00:00, 16:30:00 och 17:00:00. Detta kan bero på att människor besökte rummet.



Figur 23: Mätning av partikelhalt på Bengt Dahlgren i kopiatorrum med aktiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-06-01 under tidsperioden 14:00:00 – 18:00:00.

Medelvärdet av partikelhalten är lägst för mätningen i mätmiljön *kopiatorrum med vägg utan växter* (Figur 22), därefter återfinns det lägsta medelvärdet av partikelhalten i mätmiljön *kopiatorrum med aktiv växtvägg* (Figur 23). Högst medelvärde av partikelhalten återfinns för mätningen i mätmiljön *kopiatorrum utan vägg* (Figur 21). Däremot har både mätmiljön *kopiatorrum med vägg utan växter* (Figur 22) och mätmiljön *kopiatorrum med aktiv växtvägg* (Figur 23) klart lägre partikelhalt jämfört med mätmiljön *kopiatorrum utan vägg* (Figur 21).

4.1.5 Sammanfattning

En sammanfattning av resultatet från mätningarna på Bengt Dahlgren för den aktiva växtväggen med ätbara krukväxter visas i tabell 2 nedan. Bland annat såg man att koldioxid- och partikelhalten var lägre för mätningarna i mätmiljön *kopiatorrum med vägg utan växter* (Figur 13, 22) och mätningarna i mätmiljön *kopiatorrum med aktiv växtvägg* (Figur 14, 23) jämfört med mätningarna i mätmiljön *kopiatorrum utan vägg* (Figur 12, 21).

Medelvärdet av partikelhalten var lägst för mätningen i mätmiljön *kopiatorrum med vägg utan växter* (Figur 22). Detta kan bero på att stålullsskivet effektivare filtrerade partiklar jämfört med den aktiva växtväggen. Det kan även bero på att det återfanns en högre partikelhalt i utomhusluften under mättdagen i mätmiljön *kopiatorrum med aktiv växtvägg* jämfört med i mätmiljön *kopiatorrum med vägg utan växter*, se tabell 2.

Den relativa luftfuktigheten och temperaturen var relativt oförändrad i mätningarna från de tre olika mätmiljöerna i kopiatorrummet (Figur 15, 16, 17, 18, 19, 20).

Mängden partiklar, den relativa luftfuktigheten samt temperaturen varierade i utomhusluften mellan de olika dagarna för mätningarna vilket kan komma att påverka resultatet för vilken inverkan på luftkvaliteten i inomhusmiljöer en aktiv växtvägg har. Däremot var koldioxidhalten i utomhusluften oförändrad för de olika mät dagarna, se tabell 2.

På grund av tekniska fel för en utav mätutrustningarna fick mätningarna, i mätmiljön *kopiatorrum utan vägg*, av partiklar och gaser göras under två olika dagar, se tabell 2.

Tabell 2: Sammanfattning av mätvärden från Bengt Dahlgren (aktiv växtvägg). Datan är sorterad efter datum.

Mätinstrument	Mätmiljö	Datum [ÅÅÅÅ -MM- DD]	Tid [tt:mm]	CO2 [ppm]	RF [%]	Temp [°C]	Partiklar [pt/cc]
Koldioxidlogger Rotronic CP11	Kopiatorrum utan vägg (Figur 12, 15, 18)	2020- 05-20	11:00 – 15:00	866	32	24	
P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525	Kopiatorrum utan vägg (Figur 21)	2020- 05-25	13:30 – 17:30				1801
Koldioxidlogger Rotronic CP11	Utomhus	2020- 05-28	10:30	400	72	15	
P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525	Utomhus	2020- 05-28	10:30				700
Koldioxidlogger Rotronic CP11	Kopiatorrum med vägg utan växter (Figur 13, 16, 19)	2020- 05-28	11:00 – 15:00	668	27	24	
P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525	Kopiatorrum med vägg utan växter (Figur 22)	2020- 05-28	11:00 – 15:00				841
Koldioxidlogger Rotronic CP11	Utomhus	2020- 05-28	15:30	388	70	18	
P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525	Utomhus	2020- 05-28	15:30				692
Koldioxidlogger Rotronic CP11	Utomhus	2020- 06-01	12:30	380	34	23	

P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525	Utomhus	2020-06-01	12:30				3370
Koldioxidlogger Rotronic CP11	Kopiatorrum med aktiv växtvägg (Figur 14, 17, 20)	2020-06-01	14:00 – 18:00	679	35	24	
P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525	Kopiatorrum med aktiv växtvägg (Figur 23)	2020-06-01	14:00 – 18:00				1568
Koldioxidlogger Rotronic CP11	Utomhus	2020-06-01	19:00	390	30	24	
P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525	Utomhus	2020-06-01	19:00				3400

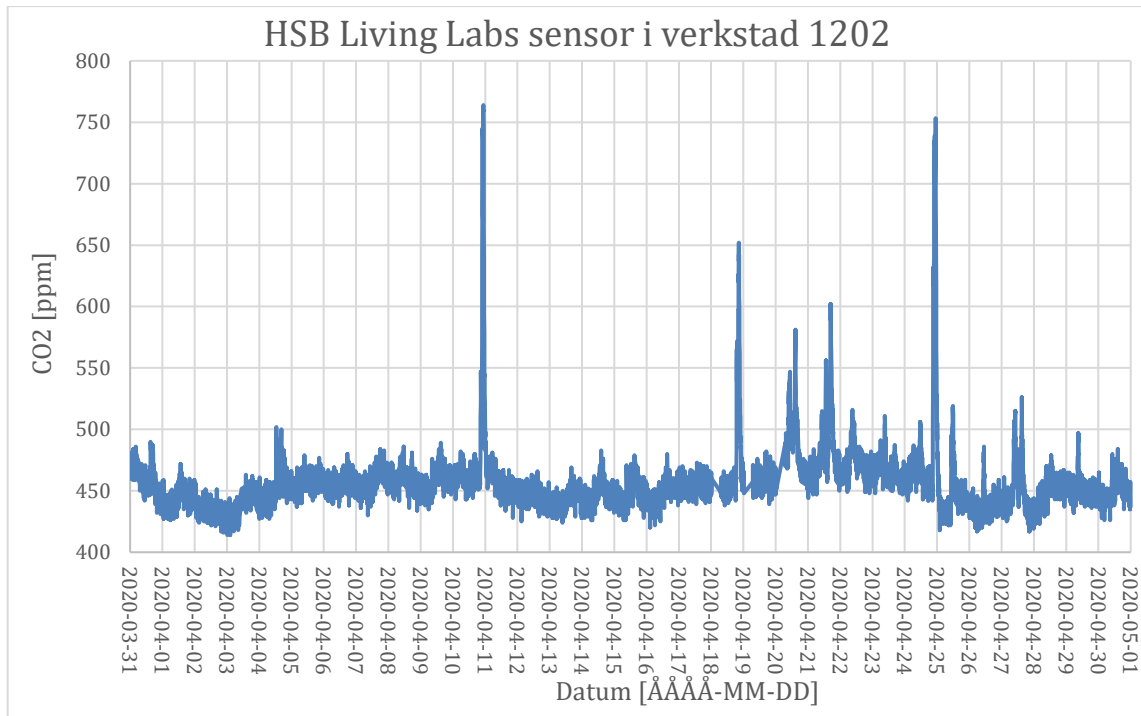
4.2 Mätvärden från HSB Living Lab (passiv växtvägg)

Mätningarna på HSB Living Lab utfördes med Chalmers tekniska högskolas mätinstrument ”Koldioxidlogger Rotronic CP11” och ”P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525” samt ”HSB Living Labs sensor i verkstad 1202”. Tidsintervallet mätningarna utfördes under var antingen som ett stickprov, ett fyra timmars intervall eller ett månadsintervall. Mätmiljön mätningarna utfördes i var en större lokal på ungefär 200 m². Tanken var att simulera ett verkligt scenario där människor kunde röra sig fritt i lokalen varför det passerade mellan 0 – 5 människor per timme i lokalen. Utöver detta satt det konstant en person i lokalen för mätningar under de intervall som varade fyra timmar. Mätinstrumenten placerades ungefär 3 m från den passiva växtväggen.

