

OSLO METROPOLITAN UNIVERSITY
STORBYUNIVERSITETET

Institutt for bygg- og energiteknikk — Energi og miljø i bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

Webside: www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

OPPGAVENS TITTEL: Effekten av vindusåpning som hybridventilasjonsteknologi på termisk inneklime og energibruk i Klimahuset	DATO: 25.05.2023
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 77 / 50
FORFATTERE: Zolykha Ahmadi	VEILEDER: Ida Bryn (Ekstern veileder) Mehrddad Rabani (Intern veileder)

UTFØRT I SAMARBEID MED: Multiconsult AS	KONTAKTPERSON: Ida Bryn
--	----------------------------

KORT SAMMENDRAG: Vindusåpning som hybridventilasjon er det undersøkt ved Klimahuset på tøyen ved hjelp av målinger og IDA-ICE simuleringer, med tanke på effekten av vindusåpning på termisk inneklime og eventuelle energibesparelser. Det viste seg at utetemperaturer under 15 [°C] vil forårsake kraftige temperaturfall og trekk inne i lokalene uten forvarming av tilluften, dermed en del mer oppvarmingsbehov. Det er også påvist at det kommer til å bli en del høye hastigheter og trekk ved vindusåpninger samt at nattventilering er svært effektiv for passivkjøling. Det er lagt styringsstrategier for vindusåpninger som kan bidra til totale energibesparelse på hhv. 9,06% og 11,86%, kontra et fullt mekanisk ventilasjonsanlegg. Det trenger en ganske god og planlagt styringsstrategi for å utnytte de passive løsningene mest gunstig og i riktig tid, men i fravær av en god strategi vil systemet ikke fungere som det skal.
--

NØKKELOD: -Hybridventilasjon -Vinduslufting - Fasadeåpninger
--



Forord

Denne masteroppgaven er utført ved instituttet TKD ved OsloMet i Oslo våren 2023 for utdanningsløpet Masterstudium i Energi og Miljø i bygg. Oppgaven er i samarbeid med Multiconsult og OsloMet med veilederne Mehrdad Rabani som intern veileder og Ida Bryn som ekstern veileder hos Multiconsult.

Jeg ønsker å takke mine veiledere Ida og Mehrdad for et godt og verdifullt samarbeid. I tillegg ønsker jeg å takke ansatte ved OsloMet, Nils Ledermann, Ernst Erik Hempel og Bente Hellum for utlån av måleutstyr. Jeg ønsker å takke Arnkell Jonas Peterson og Jens I. Mathiasen som hhv. førsteamanuensis ved NMBU og Operations Consultant hos Window Master for deling av prosjekt-filer og prosjekt-materialer. Jeg vil også rette en stor takk til Robert Nilsen som områdeleder Tøyen, driftspersonell ved UiO for et godt samarbeid og for å få tilgang til SD-anlegget til Klimahuset. Ønsker også å takke min kollega Anita Hansen, ansatt ved Multiconsult for å lese kritisk gjennom oppgaven.



Zolykha Ahmadi

OsloMet 25.mai 2023

Sammendrag

I dag står det 40% av totalt energiforbruket i Europa og 36% av CO₂-utslippene relatert til bygninger. Det er forventninger til å kutte ned klimagassutslippene samtidig som det er strengere krav til energiforbruket. Et av de aspektene som kan bidra til kuttene er ventilasjonen i bygninger. Man kan optimalisere bruken av ventilasjon så mye, og sånn at det er supereffektivt i den perioden vi ønsker med minst bruk av energi. Hybridventilasjon har vært het tema de siste tiårene i Norge. Med en kombinasjon av naturligventilasjon og mekaniskventilasjon kan det se ut som man kan spare energibruken til bygninger samtidig som man kan redusere på klimagassutslippene, men det store spørsmålet er, om de prinsippene tilfredsstiller kravene til termisk inneklimate og luftkvalitet eller ikke. I denne masteroppgaven skal det undersøkes effekten av vinduslufting som hybridventilasjon på termisk inneklimate og energibruk, ved hjelp av målinger og IDA-ICE simuleringer ved Klimahuset på tøyen i Oslo.

Jobben har startet med en litteraturstudie for både å finne ut hva det er som er gjort av hybride løsninger per nå og hva har vært av resultater, men også samtidig for å lære de fysiske lovene som er grunnlaget for en naturlig- og hybridventilering. Det ble undersøkt og kartlegginger ved Klimahuset på tøyen. Det ble fant ut at det har vært en del klager fra brukerne på huset, blant annet, høye temperaturer om sommeren. Etter at studert nøye i prosjektmateriale og tekniske installasjonene fant ut at Klimahuset bruker naturligventilasjon som basisventilasjon med hjelp av vinduslufting og mekaniskventilasjon. Huset har automatisk styring av vinduene fra Window Master for vinduslufting.

Det ble utarbeidet en spørreundersøkelse for huset. Det er tatt et intervju med Window Master om deres systemer. Deretter ble foretatt termisk inneklimate- og CO₂-målinger ved Klimahuset for to av hovelokalene to ganger, en vinter- og en vårmåling samt ble SD-anlegget nærmere undersøkt. Vintermålingene ble foretatt uten vindusåpning, mens på vårmålingen var vinduene i et av lokalene åpne hele dagen. Det ble også utført IDA-ICE simuleringer for både verifisering av modellen og tiltaksmodeller, med tanke på termisk inneklimate og energiforbruk.

Resultatene fra vintermålingen viste seg at temperaturgradient og lufthastigheter vil oppfylle krav, men det har heller ikke vært noe bidrag fra mekaniskventilasjon, operativtemperaturen har vært over 23 [°C] lenge i en av lokalene. Det har vært ganske høye CO₂-konsentrasjoner og over forskriftskravet i lokalene. PMV og PPD-ene har vært langt over kravene samt DR% har vært over kravet og PD% har vært innenfor krav. Det er også avdekket at sensorene i lokalene fungerer ikke som de skal og de registrerer lave CO₂-konsentrasjoner samt feil ved temperaturene.

Resultatene fra vårmålingen viser at det har vært for høye PPD%, DR% og hastigheter grunnet vindusåpninger. I tillegg så har det vært noe for høye CO₂-konsentrasjoner til tross for at sensorene ble byttet ut. Beregningene viste at åpningsgradene på vinduene var underdimensjonert i et av lokalene, samt at hovedårsaken til utfordringene til bygget er at basisventilasjonen er basert på naturligventilasjon, i tillegg til en del fysiske og konstruksjonsmessige årsaker.

Høye CO₂-konsentrasjoner medfører dårlig luftkvalitet og helserisiko. Virusoverføring via luftbåren har hatt vært i søkelys etter COVID-19 pandemien og blant annet REHVA i sin COVID-19 veileder versjon 4.1 foreslått å endre settpunktet til CO₂ til 550 ppm ved behovstyrt ventilasjon. Da kan det være vanskelig å tilfredsstille kravene og ikke minst få god luftkvalitet med naturligventilasjon.

IDA-ICE simuleringer viste seg at vindusåpninger med utetemperaturer under 15 [°C] vil forårsake kraftige temperaturfall og trekk inne i lokalene uten forvarming av tillufta, dersom en skal opprettholde god luftkvalitet, dermed en del mer oppvarmingsbehov. Det er også påvist at det kommer til å bli en del høye hastigheter og trekk ved vindusåpninger. Det er også påvist at nattventilering er svært effektiv for passkjøling. Dermed er lagd noen vindusåpnings- og styringsstrategier for vinduene for tiltaksmodellene som vil bidra til en energibesparelse på totale energiforbruket på hhv. 9,06% og 11,86%, kontra et fullt mekaniskventilasjonsanlegg. Det trenger en ganske god og planlagt styringsstrategi for å utnytte de passive løsningene mest gunstig og i riktig tid, men i fravær av en god strategi vil systemet ikke fungere som det skal.