4.2.1 Koldioxid

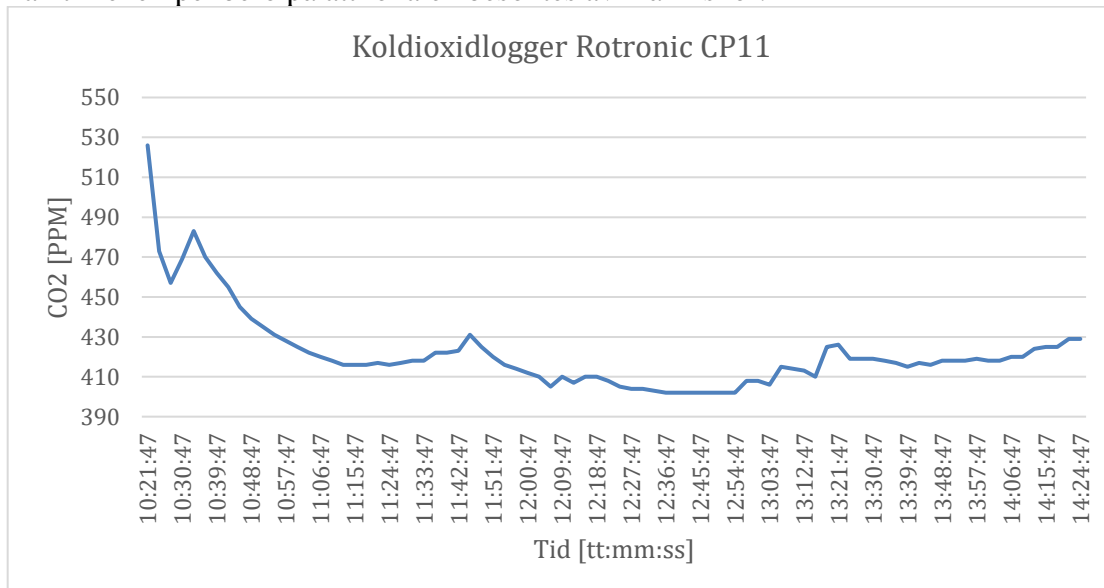
Här ser man hur koldioxidhalten varierar i lokalen under ett fyra timmars mätintervall och under ett månadsintervall. De två olika mätmiljöerna som undersöktes var *lokal utan vägg* och *lokal med passiv växtvägg*.

Mätningen under ett månadsintervall behandlar både mätmiljön *lokal utan vägg* och mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 24). Mätningen visar att koldioxidhalten är relativt oförändrad de dagar den passiva växtväggen inte var på plats jämfört med när den var på plats (växtväggen installerades 2020-04-22). Den minimala koldioxidhalten är 420 ppm och den maximala koldioxidhalten är 750 ppm. Att koldioxidhalten vid till exempel datumen 2020-04-10 och 2020-04-20 var högre jämfört med övriga dagar kan bero på att många människor vistades i lokalen samtidigt.



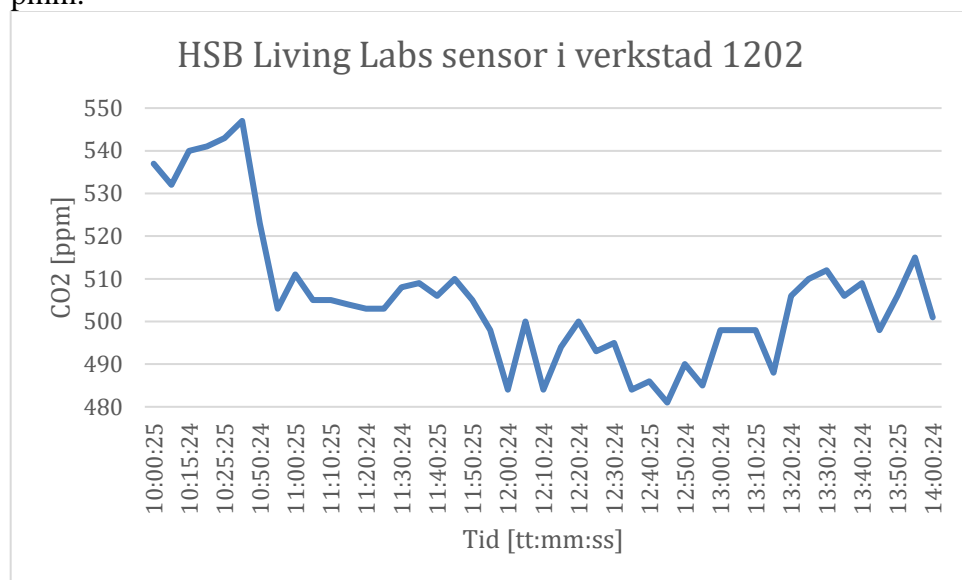
Figur 24: Mätning av koldioxidhalt på HSB Living Lab. Mätningarna utfördes under datumen 2020-03-31 – 2020-05-01. Den passiva växtväggen installerades 2020-04-22.

Mätningen i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 25), utförd med mätinstrumentet ”Koldioxidlogger Rotronic CP11” visar att koldioxidhalten är högre i början av mätperioden för att sedan sjunka och vara relativt oförändrad under resten av mätperioden. Detta kan bero på att luften förorenades då vi riggade mätinstrumenten. Den minimala koldioxidhalten är 400 ppm och den maximala koldioxidhalten är 530 pmm. Vid tidpunkterna 10:30:00, 11:45:00 och 13:20:00 kan man se hur koldioxidhalten ökar under en kortare period för att sedan snabbt sjunka igen. Detta kan till exempel bero på att lokalen besöktes av människor.



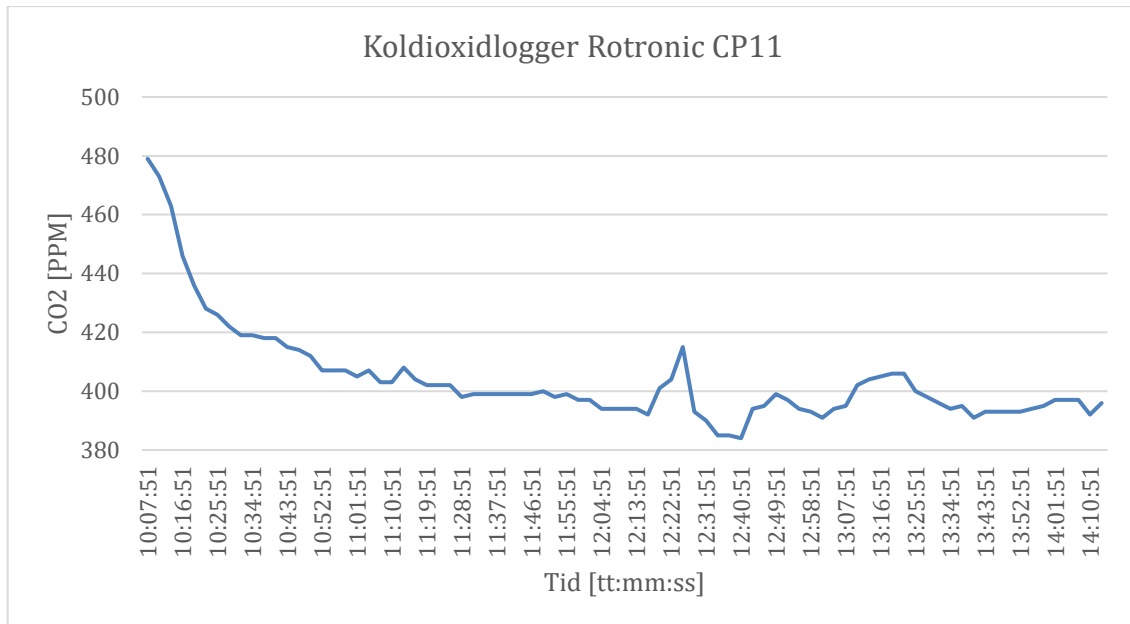
Figur 25: Mätning av koldioxidhalt på HSB Living Lab i lokal utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-04-20 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Mätningen i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 26), utförd med mätinstrumentet ”HSB Living Labs sensor i verkstad 1202” visar att koldioxidhalten är högre i början av mätperioden för att sedan sjunka och vara relativt oförändrad under resten av mätperioden. Detta kan bero på att luften förorenades då vi riggade mätinstrumenten. Den minimala koldioxidhalten är 480 ppm och den maximala koldioxidhalten är 550 pmm.



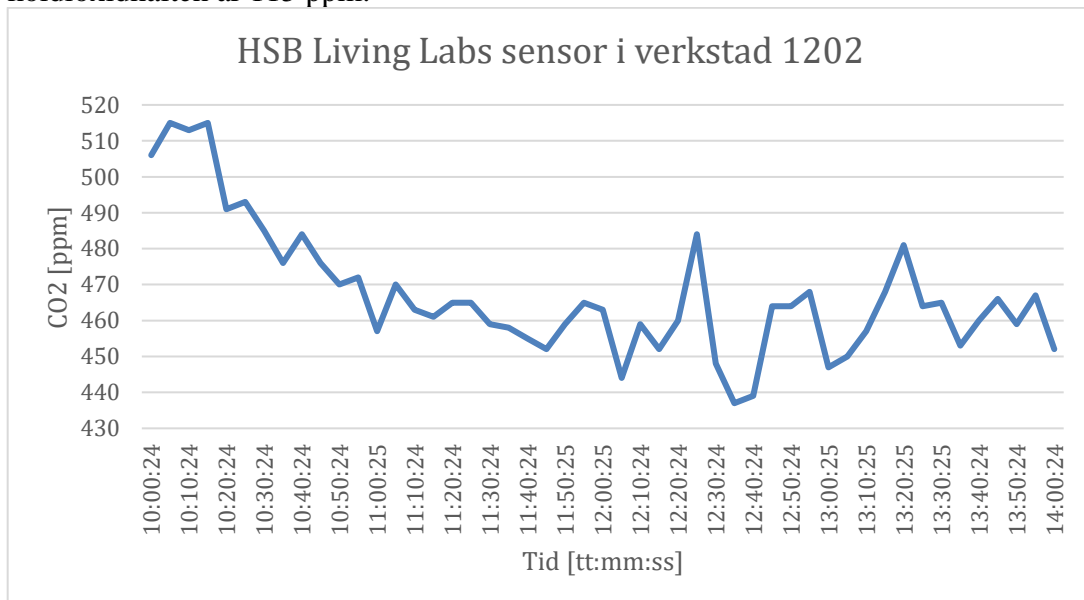
Figur 26: Mätning av koldioxidhalt på HSB Living Lab i lokal utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-04-20 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Mätningen i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 27), utförd med mätinstrumentet ”Koldioxidlogger Rotronic CP11” visar att koldioxidhalten är högre i början av mätperioden för att sedan sjunka och vara relativt oförändrad under resten av mätperioden. Detta kan bero på att luften förorenades då vi riggade mätinstrumenten. Den minimala koldioxidhalten är 380 ppm och den maximala koldioxidhalten är 480 ppm. Vid tidpunkten 12:20:00 kan man se hur koldioxidhalten kraftigt ökar under en kortare period för att sedan snabbt sjunka igen. Detta kan till exempel bero på att rummet besöktes av människor vid denna tiden.



Figur 27: Mätning av koldioxidhalt på HSB Living Lab i lokal med passiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-04-27 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Mätningen i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 28), utförd med mätinstrumentet ”HSB Living Labs sensor i verkstad 1202”, visar att koldioxidhalten är högre i början av mätperioden för att sedan sjunka och vara relativt oförändrad under resten av mätperioden. Detta kan bero på att luften förorenades då vi riggade mätinstrumenten. Den minimala koldioxidhalten är 440 ppm och den maximala koldioxidhalten är 115 ppm.



Figur 28: Mätning av koldioxidhalt på HSB Living Lab i lokal med passiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-04-27 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

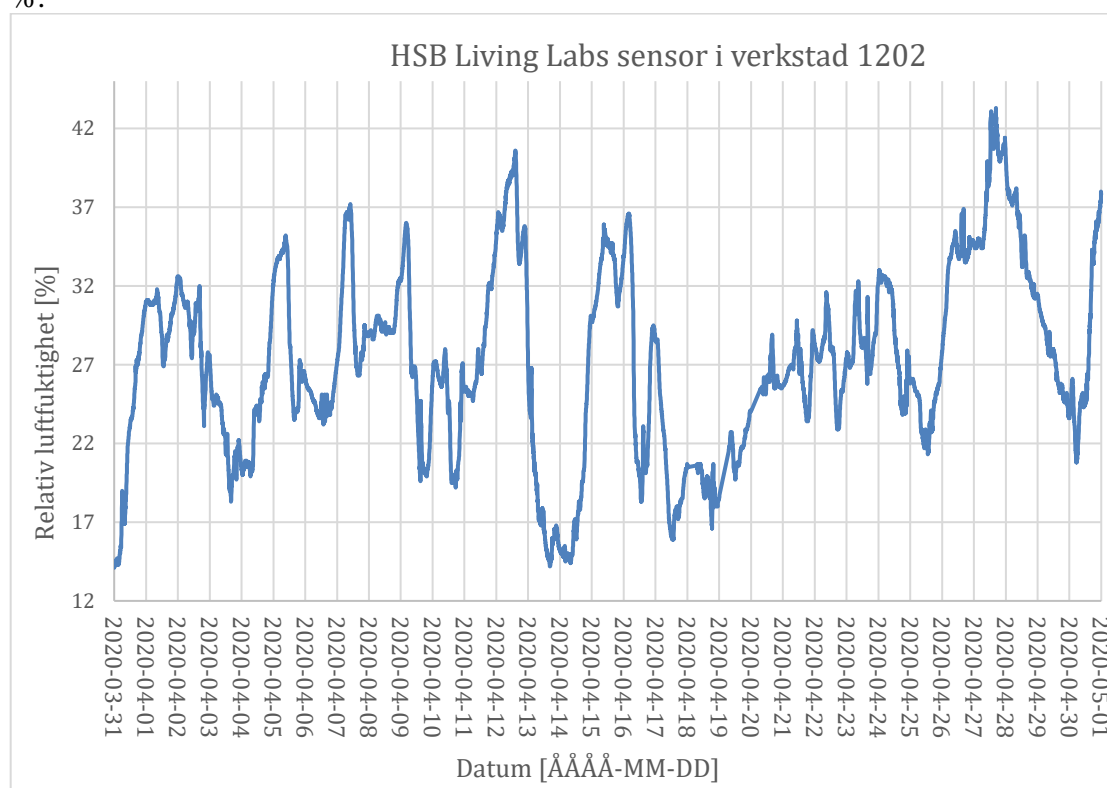
Koldioxidhalten i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 25, 26) minskade lite för båda mätinstrumenten jämfört med koldioxidhalten i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 27, 28), detta om man jämför mätresultaten mellan samma mätinstrument de utfördes med samt bara tittar på mätningarna som varade under fyra timmar. Däremot

var koldioxidhalten oförändrad mellan de två olika mätmiljöerna för mätningarna som varade under en månad (Figur 24).

4.2.2 Relativ luftfuktighet

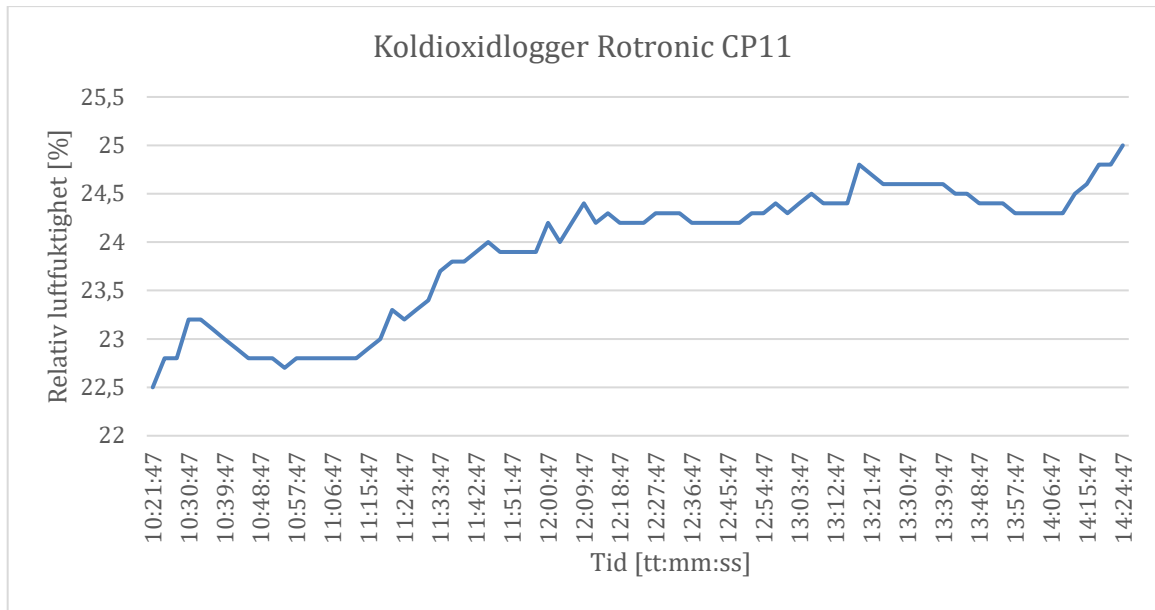
Här ser man hur den relativa fuktigheten varierar i lokalen under ett fyra timmars mätintervall och under en månads mätintervall. De två olika mätmiljöerna som undersöktes var *lokal utan vägg* och *lokal med passiv växtvägg*.