Abstract

Currently, buildings in Europe account for 40% of the total energy consumption and 36% of CO₂ emissions. Efforts are being made to reduce greenhouse gas emissions and impose stricter energy consumption requirements. One factor that may contribute to achieving these reductions is ventilation in buildings. Ventilation usage can be optimized to achieve significant efficiency during targeted periods, thereby reducing energy consumption. Hybrid ventilation has emerged as a prominent subject of discussion in Norway over the past decades. With a combination of natural- and mechanical ventilation, we can save energy usage in the buildings and reduce greenhouse gas emissions. However, the important question is whether these hybrid ventilations principles are compliant with thermal indoor climate requirements, or not. This master's thesis will explore the impact of window ventilation as hybrid ventilation on thermal indoor climate and energy use, with the aid of measurements and IDA-ICE simulations at Klima house in Oslo, Norway.

The present work has commenced with a comprehensive literature review to explore the current status of hybrid solutions and their outcomes, alongside acquiring an understanding of the fundamental physical principles that underpin the natural and hybrid ventilation. Klima house in Tøyen, Oslo was investigated and surveyed. It was discovered that there had been several complaints from the users of the building, such as high temperatures during the summer months. After careful examination of the project materials and the technical installation, it was found that Klima house uses natural ventilation as the basis for ventilation, with the help of windows and mechanical ventilation. The house has automatic control of the windows ventilation, provided by Window Master.

A survey was conducted for the building and an interview was conducted with Window Master regarding their systems. Thermal indoor climate measurements were then taken at Klima house for two of their main rooms, once during winter and in spring, and the SD-system was further examined. The winter measurements were taken without opening the windows, while during the spring measurements, the windows in one of the rooms were open all day. IDA-ICE simulations were also carried out for both model verification and intervention models, with a focus on thermal indoor climate and energy consumption.

The results from the winter measurements showed that the temperature gradient and air velocities meet the requirements, but there has been no contribution from mechanical ventilation, and the operative temperature has been above 23[°C] for a long time in one of the rooms. There have been quite high CO₂ concentrations in the rooms. PMV and PPD values have been far above the requirements, while DR% has been above the requirement, and PD% has been within the requirement. It has also been found that the sensors in the rooms are not functioning properly and are registering low CO₂ concentrations and errors in temperature.

The results from the spring measurements show that there have been too high PPD%, DR%, and velocities due to open windows. In addition, there has been somewhat high CO₂ concentration, despite sensor replacement. The calculations showed that the window opening areas were undersized in one of the rooms, and the main cause of the building's challenges is that the basic ventilation is based on natural ventilation, in addition to some physical and construction-related reasons.

High CO₂-concentration lead to poor air quality and health risks. Airborne virus transmission has been in the spotlight after the COVID19 pandemic, and organizations such as REHVA, in their COVID-19 guidance, version 4.1, have suggested changing the CO₂ setpoint to 550 ppm for demand-controlled ventilation. This makes it difficult to meet the requirements and, most importantly, achieve good air quality with natural ventilation.

The IDA-ICE simulations showed that window openings with outdoor temperatures below 15 [°C] would cause significant temperature drops and drafts inside the rooms without preheating of the supply air, resulting in higher heating demands. It was also found that there would be high air velocities and drafts with window openings. Additionally, it was determined that night ventilation is highly effective

for passive cooling. Therefore, some window opening, and control strategies were developed for the action models that will contribute to energy savings of respectively 9.06% and 11.86% on fan and cooling energy, compared to a fully mechanical ventilation system. A well-planned and implemented control strategy is necessary to utilize the passive solutions most efficiently and at the right time. Without a proper strategy, the system will not function as intended.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	IV
Sammendrag.....	VI
Abstract.....	VII
1 Introduksjon.....	1
2 Teori.....	3
2.1 Ventilasjonsformer.....	3
2.1.1 Naturligventilasjon.....	3
2.1.2 Mekaniskventilasjon.....	6
2.1.3 Hybridventilasjon.....	6
2.2 Inneklima.....	7
2.2.1 Atmosfærisk innemiljø.....	7
2.2.2 Termisk Inneklima.....	8
2.2.3 Termisk komfort.....	8
2.2.4 Krav og anbefalinger.....	10
3 Litteratursøk.....	11
3.1 Referanse prosjekter.....	11
3.1.1 Mesterfjell skole.....	11
3.1.2 Larvik og Oslo skoler.....	12
3.1.3 Brunla Ungdomsskole.....	12
3.1.4 Solstad Barnehage.....	13
3.1.5 Signalbygg på Nydalen i Oslo.....	14
3.1.6 The Liberty Tower of Meiji University.....	14
3.1.7 Berthol-Brecht-Gymnasium.....	14
3.1.8 B&O Headquarters.....	15
3.1.9 PROBE og IVEG bygget i Belgia.....	15
3.1.10 Wilkinson Building.....	17
3.1.11 BREs miljøvennlige kontorbygg.....	17
3.1.12 Tånga Skole.....	18
3.1.13 Øvrige artikler og prosjekter.....	18
3.1.14 Annex 35.....	19
3.1.15 Vinduslufting.....	20
3.1.16 Oppsummering av litteraturstudiet.....	20
3.2 Intervju med Window Master.....	21
3.2.1 Metodologi.....	21
4 Metode.....	23
4.1 Case Studie: Klimahuset på tøyen.....	23
4.1.1 Rominndeling.....	24
4.1.2 Energi.....	25
4.1.3 Solceller.....	25

4.1.4	Tilluft og avtrekk.....	25
4.1.5	Mekaniskventilasjon.....	26
4.1.6	Styringssystem.....	27
4.1.7	Hybridventilasjon	27
4.1.8	Automasjons beskrivelse	30
4.2	Befaring	31
4.3	Spørreundersøkelse.....	31
4.4	Målinger	31
4.4.1	Forutsetninger og tilstedeværelse	32
4.4.2	Middelstråletemperatur.....	33
4.4.3	Lufthastighet og lufttemperatur	34
4.4.4	Overflatetemperaturer.....	35
4.4.5	CO ₂ og RH%.....	36
4.4.6	Målefeil	37
4.4.7	PMV og PPD	37
4.4.8	DR%	37
4.4.9	Vertikallufttemperaturdifferanse PD%	37
4.4.10	Luftmengder og åpningsarealer	38
4.5	IDA-ICE Simuleringer	39
4.5.1	Importerbar modell	39
4.5.2	Soner.....	39
4.5.3	Klimafil	39
4.5.4	Vinduer.....	39
4.5.5	U-verdier	40
4.5.6	Belastninger.....	41
4.5.7	CO ₂ , Luftmengder, varme	41
4.5.8	Konstruerte ventilasjonsenarioer	42
5	Resultat	46
5.1	Resultatet av spørreundersøkelsen.....	46
5.2	Resultatet av målinger	47
5.2.1	Overflatetemperaturer.....	47
5.2.2	CO ₂	48
5.2.3	Feil ved sensor.....	49
5.2.4	Operativ temperatur.....	51
5.2.5	Temperaturgradient	52
5.2.6	Lufthastigheter.....	53
5.2.7	RH%	53
5.2.8	PMV, PPD, DR og PD	54
5.2.9	Luftmengder og åpningsarealer.....	55
5.3	Resultat av IDA-ICE Simuleringer	56
5.3.1	Verifisering av modellen	57