Mätningen som varade under ett månadsintervall behandlar både mätmiljön *lokal utan vägg* och mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 29). Mätningen visar att den relativa fuktigheten i genomsnitt är lite lägre de dagar den passiva växtväggen inte var på plats jämfört med när den var på plats (växtväggen installerades datumet 2020-04-22). Den minsta relativa fuktigheten är 14 % och den största relativa fuktigheten är 43 %.



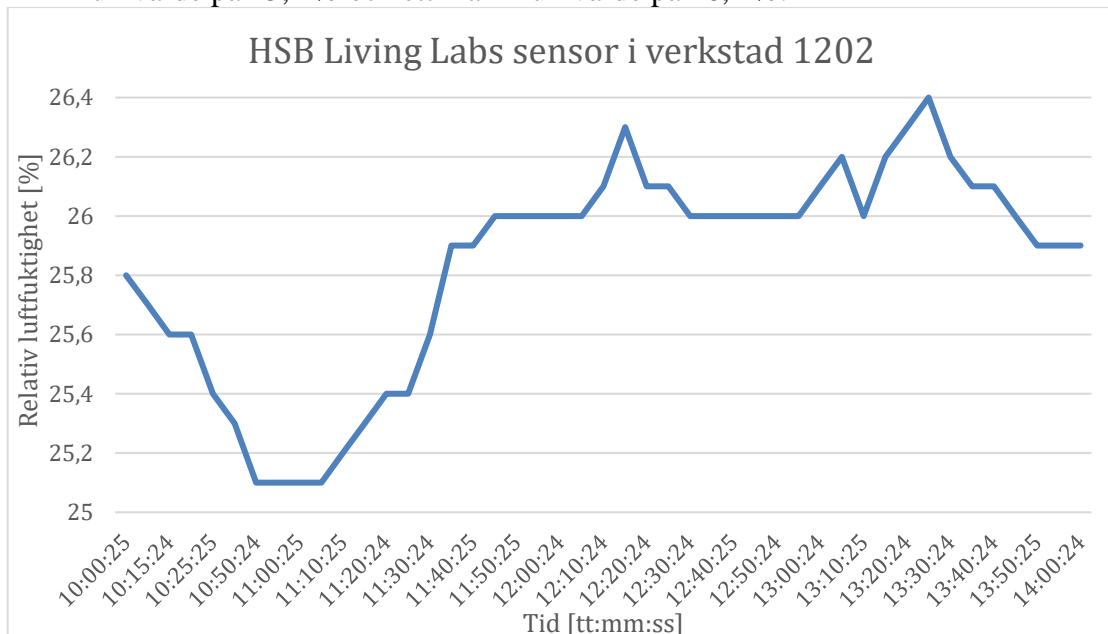
Figur 29: Mätning av relativ luftfuktighet på HSB Living Lab. Mätningarna utfördes mellan datumen 2020-03-31 – 2020-05-01. Den passiva växtväggen installerades 2020-04-22.

Mätningen i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 30), utförd med mätinstrumentet ”Koldioxidlogger Rotronic CP11”, visar att den relativa luftfuktigheten har sitt minimumvärde på 22,5 % i början av mätperioden och ökar därefter hela tiden fram till slutet av mätperioden där maximumvärdet på 25,0 % erhålls.



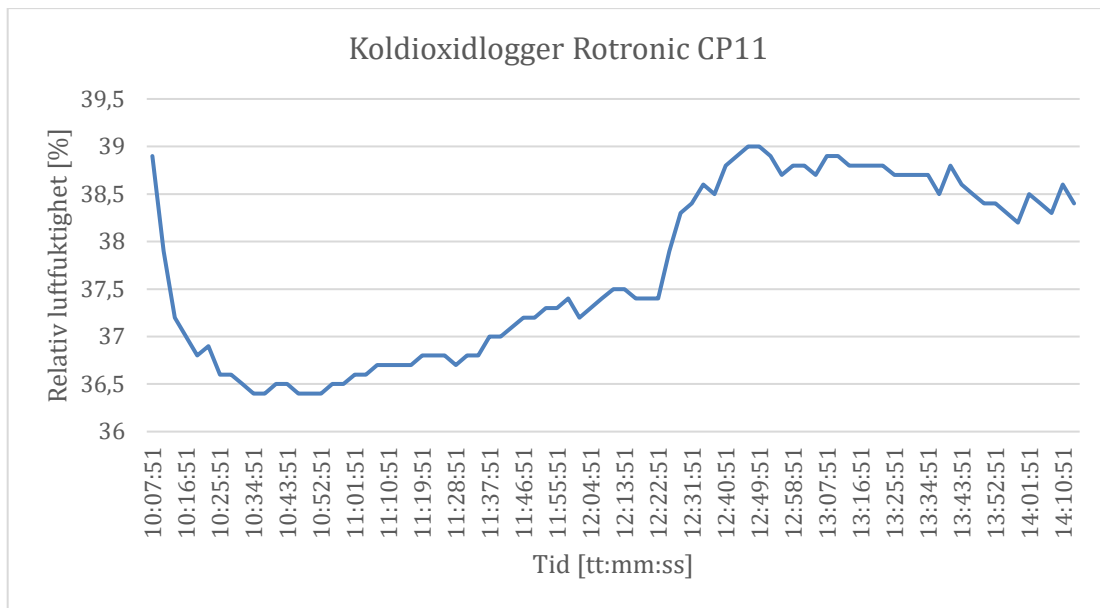
Figur 30: Mätning av relativ luftfuktighet på HSB Living Lab i lokal utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-04-20 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Mätningen i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 31), utförd med mätinstrumentet ”HSB Living Labs sensor i verkstad 1202”, visar att den relativa luftfuktigheten har ett minimumvärde på 25,1 % och ett maximumvärde på 26,4 %.



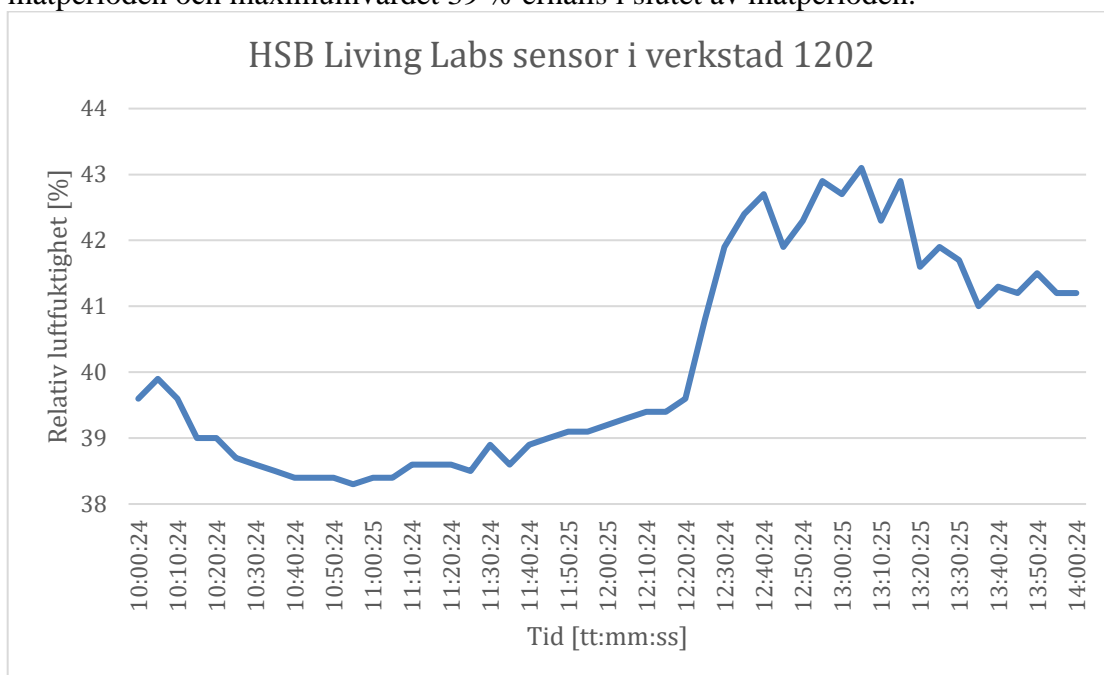
Figur 31: Mätning av relativ luftfuktighet på HSB Living Lab i lokal utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-04-20 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Mätningen i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 32), utförd med mätinstrumentet ”Koldioxidlogger Rotronic CP11”, visar att mätvärdena varierar mellan 36,5 % – 39 %. Minimumvärdet 36,5 % erhålls i början av mätperioden och maximumvärdet 39 % erhålls både i början och i mitten av mätperioden.



Figur 32: Mätning av relativ luftfuktighet på HSB Living Lab i lokal med passiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-04-27 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Mätningen i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 33), utförd med mätinstrumentet ”HSB Living Labs sensor i verkstad 1202”, visar att mätvärdena varierade mellan 38 % – 43 %. Minimumvärdet 36,5 % erhålls i början av mätperioden och maximumvärdet 39 % erhålls i slutet av mätperioden.



Figur 33: Mätning av relativ luftfuktighet på HSB Living Lab i lokal med passiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-04-27 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Den relativa luftfuktigheten i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 29, 30, 31) var överlag lägre jämfört med den relativa luftfuktigheten i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 29, 32, 33). Detta om man jämför mätresultaten mellan samma mätinstrument de utfördes med, samt mellan samma tidsintervall de utfördes under. Att den relativa

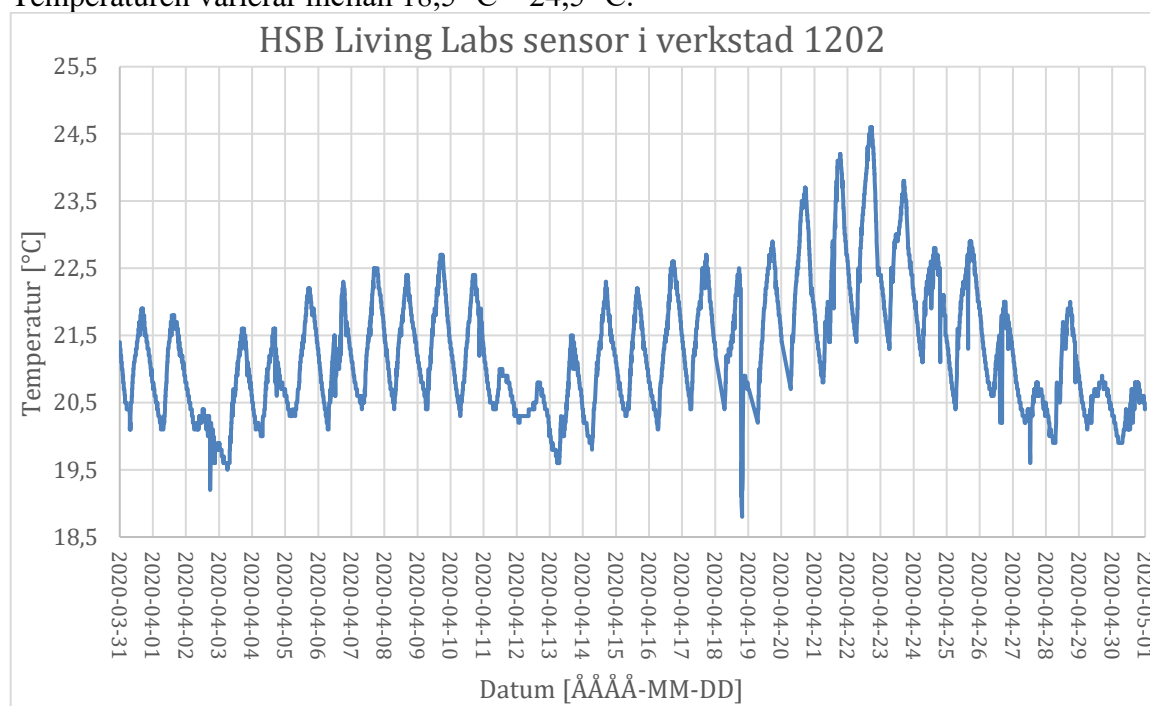
luftfuktigheten ökade för mätningen i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* kan bero på att de ätbara krukväxterna höjde luftfuktigheten i rummet.

4.2.3 Temperatur

Här ser man hur temperaturen varierar i lokalen under ett fyra timmars mätintervall och under en månads mätintervall. De två olika mätmiljöerna som undersöktes var lokal utan vägg och *lokal med passiv växtvägg*.

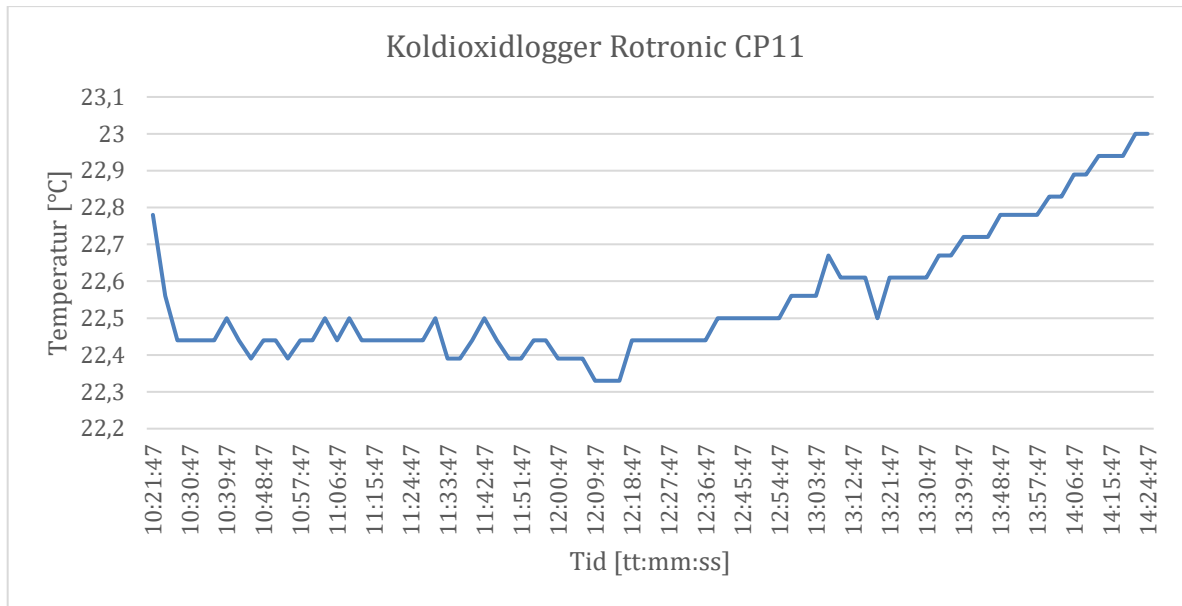
Mätningen som varade under ett månadsintervall behandlar både mätmiljön lokal utan vägg och mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 34). Mätningen visar att temperaturen är oförändrad för de dagar den passiva växtväggen inte var på plats jämfört med när den var på plats (växtväggen installerades 2020-04-22).

Temperaturen varierar mellan 18,5 °C – 24,5 °C.



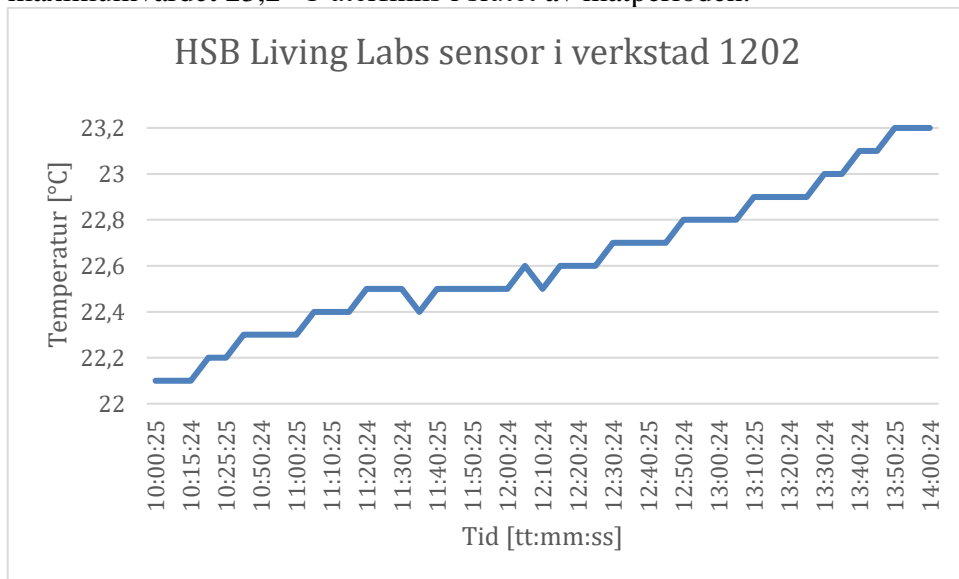
Figur 34: Mätning av temperatur på HSB Living Lab. Mätningarna utfördes mellan datumen 2020-03-31 – 2020-05-01. Den passiva växtväggen installerades 2020-04-22.