5.3.2	Resultater fra tiltaksmodellene	60
5.3.3	Adaptive temperaturer	66
5.3.4	Energi	68
6	Diskusjon	70
6.1	Målinger	70
6.2	Simuleringer	70
6.3	Oppsummering av årsaker	70
7	Konklusjon	72
7.1	Forslag til videre arbeid	72
	Referanser	73
	Vedlegg	1
	Vedlegg 1: Avtale mellom OsloMet og Multiconsult	1
	Vedlegg 2: Referat	5
	Vedlegg 3: Målepunkter for den 21.04.23	9
	Vedlegg 4: Systemskjema for varme og kjøle	10
	Vedlegg 5: Prinsippskjema for varme- og kjølemodus	11
	Vedlegg 6: Systemtegnning for hybridventilasjon fra Window Master	12
	Vedlegg 7: Temperaturgradient ved Utstillingen	13
	Vedlegg 8: Oppbygning av hybridventilasjon fra Window Master	14
	Vedlegg 9: Bilder for tillufter og avtrekk	15
	Vedlegg 10: Bilde av motorstyrte vinduer med innvendige solskjerminger	16
	Vedlegg 11: Instrumentliste	17
	Vedlegg 12: Oppsummerte svar fra spørreundersøkelsen for gutter	19
	Vedlegg 13: Oppsummerte svar fra spørreundersøkelsen for jenter	21
	Vedlegg 14: Ventilasjonstegning ved Amfi	23
	Vedlegg 15: Ventilasjonstegning av tekniskrom samt tilluft og avtrekk til Utstilling	24
	Vedlegg 16: Målte og beregnede verdier for Amfi den.07.02.23	25
	Vedlegg 17: Målte og beregnede verdier for Utstilling den.07.02.23	26
	Vedlegg 18: Oppsummering av litteratursøk	27
	Vedlegg 19: Kalibreringsbevis for Q-Trak	29
	Vedlegg 20: Målte og beregnede verdier for Amfiet den 21.04.23	30
	Vedlegg 21: Beregnet PMV, PPD, DR og PD verdier for Amfiet den 21.04.23	31
	Vedlegg 22: Målte og beregnede verdier for Utstilling den 21.04.23	32
	Vedlegg 23: Oversikt over mekaniskventilasjon samt temperaturer i 2022	33
	Vedlegg 24: Vindusåpningsoversikt for hele 2022	34
	Vedlegg 25: Makro for styringsstrategi med mekaniskventilasjon alltid på og hjelp av vindusåpning + pulsventilering i vår og høst og nattventilering i juli	35
	Vedlegg 26: Registrerte CO ₂ -konsentrasjoner ved sensorene den 07.02.2023	36
	Vedlegg 27: Makro for vindusåpningsstrategi med naturligventilasjon i grunn og bidrag fra mekaniskventilasjon	37
	Vedlegg 28: Første og andre figuren viser hhv. registrerte temperaturen og CO ₂ -nivået i Utstillingen ved sensoren den 07.02.23	38
	Vedlegg 29: Målepunktene ved Amfiet og Utstillingen for å sjekke temperaturforskjeller	39
	Vedlegg 30: Målepunkter for lufthastigheter, lufttemperatur den 07.02.23	40
	Vedlegg 31: Sammenhengen mellom vindusåpning og innetemperaturen ved Amfiet ved tidsrommet fra 18.07.22 til 24.07.22	41

Vedlegg 32: Romsensor levert av Window Master (FDV)	42
Vedlegg 33: Scheduler for 07.02.23	44
Vedlegg 34: Antatt scheudleliste for person, belysning og utstyr for tiltaksmodellene	45
Vedlegg 35: Sammenhengen mellom vindusåpning og innnetemperaturen, mekanisk tilluft og CO ₂ ved Utstillingen for 28.07.22	46
Vedlegg 36: Sammenhengen mellom vindusåpning og innnetemperaturen, mekanisk tilluft og CO ₂ ved Amfiet for 30.06.22.....	47
Vedlegg 37: Sammenhengen mellom vindusåpning og innnetemperaturen, mekanisk tilluft og CO ₂ ved Amfiet for 04.07.22.....	48
Vedlegg 38: Sammenhengen mellom vindusåpning og innnetemperaturen, mekanisk tilluft og CO ₂ ved Amfiet for 01.03.23.....	49
Vedlegg 39: Loggede verdier for vindusåpninger, temperaturer og CO ₂ for Amfiet den 21.04.23 ved SD-anlegget	50

Figuroversikt

Figur 1: Illustrasjon av spektret av forskjellige typer hybridventilasjon (Dokka et al., 2003, s. 12)	2
Figur 2: Ensidig ventilasjon (Axley, 2001, s. 45).....	4
Figur 3: Vinddrevet kryss ventilasjon (Axley, 2001, s. 39)	5
Figur 4: Oppdriftsdrevet Stabelventilasjon (Axley, 2001, s. 42).....	5
Figur 5: Vindu med integrert sytringsmotor, med maksimal åpningsgrad (Lie, 2015, s. 37)	12
Figur 6: Automatisk styrt vindu som benyttes for vinduslufting og værstasjonen på taket (Algrøy, 2014, s. 38).....	13
Figur 7: Luken som er mellom rommene (Øgård, 2014, s. 25).....	13
Figur 8: The Liberty Tower of Meiji University (Heiselberg, 2006, s. 43).....	14
Figur 9: Bertol-Brecht-Gymnasium i Dresden (Dokka & Vik, 2001, s. 10)	15
Figur 10: B&O Headquarters (Heiselberg, 2006, s. 44).....	15
Figur 11: PROBE bygget, øverst til høyre: Rister for intensiv ventilasjon, nederst til høyre: Tilluft med tilstedeværelsesdetektor (Wouters et al., 1999).....	16
Figur 12: IVEG bygget (DELSANTE & VIK, 2002), øverst til høyre er integrert nattkjøling design, nederst til høyre er konseptet for tilluft for nattkjøling i fasaden (Wouters et al., 1999)	16
Figur 13: Wilkinson Building i Sydney (Heiselberg, 2006, s. 46).....	17
Figur 14: Skisse for luftbevegelser i BREs bygget i Storbritannia (Dokka & Vik, 2001, s. 14).....	17
Figur 15: Bilde av Tånga skole (Wahlström et al., 2006)	18
Figur 16: Vindu og side spalte ved «2226» (Halderaker, 2016, s. 24).....	19
Figur 17: Typisk driftsstrategi fra Window Master (bilde er hentet fra presentasjonen til Window Master med tillatelse fra dem).....	21
Figur 18: 3D-illustrert av Klimahuset (Erichsen og Horgen, personlig kommunikasjon, 2020)	23
Figur 19: Kartlegging av bygget	24
Figur 20: Bilde til venstre er tatt fra ARK-underlag tegning A1101, bilde til høyre er tatt fra Perspektiv tegninger og viser innholdet i bygget.....	24
Figur 21: Bildet av bygget (Store bildet er tatt av 03.02.23 og bildet til høyre er tatt av solibri modellen)	26
Figur 22: Soneinndeling av bygget.....	27
Figur 23: Bildet er tatt av bygget som viser luka i Nord-fasaden.....	28
Figur 24: Illustrasjon av opprinnelige prosjektert hybridventilasjon (Erichsen og Horgen, personlig kommunikasjon, 2020).....	29
Figur 25: Tilluftsoversikt fra system 360.001 for hele 2022, (figuren er fra SD-anlegget til Klimahuset)	29
Figur 26: Vindusåpningsgrader for hele 2022 i Utstillingen, figuren er fra SD-anlegget til Klimahuset	30
Figur 27: Bilde til venstre er tatt gjennom hullene på trebenken og viser tilluftskanalen under benken i Amfiet, det er mulig å se på vedlegg 14, for ventilasjonstegningen i rommet. Figuren til høyre viser Swema 3000 som måler 0 i luftmengder ved kanalen ved hjelp av Probe SWA 31	32
Figur 28: Bilde til venstre er Globe under logging i Amfiet. Bilde til midten er Globe under logging i Utstillingslokalet. Bilde øverste til høyre har angitt ca. plassering i Amfi, bilde nederst til høyre angitt ca. plassering i Utstillings arealet. Alt for den 07.02.23	34
Figur 29: Bilde er tatt av Thermocouplene festet på stativene under logging.....	35
Figur 30: Bilde til venstre viser målepunkter for overflatetemperaturer ved Amfiet, bilde til høyre er målepunkter for overflatetemperaturer ved Utstillingen	36
Figur 31: Øverste bildet er tilkoblede Thermocouple elementer på overflater og logging på PC på Utstillingsarealet samt bilde nederst til venstre. Bilde nederst til høyre er samme logging i Amfiet..	36
Figur 32: Bilde til venstre viser målepunkter for vårmålingen, bilde til høyre er målepunkter for vintermålingen.....	37
Figur 33: Modellen av hele bygget fra øst-fasade	39
Figur 34: figuren til høyre viser den modellerte vinduene i Amfiet og figuren til venstre viser vinduene i Utstillingen på øst-fasade	40

Figur 35: Figuren til venstre er varighet for tilluftstemperaturer og figuren til høyre er varighetstemp for varmtvann.....	42
Figur 36: Makro for vindusåpning i driftstid med settpunkter og tider og utenomdriftstid med nattkjøling og utetempkontroll	45
Figur 37: Figuren til venstre er schedulen for driftstiden og figuren til høyre er schedulen for utenomdriftstiden.....	45
Figur 38: Svarene fra jenteandelen for spørreundersøkelsen	46
Figur 39: Svarene fra gutteandelen for spørreundersøkelsen	46
Figur 40: Figuren til venstre viser målt overflatetemperaturer i Amfi og figuren til høyere er målte overflatetemperaturer ved Utstillingen den 07.02.23	47
Figur 41: Figuren til venstre viser CO ₂ -nivået ved Amfi og figuren til høyere viser CO ₂ -nivået ved Utstillingen, sammenlignet med krav fra arbeidstilsynet «Inneklima og luftkvalitet på arbeidsplassen» (Arbeidstilsynet, u.å.)	48
Figur 42: Figuren viser romtemperaturerne registrert av sensoren fra SD-anlegget ved Utstilling den 07.02.23.....	48
Figur 43: Figuren til venstre viser CO ₂ -nivået ved Amfi og figuren til høyere viser CO ₂ -nivået ved Utstillingen, sammenlignet med krav fra arbeidstilsynet «Inneklima og luftkvalitet på arbeidsplassen» (Arbeidstilsynet, u.å.)	49
Figur 44: Figuren til venstre viser CO ₂ -nivået registrert ved sensoren fra SD-anlegget ved Utstilling den 07.02.23 mens figuren til høyre viser bidraget fra mekaniskventilasjon for samme dag.....	49
Figur 45: Grafen til venstre viser CO ₂ -nivået registrert av sensoren fra SD-anlegget ved Utstilling den 10.02.23, mens bilde til høyre viser målt CO ₂ -nivået ved instrumentet.....	50
Figur 46: Sammenligning av temperaturer ved sensor og målte verdier for både Amfi og Utstillingen	51
Figur 47: Figuren til venstre viser Operativ temperaturen ved Amfi og bilde til høyere viser operativ temperatur ved Utstilling.....	51
Figur 48: Figuren til venstre viser Operativ temperaturen ved Amfi og figuren til høyere viser operativ temperatur ved Utstilling.....	52
Figur 49: Figuren til venstre viser temperaturgradient ved Amfi og bilde til høyere viser temperaturgradient ved Utstilling den 07.02.23	52
Figur 50: Figuren til venstre viser lufthastigheter ved Amfi ved 0,1 høyde og bilde til høyere er ved 1,6 m høyde	53
Figur 51: Figuren til venstre viser lufthastigheter ved Utstillingen ved 0,1 m høyde og bilde til høyere er ved 1,6 m høyde	53
Figur 52: Figuren til venstre viser målte RH% ved Amfi den 07.02 og bilde til høyere viser målte RH% ved Amfi den 21.04	54
Figur 53: Figuren til venstre viser målte RH% ved Amfi den 07.02 og bilde til høyere viser målte RH% ved Amfi den 21.04	54
Figur 54: Beregnede verdier for Amfi og Utstillingen den 07.02.23	54
Figur 55: Beregnede verdier for Amfi og Utstillingen den 21.04.23	55
Figur 56: Antall timer over 26 [°C] i 2022 i begge lokalene.....	56
Figur 57: Verifisering av resultater for CO ₂ i IDA-ICE for Amfi og Utstillingen	57
Figur 58: Verifisering av resultater for temperaturer i IDA-ICE for Amfi og Utstillingen.....	57
Figur 59: Utetemperaturen fra klimafilen for 07.02.23	58
Figur 60: Utsignalene for naturligsystemet med bidrag fra vindusåpning og mekaniskventilasjon	59
Figur 61: Temperaturer med mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + nattkjøling og utetempkontroll den 04.05.2022.....	60
Figur 62: Temperaturer og CO ₂ forhold for hele 2022 basert på de 3 tiltakssenarioene for Utstillingen	61
Figur 63: Temperaturer og CO ₂ forhold for hele 2022 basert på de 3 tiltakssenarioene for Amfi	62
Figur 64: Temperaturer med mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + pulsventilering i vår og høst og nattventilering i juli den 15.07.2022.....	63
Figur 65: Temperaturer og CO ₂ for dimensjonerende forhold samt PPD basert på de 3 tiltakssenarioene for Amfi.....	64

Figur 66: Temperaturer og CO ₂ for dimensjonerende forhold samt PPD basert på de 3 tiltakssenarioene for Utstillingen	65
Figur 67: Adaptive temperaturer og antall timer som overskrider over grensen iht. kategori II i EN-15251 ved tiltaksmodellene (Standard Norge, 2014b)	66
Figur 68: Operative temperaturer for en hel uke og en dag i sommer- og vinterforhold ved senario 2 og 3	67
Figur 69: Oversikt over energibesparelser sammenlignet med referansebygg	69

Tabelloversikt

Tabell 1: Klassifiseringskriterier for arkitektoniske muligheter (Kleiven, 2003, s. 73).....	4
Tabell 2: PMV-Skalaindeks (SINTEF, 2017a)	8
Tabell 3: anbefalte verdier for operativ temperatur (Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning, 2020).....	10
Tabell 4: Evaluering av ulike vindusåpninger og effektiviteten av ventilasjon i kontorer for typiske åpninger, Beskrivelse av symboler: Dårlig -, Medium 0, Bra + (Roetzel et al., 2010)	20
Tabell 5: Betjeningsområde og luftmengder (Erichsen og Horgen, personlig kommunikasjon, 2020)	26
Tabell 6: Tilstedeværelse og oversikt under målinger den 07.02.23 i lokalene	33
Tabell 7: Tilstedeværelse og oversikt under målinger den 21.04.23 i lokalene	33
Tabell 8: Inndeling av målefeil (Novakovic et al., 2014).....	37
Tabell 9: Glass info ved IDA-ICE.....	40
Tabell 10: Minstekrav for enkeltkomponenter for Klimahuset og fra TEK17	40
Tabell 11: Internlast	41
Tabell 12: Sett punkter, luftmengder og info om IDA-ICE modellene.....	43
Tabell 13: Pulsventilering + nattventilering strategi når utetemp er høyere enn 15[°C].....	44
Tabell 14: Sammenligning av totale resultater og beregnede verdier mot krav	47
Tabell 15:Resultatene fra beregninger for åpningsarealer og antall vinduer	56
Tabell 16: beregnede luftmengder etter TEK 17	56
Tabell 17: Energi vurderinger i IDA-ICE modeller	68