Mätningen i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 35), utförd med mätinstrumentet ”Koldioxidlogger Rotronic CP11”, visar att temperaturen varierar mellan 22,3 °C – 23,0 °C. Minimumvärdet 22,3 °C återfinns i mitten av mätperioden och maximumvärdet 23,0 °C återfinns i slutet av mätperioden.



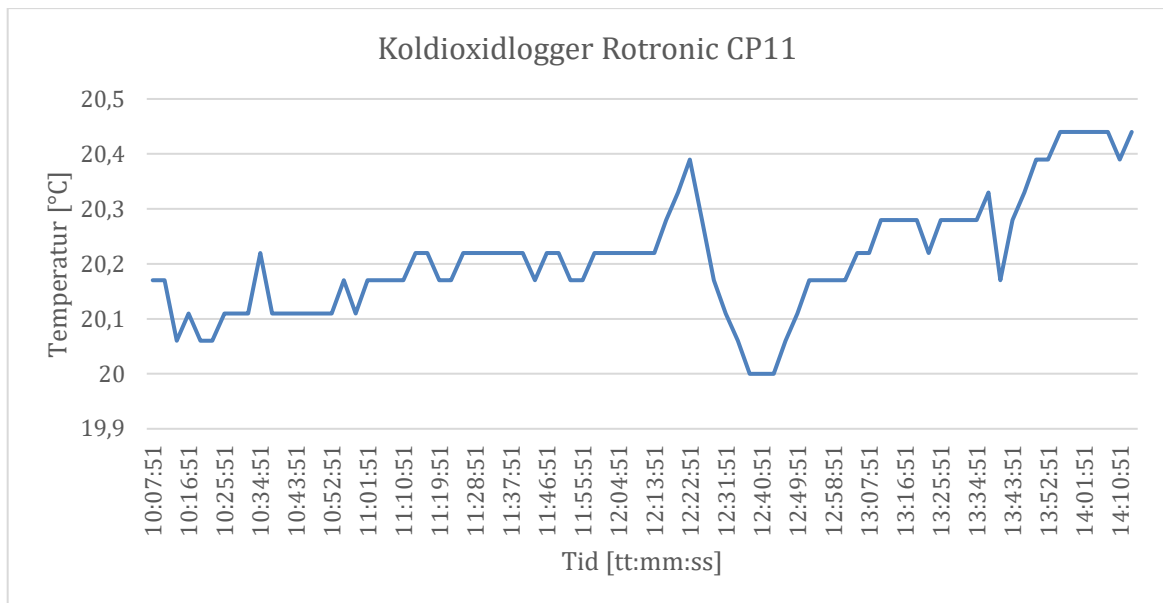
Figur 35: Mätning av temperatur på HSB Living Lab i lokal utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-04-20 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Mätningen i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 36), utförd med mätinstrumentet ”HSB Living Labs sensor i verkstad 1202”, visar att temperaturen varierar mellan 22,1 °C – 23,2 °C. Minimumvärdet 22,1 °C återfinns i början av mätperioden och maximumvärdet 23,2 °C återfinns i slutet av mätperioden.



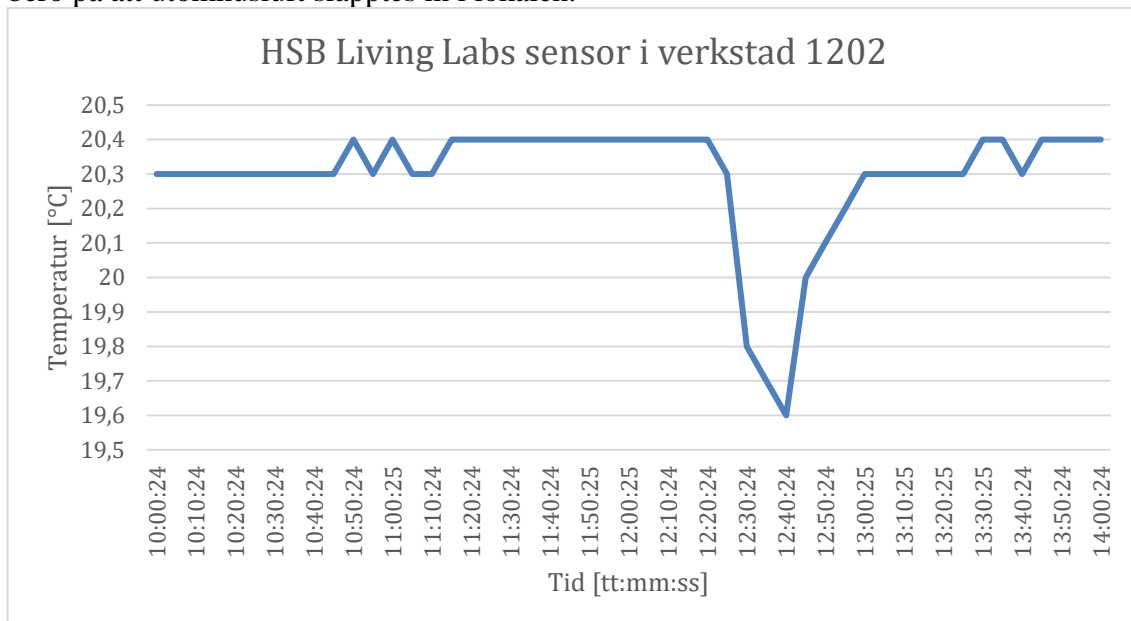
Figur 36: Mätning av temperatur på HSB Living Lab i lokal utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-04-20 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Mätningen i mätmiljön *lokal med växtvägg* (Figur 37), utförd med mätinstrumentet ”Koldioxidlogger Rotronic CP11”, visar att temperaturen varierar mellan 20,0 °C – 20,4 °C. Minimumvärdet 20,0 °C återfinns i mitten av mätperioden och maximumvärdet 20,4 °C återfinns i slutet av mätperioden.



Figur 37: Mätning av temperatur på HSB Living Lab i lokal med passiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-04-27 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Mätningen i mätmiljön lokal med växtvägg (Figur 38), utförd med mätinstrumentet ”HSB Living Labs sensor i verkstad 1202”, visar att temperaturen varierar mellan 19,6 °C – 20,4 °C. Att temperaturen minskade kraftigt för tidpunkten 12:40:00 kan bero på att utomhusluft släpptes in i lokalen.



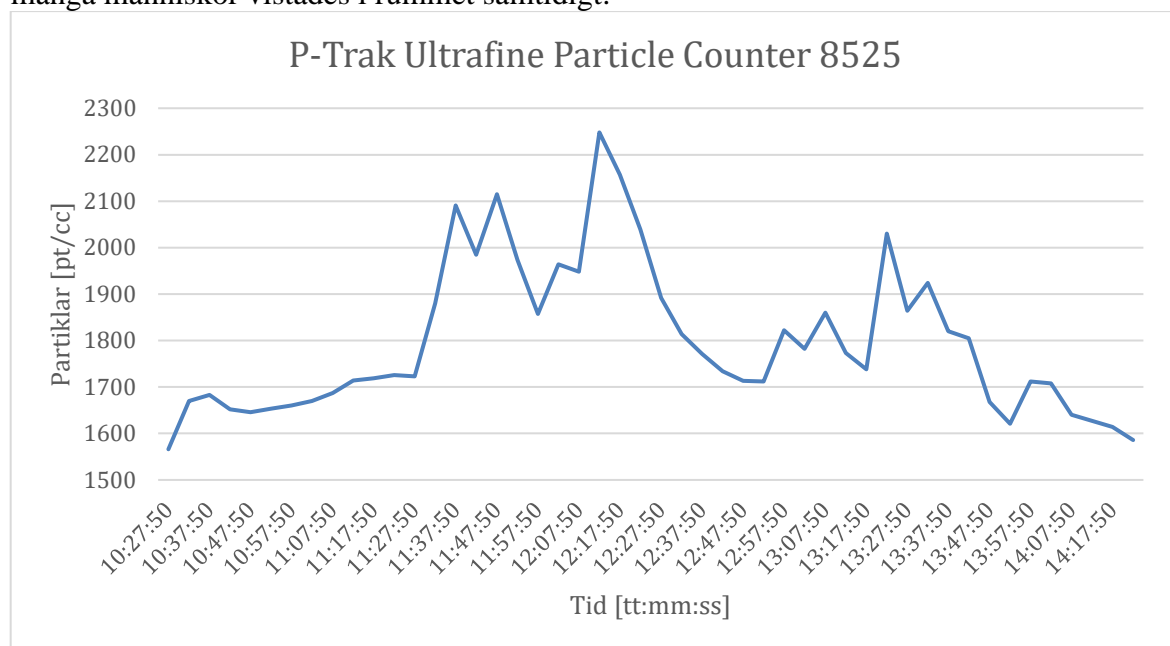
Figur 38: Mätning av temperatur på HSB Living Lab i lokal med passiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-04-27 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Temperaturen i mätmiljön lokal utan vägg (Figur 35, 36) var överlag högre jämfört med temperaturen i mätmiljön lokal med passiv växtvägg (Figur 37, 38). Detta om man jämför mätresultaten mellan samma mätinstrument de utfördes med, samt bara tittar på mätningarna som utfördes under fyra timmar. Temperaturen var oförändrad mellan de två olika mätmiljöerna för mätningarna som utfördes under en månad (Figur 34).