Forkortelser

ACH – Air change per hour, (h-1)

BEMS – Building Energy Management Systems

CAV – Konstant air volum

CFD – Computational Fluid Dynamics

CO₂ – Karbondioksid

clo – Bekledning

DR% – Draught– forventet andel som kjenner trekk

IAQ – Indoor Air Quality

IDA-ICE – IDA Indoor Climate and Energy simulation software

IEA – International Energy Agency Energy

IVEG – Institut Voor Energetische Geneeskunde

MM – Mixed-mode

MV – Mekanisk Ventilasjon

met – Metabolisme

NV – Natt Ventilasjon

NZEB – Nearly Zero Energy Building

PBL – Plan og bygningsloven

PD – Percentage dissatisfied for local; thermal discomfort, %

PMV – Predicted mean vote (forventet middelvotering)

PPD – Predicted percentage dissatisfied (forventet prosentandel misfornøyde)

ppm – Parts Per Million of volume REHVA

REHVA – Representatives of European Heating and Ventilation Associations

RH% – Relative humidity

SSB – Statistikkentralbyrå

TEK – Teknisk forskrift

VAV – Variable Air Volum

WHO – World Health Organization

ZEB – Zero Emission/energy Building

1 Introduksjon

I dag står det 40% av totalt energiforbruket i Europa og 36% av CO₂-utslippene relatert til bygninger ifølge European Commission (Sitert i Mital, 2020). Det betyr at nesten 75% av EUs 210 millioner bygninger er ikke energieffektive bygg, og mellom 75- 85% av dem vil forsett være i bruk i 2050 (Fabbri et al., 2016). Dette sier noe om utfordringen som vi står ovenfor frem mot målene i 2050 med avkarbonisering av bygningsmasser. Det er forventninger til å kutte ned klimagassutslippene samtidig som det er strengere og strengere krav til energiforbruket. Det bygges også tettere og tettere for å redusere på energiforbruket. ”*For en tett til en meget utett bygning doubles oppvarmingsbehovet for en middels god bygningskropp, mens det kun øker med 4 % for en bygning med dårlige U-verdier*” (Haukland, 2010, s. VII). Passive kjøleløsninger blir mer viktig med den stigende utetemperaturen, og bør utforskes mer for å løse en del av de utfordringene som vi står ovenfor når det gjelder bygninger. Ikke minst å redusere kjølebehovet er like viktig som om å dimensjonere robuste kjøleløsninger.

Tiltak som nattkjøling, termisk masse eller kombinasjoner av disse har vist seg å være svært effektive i norske næringsbygg (Olsen, 2022). ”*Frikjøling og nattventilasjon gir flere fordeler i mellomsesonger når lavere minimum utetemperatur oppstår*” (Stasi et al., 2022, s. 1). Imidlertid en rask utvikling av kjølebehov i norske næringsbygg har ført til feil og overdimensjonering av kjøleanlegget. Bruk av normerte verdier hentet fra NS 3031 for prosjektering i byggeprosjekter for internlaster med 100% varmetilskudd og normerte driftstider resulterte i ca. 40% overdimensjonering av kjøleanlegget (Olsen, 2022). En riktig dimensjonering og godt planlagt hybrid/naturligventilasjon vil kanskje håndtere kjølebehovene i land som Norge med kaldt klima.

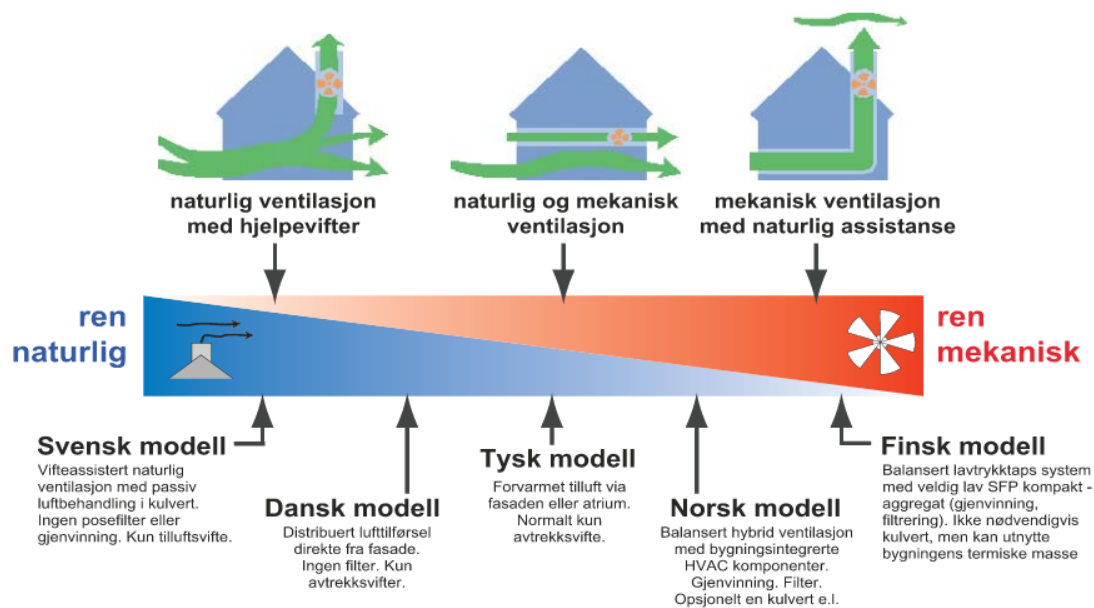
Etter COVID-19 pandemien har det også blitt mye mer søkelys på å redusere virusoverføring via luftbåren. Dette er en bekymring og en ulempe med å designe hybridventilasjon i tillegg til pollen problematikken. REHVA har blant annet i sin COVID-19 veileder versjon 4.1 foreslått å endre settpunktet til CO₂ til 550 ppm ved behovstyrt ventilasjon (REHVA, 2021).

Det er gjort en simuleringsstudie for et klasserom og optimalisering og utformingen på vindusåpningene med og uten vifter på, og effekten av det på forurensningskonsentrasjon og beregne smitterisikoen basert på det (Ren et al., 2022). Vifter integrert i vinduene hadde betydelig effekt på å forbedre ventilasjonsytelsen og forebygging av smitteoverføring blant annet en minimum infeksjons sannsynlighet på 11% for elevene som sitter nær klasserommets vinduer (Ren et al., 2022).

På en annen side så er det like viktig med termisk komfort og god luftkvalitet. Vi står ovenfor å tilfredsstille termisk komfort samtidig som vi trenger å designe energieffektive bygg eller nullutslipp bygninger. Et av temaene for tilfredshet av komfort er å ha muligheten til å åpne vinduene lokalt hos seg selv. Dette er stort tema som diskuteres med både fordeler og ulemper. Resultatet fra en studie som er gjort for anlegg med naturligventilasjon, viser at naturligventilasjon gir stort sett tilstrekkelige luftmengder og PMV-verdien har vært mellom -1 og -1,5 i arbeidstiden. Brukerne har følt seg bite litt kalde men komfortkravene er tilfredsstillt (Mital, 2020).

I en litteratursøk er det vist at ventilasjonen henger sammen med mange faktorer, som for eksempel utendørs og innendørs forhold, bygningsapplikasjoner, bygningsegenskaper og beboere og brukers adferd (Chenari et al., 2016). I henhold til en studie kan beboernes adferd være en av hovedårsakene til forskjellene mellom reel energiytelser og beregnet, samt komfort i bygninger (Roetzel et al., 2010). I et forsøk for to bygg i Ottawa for å optimalisere brukeradferd ved å åpne vinduer i blandede ventilasjonssystemer er det anbefalt å bruke termostat settpunktsenkning for å motivere brukere for å åpne vinduer når det gunstig for energien for å redusere energibruken og motsatt (Liu et al., 2021).

Figur 1 viser en illustrasjon av spekteret for forskjellige type ventilasjon i 5 forskjellige land gjort av Dokka et al. (2003). Inndeling av konseptet er basert på enten allerede bygget eller prosjekterte bygg med hybride/integrerte ventilasjonsanlegg i Norge, Finland og Sverige samt løsninger som er blitt brukt i Tyskland og Danmark.



Figur 1: Illustrasjon av spektret av forskjellige typer hybridventilasjon (Dokka et al., 2003, s. 12)

Ut ifra figuren ser vi at utbredelse av konseptene for Norge ligger et sted med mye bruk av mekanisk ventilasjon i kombinasjon med noen hybridløsninger. De løsningene som har vært brukt i Norge, er kulvert løsninger, bruk av tunge konstruksjoner og vindusluftinger for hybridventilasjon. Kulvertene er både plasskrevende, skaper støy problemer og det koster også en del i og med at det må bygges en del ekstra konstruksjoner.

Det brukes to tilnærminger for å oppnå lav energiforbruk i bygg med bygningsintegrert ventilasjon i Norge, årstidstilpasninger og varmegjenvinning (Dokka et al., 2003). Årstidstilpasset ventilasjon utnytter kunnskapen om at kald luft er oppfattet som god kvalitet. Dette betyr reduserte luftmengder. Luftmengder kan styres enten ved hjelp av varmeproduksjonen inne eller ved hjelp av utetemperaturfølere, innetemperaturløpere og CO₂-følere. Konseptet brukes ofte i kulvertløsninger som begrenser forvarming av tilluften, dermed er en økonomisk gevinst og mindre energibruk til forvarming av tilluften. Dette har også en lavere vedlikeholdsintensitet (Dokka et al., 2003, s. 12). Varmegjenvinningen utgjør stort trykktap, noe som betyr at viftene må jobbe kontinuerlig. Det brukes ofte CO₂-følere i denne type bygg for behovsstyrt styring og temperaturfølere for styring av forsering ved sommerkjøling. Denne kombinasjonen av varmegjenvinning og behovsstyring gjør det mulig å oppnå lavere energiforbruk (Dokka et al., 2003, s. 12).

Av de nyeste prosjektene som har brukt hybride løsninger, har vinduslufting med automatisk styring og sentraldrift basert på innemiljø parameter og målinger av uteklima, vært mer utbredt i Norge. Det viser seg at det er blitt gjort en del prosjekter og undersøkelser på dette feltet og mye tyder på at en hybrid ventilering med vinduslufting, åpninger i fasader er stort sett tilfredsstillende for termisk innneklima på vår, høst og sommer, men at det har vært for lave tilluftstemperaturer og trekk om vinteren i kalde klima uten å forvarme tilluften. Det har også vært en del høye temperaturer og CO₂-konsentrasjoner på de aller varmeste dagene om sommeren. Samtidig er det registrert en del energibesparelser på hybride løsninger av fasadeåpninger.

Det som ikke har blitt mye omtalt om er begrensninger og ulemper ved hybrid løsning, blant annet problematikken med pollen, ufiltrert luft, lite kontroll på luftmengder og det er heller ikke blitt så mye diskutert om en løsning for ovennevnte utfordringer med hybride løsninger. En annen ting som kan merkes at det er heller ikke blitt mye omtalt om globaloppvarming og konsekvensene for allerede eksisterende hybride prosjekter. Det kan også ses at det har vært litt mer fokus på smitte via luftbåren etter COVID-19 og ikke så mye særlig før.

I denne masteroppgaven skal det undersøkes effekten av vinduslufting som hybridventilasjon på termisk innneklima og energibruk, ved hjelp av målinger og simuleringer i IDA-ICE ved Klimahuset på tøyen i Oslo. Samt finne ut av årsaken til en del utfordringer som bygget har, blant annet for høye temperaturer i sommer.

2 Teori

Dette kapitlet omhandler teori, og her blir diskutert en del om ventilasjonsformene, fysiske lover for naturligventilering, samt fordeler og ulemper med ventilasjonsformer. I tillegg så er det reflektert over inneklimateparametere og teori for beregning av inneklimateparametere.

2.1 Ventilasjonsformer

Ventilasjonsanlegget er mer viktig enn tidligere nettopp pga. de utfordringene som vi i verden står ovenfor, og ikke minst at anlegget erstattes av konvensjonelle oppvarmingssystemer også. Ventilasjonen i bygget har 3 funksjoner, 1) Fjerne og ventilere fukt fra bygget, 2) Tilføre frisk luft til brukere og beboere og 3) Holde komfort temperatur i byggene (Wigenstad et al., 2012).

Ventilasjonsformer består av tre ulike typer, naturlig, mekanisk og hybridventilasjon. Alle typene er brukt rundt omkring i verden, men det som skal denne oppgaven skal fokusere på er hybridventilasjon. Vi forsker mer og mer på hybridventilasjon med tanke på bærekraftigløsninger, minske CO₂-belastninger samt redusere energiforbruket og opprettholde termisk inneklimate.

2.1.1 Naturligventilasjon

Ved naturligventilasjon brukes naturlige drivkreftene fra oppdrift og vind til luftskifte av bygninger. Hovedsakelig via vinduslufting eller lukeåpninger, utettheter gjennom bygningskroppen samt ventiler i yttervegger uten at rommene er koblet sammen til et felles system (Mathisen et al., 2004). Det er hovedsakelig temperaturforskjellen mellom ute og inne som forårsaker luftbevegelser. Naturligventilasjon kan designes på forskjellige metoder.

For de varmeste dager på sommer trenger man store vindusåpninger og på vintersesongen vil den tillufta fra vinduet gi trekk. Denne problematikken kan reduseres ved å designe løsninger som kan omfatte hele bygget. Men likevel har man ingen varmegjenvinner fra ventilasjon og ikke kontroll på ventilasjon på varme dager når det er vindstille (Mathisen et al., 2004).

Det er viktig å være klar over at naturligventilasjon har påvirkning på fasadene, taket, de indre rommene og utformingen av hele bygget. Naturligventilasjon er til sin fordel et enkelt og robust system som medfører mye mindre installasjonskostnader til bygget. Det har ingen viftestøy og har lite plassbehov, samt er enkelt å rengjøre luftveiene. Dessuten kan mennesker trives mer i miljøer der de kan tilpasse selv for eksempel med vindusåpning enn i miljøer med ingen mulighet til påkjenninger og tilpasninger ifølge Baker (Siteri i Dokka et al., 2003, s. 9).