4.2.4 Partiklar

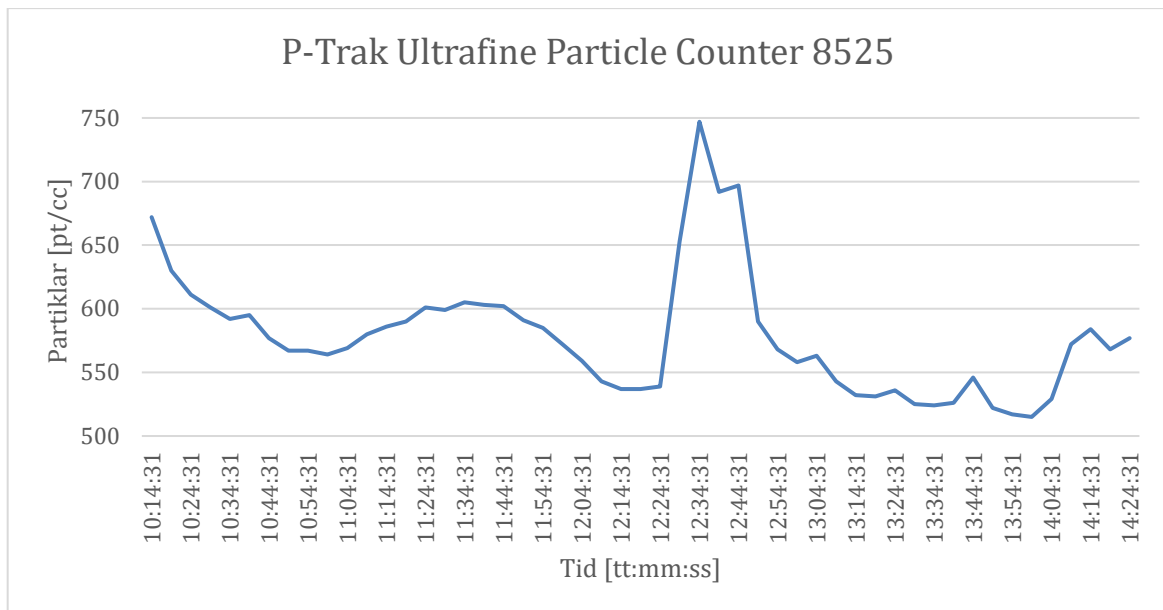
Här ser man hur partikelhalten varierar i rummet under ett fyratimmars mätintervall. Mätningarna utfördes med instrumentet ”P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525”. De två olika mätmiljöerna som undersöktes var *lokal utan vägg* och *lokal med passiv växtvägg*.

Mätvärdena i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 39) visar att partikelhalten varierar mellan 1600 pt/cc – 2250 pt/cc. Minimumvärdet 1600 pt/cc återfinns i början av mätperioden och maximumvärdet 2250 pt/cc återfinns i mitten av mätperioden. Den höga partikelhalten som återfinns i mitten av mätperioden kan vara ett resultat av att många människor vistades i rummet samtidigt.



Figur 39: Mätning av partikelhalt på HSB Living Lab i lokal utan vägg. Mätningarna utfördes 2020-04-20 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Mätvärdena i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 40) visar att partikelhalten varierar mellan 500 pt/cc – 750 pt/cc. Minimumvärdet 500 pt/cc återfinns i slutet av mätperioden och maximumvärdet 750 pt/cc återfinns i mitten av mätperioden. Den höga partikelhalten som återfinns i mitten av mätperioden kan vara ett resultat av att många människor vistades i rummet samtidigt.



Figur 40: Mätning av partikelhalt på HSB Living Lab i lokal med passiv växtvägg. Mätningarna utfördes 2020-04-27 under tidsperioden 10:00:00 – 14:00:00.

Partikelhalten i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 40) är klart lägre överlag jämfört med partikelhalten i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 39).

4.2.5 Sammanfattning

Resultatet från mätvärdena på HSB Living Lab för den passiva växtväggen med ätbara krukväxter visar att koldioxidhalten, temperaturen och partikelhalten i genomsnitt var mindre för mätvärdena i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 27, 28, 37, 38, 40) jämfört med mätvärdena i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 25, 26, 35, 36, 39). Detta om man jämför mätresultaten mellan samma mätinstrument de utfördes med, samt bara tittar på mätningarna som utfördes under fyra timmar. Faktorer som kan ha påverkat resultatet är till exempel utomhusluften.

Koldioxidhalten och temperaturen var oförändrad mellan de två olika mätmiljöerna för mätningarna som utfördes under en månad (Figur 24, 34).

Den relativa luftfuktigheten var överlag större för mätvärdena i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* (Figur 29, 32, 33) jämfört med mätvärdena i mätmiljön *lokal utan vägg* (Figur 29, 30, 31). Detta om man jämför mätresultaten mellan samma mätinstrument de utfördes med, samt mellan samma tidsintervall de utfördes under. Att den relativa luftfuktigheten ökade för mätningen i mätmiljön *lokal med passiv växtvägg* kan bero på att de ätbara krukväxterna höjde luftfuktigheten i rummet, men det kan även bero på att temperaturen var lägre under mätperioden för mätmiljön med passiv växtvägg (Figur 37, 38) jämfört med under mätperioden för mätmiljön utan vägg (Figur 35, 36).

Tabell 3 nedan visar en sammanfattning av mätvärdena från HSB Living Lab.

Tabell 3: Mätvärden från HSB Living Lab (passiv växtvägg). Mätdata är sorterad efter datum då mätningen påbörjades.

Mätinstrument	Mätmiljö	Datum [ÅÅÅÅ -MM- DD]	Tid [tt:mm]	CO2 [PPM]	RF [%]	Temp [°C]	Partiklar [pt/cc]
HSB Living Labs sensor i verkstaden (1202)	Lokal utan vägg (Figur 24, 29, 34)	2020-03-31 – 2020-04-22		456	26	21	
Koldioxidlogger Rotronic CP11	Lokal utan vägg (Figur 25, 30, 35)	2020-04-20	10:00 – 14:00	422	24	23	
HSB Living Labs sensor i verkstaden (1202)	Lokal utan vägg (Figur 26, 31, 36)	2020-04-20	10:00 – 14:00	506	26	23	
P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525	Lokal utan vägg (Figur 39)	2020-04-20	10:00 – 14:00				1797
HSB Living Labs sensor i verkstaden (1202)	Lokal med passiv växtvägg (Figur 24, 29, 34)	2020-04-22 – 2020-04-30		457	30	21	
Koldioxidlogger Rotronic CP11	Lokal med passiv växtvägg (Figur 27, 32, 37)	2020-04-27	10:00 – 14:00	404	38	20	
HSB Living Labs sensor i verkstaden (1202)	Lokal med passiv växtvägg (Figur 28, 33, 38)	2020-04-27	10:00 – 14:00	467	40	20	
P-Trak Ultrafine Particle Counter 8525	Lokal med passiv växtvägg (Figur 40)	2020-04-27	10:00 – 14:00				578

5 Slutsats

Görs slutsatser baserat endast på tabell 2 – 3 så skulle slutsatsen vara att växterna bidrar till renare luft när det gäller partiklar och koldioxid. Tabeller hade också kunnat tolkas som att luften blir ännu renare om bara stålullsskiktet används. Problemet är till stor del hur mätningarna utfördes, där en stor del av begränsningarna i arbetet kom i form av den tillgängliga miljön för mätningarna.