Både naturlig- og hybridventilasjonsystemer baserer seg på tre grunnleggende prinsipper (Axley, 2001, s. 38)

- Ensidig ventilasjon som baserer seg hovedsakelig på strømningsmomentum grunnet turbulens
- Kryss ventilasjon som baserer seg på vinddrevne trykkforskjeller
- Oppdrift ventilasjon som baserer seg på oppdrift og trykkforskjeller (Axley, 2001, s. 38)

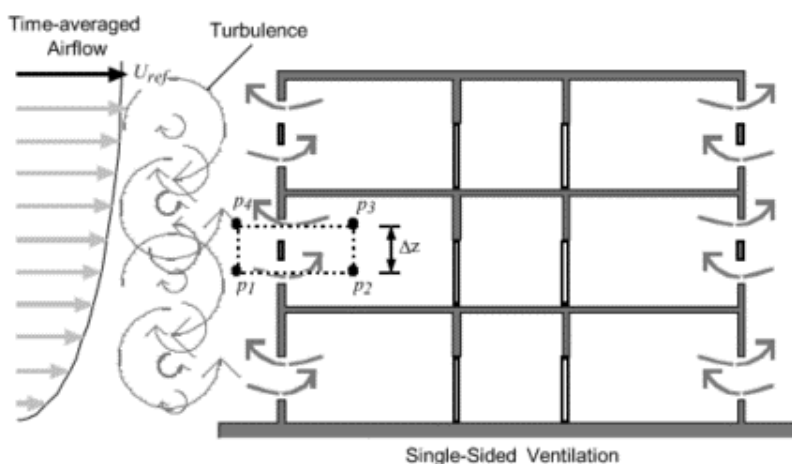
Kleiven (2003, s. 73) definerer 5 viktige aspekter for det naturligventilasjonskonseptet. *Byggehøyde, tilluft og avtrekksveiene, ventilasjonsprinsipp, naturlige drivkrefter og ventilasjonselementer*. Tabell 1 viser komplette karakteristiske aspektene.

Tabell 1: Klassifiseringskriterier for arkitektoniske muligheter (Kleiven, 2003, s. 73)

Karakteristisk aspekt	karakteristisk parameter
Naturlig drivkrefter	<ul style="list-style-type: none"> • Oppdrift • Vind
Ventilasjons prinsipp	<ul style="list-style-type: none"> • Ensidig • Kryss • Stable
Ventilasjon element	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilasjon åpning i fasaden • Vind tårn • Vind scoop • Atrium • Ventilasjons kammer • Innstøpt kanal
Bygnings høyde	<ul style="list-style-type: none"> • Lavreist • Middel høy • Høy hus
Tilluft og avtrekksveier	<ul style="list-style-type: none"> • Lokal • Sentralt

2.1.1.1 Ensidig ventilasjon

Ensidig ventilasjon er en av metodene i naturlig ventilasjon som brukes, skisse er visst i figur 2. I ensidig ventilasjon har man åpning i kun en av veggene til rommet. Her er det oppdriftene og vind som skaper luftgjennomstrømming. Ved høye temperaturer inne, så vil kald luft fra ute strømme inn ved nedre del av åpningen og samtidig vil varmluft strømme ut ved øvre del av åpningen. Vind skaper en pumpeeffekt (Santamouris & Wouters, 2006). Denne metoden skaper lavere ventilasjonshastigheter og luften trenger ikke veldig langt inn i rommet sammenlignet med andre metoder (Heiselberg, 2006, s. 23). Denne metoden er effektiv til en dybde på ca. to ganger gulv til tak høyden (Heiselberg, 2006, s. 23).

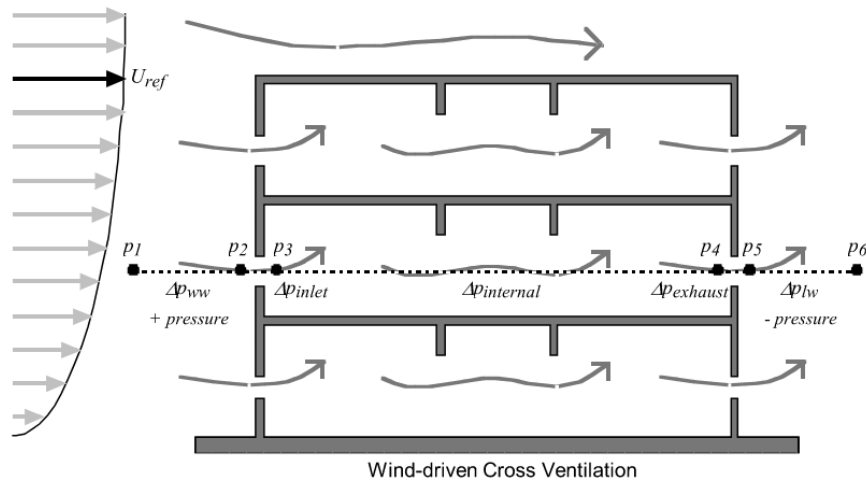


Figur 2: Ensidig ventilasjon (Axley, 2001, s. 45)

2.1.1.2 Kryss ventilasjon

Ved kryss ventilasjon har man åpninger på to sider av rommet. Hoved driften i denne metoden er vind. Der lufta kommer inn på en side av åpningen og tvers gjennom rommet og går ut på andre siden av rommet, viser til figur 3. Vind pleier å skape positiv trykk på en vindutsattside og en negativ trykk på andre siden av bygget/rommet. Denne trykkforskjellen skaper luftverrstrømming gjennom bygningen (Axley, 2001). Høye hastigheter kan oppstå ved bruk av denne metoden og på grunn av store og raske luftskifte er det vanskelig

å kontrollere luftmengden. Men en av fordelene med denne metoden er at stor romdybde kan ventileres (Heiselberg, 2006). Den effektive ventileringen av rommet er opptil 5 ganger gulv til tak høyde, en sånn begrensning fører til smale plan (Heiselberg, 2006, s. 23). Denne metoden kan være en kombinasjon av mekanisk og naturligventilasjon eller vifteassistert naturligventilasjon.

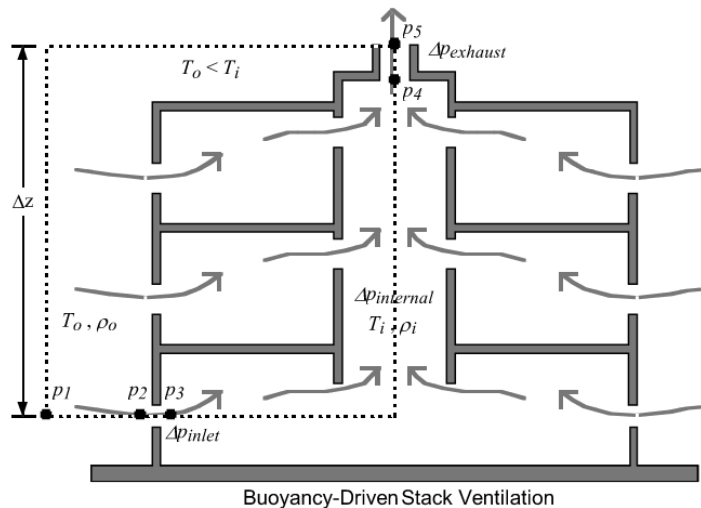


Figur 3: Vinddrevet kryss ventilasjon (Axley, 2001, s. 39)

2.1.1.3 Oppdrift ventilasjon

I denne metoden ligger åpningene både på lavt og høyt nivå. Den aller viktigste drivkraften her er termisk oppdrift. Metoden baserer seg på kryss ventilasjon, ved at luften kommer inn i rommet på et lavt nivå og går ut høyt ved andre siden av rommet eller tømmes på andre siden av bygget med skorstein effekten.” *Skorsteiner, som er enklere enn vindtårn og ofte plassert på bygningssak, bruker kryssventilasjon effekter for å trekke ut varmluft, uavhengig av vindretning. En skorstein vil vanligvis inkludere et deksel for åpen topp for å unngå regninntrenging. Det kan øke luftstrømmen gjennom gapet mellom dekelet og toppen, skape undertrykk på den, og til slutt skape sug i alle vindretninger på grunn av Bernoulli”* (Tran, 2013, s. 32).