Då endast ett kopiatorrum var tillgängligt för att utföra mätningarna och mätningssklimat till stor del varierade då rummet hade både till- och frånluft. Detta gjorde att data som mättes till stor del var baserad på utomhusluften, men då också den varierade under mättiden så är det svårt att göra konkreta slutsatser om mätningarna som gjorts. Ideellt så hade mätningarna gjorts samtidigt i två identiska miljöer så att antalet felkällor skulle kunna minimeras.

Likaså är mätdata från HSB Living Lab svår att dra konkreta slutsatser av då enligt tabellerna så gav växtväggen enormt stora positiva effekter båda på partikel- och koldioxidhalten. Baserat på Larssons (2004) studier så har passiva växtväggar i princip ingen effekt på miljön, därför är det rimligare att anta att det som gjorde att resultaten varierade så mycket snarare var faktorer som inte mättes, så som utomhusluften.

Att använda jord som medium för att minska föroreningar är kanske inte optimalt då föroreningarna har en låg permeabilitet genom jord. detta eftersom mediet har små porer. Därav krävs det ett större biofilter jämfört med andra medier (Tonekaboni, 1998).

5.1 Framtida studier

Våra förkunskaper inom botanik var oerhört basala och att mer fokus lades på de installationstekniska aspekterna. På grund av detta så negligerades till viss del vilken effekt just växtsorten kan ha. Baserat på tidigare studier Gibbens (2019) så kan det ses att diverse växter har varierande effekt på luftreningen. För fortsatta studier inom ämnet så skulle det vara intressant att utföra en växtspecifik forskning, där effekterna av olika växter systematiskt mäts så att ordentliga slutsatser kan fattas.

6 Referenser

Alenius, F., Hermansson, A. (2016): *Sorption Filter Columns to Remove Colloidal and Dissolved Pollutants from Stormwater*. Chalmers University of Technology, Department of Civil and Environmental, Gothenburg, 92 sid.

Andersson, Å., Svensson, M. (2007): *Fytoremediering – Att rena mark och vatten med växter*. Ekologiska Institutionen, Lunds Universitet, 2007.

Arbetsmiljöverket. (2020). *Huvudsakliga risker med mögel, organiskt damm, toxiner och andra mikroorganismer*. Hämtad 2020-05-08 från <https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/sjukdomar-smitta-och-mikrobiologiska-risker/mogel-organiskt-damm-toxiner-och-andra-mikrobiologiska-arbetsmiljorisker/huvudsakliga-risker-med-mogel-organiskt-damm-toxiner/>

Arbetsmiljöverket (2019): *Luft och ventilation*, Arbetsmiljöverket, Stockholm, Sverige, 2019, 1 sid.

Arbetsmiljöverket. (2020). *Risker med dålig ventilation*. Hämtad 2020-05-07 från <https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/risker-med-dalig-ventilation/>

Arctic. *F12 Silent*. Hämtad 2020-06-03 från https://www.arctic.ac/eu_en/f12-silent.html

Arundel, A., Ludvigsen, Sterling, E., Biggin, J. & Sterling, T. (1986). *Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environments*. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 65, pp. 351-361, 1986. Hämtad från <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.8665351>

Baughman, A., & Arens, E. A. (1996). *Indoor Humidity and Human Health--Part I: Literature Review of Health Effects of Humidity-Influenced Indoor Pollutants*. *ASHRAE Transactions*, 102 Part 1, 192-211. Hämtad från <https://escholarship.org/uc/item/5kz1z9cg>

Brennan, T. (2015): *JOSEPH PRIESTLEY AND THE EVOLUTION OF OXYGEN IN PHOTOSYNTHESIS*. Dickinson College, Carlisle, Pennsylvania, 2015.

Brugge, D. (2018). *Particles in the Air* [Elektronisk resurs] (1st Edition). Hämtad från <https://link-springer-com.proxy.lib.chalmers.se/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-89587-1.pdf>

Chen, G., Li, S., Zhang, Y., Zhang, W., Li, D., Wei, X., He, Y., Bell, L. M., Williams, G., Marks, B. G., Jalaludin, B., Abramson, J. M., Guo, Y. (2017). Effects of ambient PM1 air pollution on daily emergency hospital visits in China: an epidemiological study. *The Lancet Planetary Health*, volym (1), e221-e229. Doi: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30100-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30100-6)

Cummings, B. (2017): *Effectiveness and Energy Saving Potential of Biofiltration of Indoor Air in U.S. Offices*. M.S., Architectural Engineering, Drexel University, 2017.

Folkhälsomyndigheten. (2018). *Kemikalier i inomhusmiljön*. Hämtad 2020-05-07 från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publicerat-material/publikationsarkiv/k/kemikalier-i-inomhusmiljon/?pub=54046>

Folkhälsomyndigheten. (2019). *Luftkvalitet*. Hämtad 2020-05-05 från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/luftkvalitet/>

Gibbens, S. (2019): *Which houseplants should you buy to purify air? None of them*. National Geographic, Washington, D.C, november 2019.

Hamberg, R. (2007): *Luktreduktion i biofilter – Fågelmynnen*. Luleå tekniska universitet, bygg och anläggning, Luleå, 2007.

Jafari, M., Khajevandi, A., Karamali, F., Zabeti, F. (2018): Indoor carbon dioxide concentrations and sick building syndrome symptoms in office workers of petroleum industry health organization *International Archives of Health Sciences*, vol. 05, nr. 03, juli–september år 2018, sid. 82–85.

Karolinska Institutet. (2014). *Flyktiga organiska ämnen (VOC)* Hämtad 2020-05-07 från <https://ki.se/imm/flyktiga-organiska-amnen-voc>

Khammar, N., Malhautier, L., Degrange, V., Lensi, R., Godon, J.-J., Fanlo J.-L. (2004): Link between spatial structure of microbial communities and degradation of a complex mixture of volatile organic compounds in peat biofilters. *Journal of Applied Microbiology*, vol. 98, nr. 02, år 2004, sid 476–490.

Larsson, T. (2004): *Några inomhusväxters förmåga att påverka luftkvaliteten*. Chalmers tekniska högskola, nr.2096, Göteborg, 210 sid.

Naturvårdsverket. (2020). *Föroreningar och dess effekter*. Hämtad 2020-05-07 från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftforeningar/>

Naturvårdsverket. (2019). *Fakta om partiklar i luft*. Hämtad 2020-05-07 från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftforeningar/Partiklar/>

Naturvårdsverket. (2020). *Transporterna och miljön*. Hämtad 2020-05-07 från <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Transporter-och-trafik/>

Soreanu, G., Dixon, M., Darlington, A. (2013): Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants – A mini-review. *Chemical Engineering Journal*, vol. 229, år 2013, sid. 585-594.

Swema. *Koldioxidlogger*. Hämtad 2020-06-01 från <https://www.swema.se/Koldioxid/Koldioxidlogger%20Rotronic%20CP11>

Tonekaboni, M. (1998): *Biofiltration of Hydrophilic and Hydrophobic Volatile Organic Compounds using Wood-Based Media*. University of Toronto, Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, Toronto, 246 sid.

Visser, P. (2017): *Air purification by house plants*. Wageningen university & research, MV Bleiswijk, Nederländerna, 20 sid.

Wang, Z., Zhang, J. (2011): Characterization and performance evaluation of a full-scale activated carbon-based dynamic botanical air filtration system for improving indoor air quality. *Building and Environment*, vol. 46, nr. 03, år 2011, sid. 758-768.

Wolverton, B.C., Johnson, A., Bounds, K. (1989): *Interior landscape plants for indoor air pollution abatement*. National Aeronautics and Space Administration, Stennis Space Center, MS, 30 sid.

Wolverton, B.C., Wolverton, J. (1996): Interior Plants: Their Influence on Airborne Microbes inside Energy-efficient Buildings. *Wolverton Environmental Services*, vol. 41, nr. 02, år 1996, sid. 99-105.

Öqvist, J. (2018): *Botanisk biofiltrering av inomhusluft. Det sitter i väggarna*. SLU, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, 41 sid.

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2020
www.chalmers.se



CHALMERS