Varmluft har en tendens til å stige høyt og strømme ut ved øvre nivå, referer til figur 4. Men kald luft har tendens til å strømme gjennom bygningen ved lavere høyder gjennom innløpene. Ved et høyere temperatur inne vil lufttettheten ρ være lavere enn lufttettheten ρ ute. Denne forskjellen i tettheten $\Delta\rho$ skaper en trykkforskjell som driver luftgjennomstrømmingen. Man kan også ventilere større dybder av rommet med denne metoden. Det kan også oppstå høye hastigheter ved store temperaturforskjeller (Heiselberg, 2006, s. 23). Luften kan også strømme over hele bygningens bredde og være effektiv over en bredde på fem ganger gulv til tak høyde fra innløpet til der luften slippes ut (Heiselberg, 2006, s. 25).



Figur 4: Oppdriftsrevet Stabelventilasjon (Axley, 2001, s. 42)

2.1.2 Mekaniskventilasjon

Mekaniskventilasjon er det systemet som bruker vifter som drivkrefter til å bevege lufta gjennom systemet. Systemet er koblet sammen ved hjelp av kanaler og ventiler i hvert rom og er helt uavhengig av uteforholdene. Vi bruker rensing og forvarming av tillufta og gjenvinner varmen fra den brukte luften via varmegjenvinnere. Avtrekksviftene suger luften fra avtrekkskanalene.

Mekaniskventilasjon med et høyt trykkfall har vært mest vanlig de siste 50 årene i kommunale og norske næringsbygg (Dokka et al., 2003, s. 6).

Noe av fordelene med mekaniskventilasjon er at den er helt uavhengige av uteforhold og man kan skape godt inn klima, luftkvalitet og temperaturforhold inne. Resultatene er pålitelige, og man kan også gjenvinne en del av varmen for å være energieffektiv. Dette kan skape luftkvaliteten som vi ønsker.

I en nasjonal undersøkelse gjort av Peter G. Schild i 2002 ble det lagt frem i boliger med balansertventilasjon og varmegjenvinner, er det 90% av husstandene som antydte at de har vært fornøyde eller svært fornøyde med luftkvaliteten i boligen (Schild, 2002).

Noen av ulempene kan være at det brukes mer utstyr og overvåking etc. dermed mer service og vedlikeholdspunkter. Det kan også ha noe mer investeringskostnader grunnet mer materialer. Det er også plasskrevende, kan skape støy fra vifter og brukes vifteenergi.

2.1.3 Hybridventilasjon

Hybridventilasjon er en kombinasjon av både naturlig og mekaniskventilasjon og bruker de beste evner fra begge de to systemene til å levere et bra ventilasjonssystem. Driften til hybridventilasjon kan varierer fra sesong, årstider, enkelte dager og timer. Man får maksimalt nytte av uteforholdene. Aller fleste hybridssystemene har en automatisk, intelligent og integrertstyring som veksler mellom mekanisk og naturlig modus til å redusere på energibruken. Det viktigste med hybridventilasjon er et godt samarbeid mellom ARK og RIV fra veldig tidlig fase. Arkitekten spiller en stor rolle ved design av et hybridventilasjonsbygg.

Det er både fordeler og ulemper ved bruk av hybridventilasjon, men motivasjonen for bruk av systemet er blant annet å redusere energibruken til bygninger, passive kjøleteknologi samt redusere klimagassutslippene. Det er også en lengere levetid på systemet, det er et enkelt system og slipper å ha komponenter som må vedlikeholdes. Hybridventilasjon bruker vifte samt naturlige drivkreftene bevist for å redusere vifteeffekten. Det er også mye mindre støy fra systemet. Vifteeffekten senkes, med intelligent styring når naturlige drivkrefter økes, slik at summen av de to systemene er tilstrekkelig til enhver tid. Og eventuelt slå av viften hvis luften via drivkreftene er tilstrekkelig (Dokka et al., 2003, s. 6).

Heiselberg (2006) nevner noen fordeler med hybridventilasjon :

- En av de åpenbare fordelene med hybridventilasjon er energieffektiviteten. Det er økende press for energisparing og ved å spare på mekaniskventilasjon kan vi spare på energi.
- Miljøpåkjenninger er det et annet aspekt som kan spares på ved bruk av hybridventilasjon.
- Hybridventilasjon gir også høy brukertilfredshet på grunn av bruk av naturligventilasjon, og mer kontroll på det lokale inn klimaet.
- Komplekse bygninger, samt bærekraftige
- Hybridventilasjon bruker to systemer i et komplekst system og utnytter fordeler fra hvert system til å skape en optimalisert løsning
- For å oppfylle de høye kravene for inn klima

Det er også ulemper med hybridventilasjon. Ventilasjonssystemer som er basert på vindusåpninger/lukeåpninger i fasadene kan være utfordrende uten tilstrekkelig filtrering av forurenset uteluft, eller som er ved trafikkerte veier og ikke tilfredsstillende akustiske krav, alt dette strider mot intensjonen i § 29-6 (Bjørnli, 2016). Ikke minst virusmitte som nevnt tidligere.

Generelt er en del utfordringer med tilluft gjennom fasader (Jerkø et al., 2006, s. 61):

- Problemer med trekk og lave temperaturer ved tillufter
- Luftkvalitet og støy problemer, det er dårlige luftkvalitet og trafikkerte veier
- Høy energi forbruk i kalde områder hvis ikke man gjenvinner varmen fra avtrekksluft

En gruppe mennesker som kan slite med fasadeåpninger er pollenallergikere. NRK meldte om at det er 300.000 nordmenn som har vært sykemeldt fra jobb eller utdanning i pollensesongen og 100% av dem har vært syke opptil 20 dager grunnet pollenallergi (NRK, 2016).

Man skiller ofte hybridventilasjon systemer i tre type gjengitt i (Bekkeli, 2021, s. 15):

- **Mixed mode system**

I et slik system brukes enten to separate systemer eller kombinert i et bygg eller sone, ved å kontrollstyre og drifte systemene enten sammen eller separate, drifte system/systemene enten på et sted, sone, en del av bygget og eller periodisk.

- **Vifteassistert naturligventilasjon**

Systemet baserer seg på naturligventilasjon først og fremst, men systemet assisteres av mekaniske vifter ved perioder der det er svake naturlige drivkrefter, vindstille eller stort luftmengdebehov.

- **Mekaniskventilasjon med støtte fra naturlige drivkrefter**

Dette prinsippet baserer seg på mekaniskventilasjon, men det er tilrettelagt for optimal bruk av naturlige drivkrefter. Disse naturlige drivkreftene står for mye av det nødvendige trykket og resten av trykket dekkes med mekaniskventilasjon.

De aller fleste norske bygg med hybridventilasjon har og bør ha en god del arkitektoniske og tekniske kvaliteter som gjerne kan brukes i andre bygninger med andre type ventilasjonsprinsipper (Dokka et al., 2003, s. 7). En av de viktigste funksjonene og karakteren i hybridventilasjon er å klare å bytte automatisk mellom naturlig og mekaniskventilasjon for å balansere mellom energibruk og innemiljøkvaliteten. Denne utfordringen er ulik mellom ulike hybridventilasjonsprinsipper (Heiselberg, 2006, s. 54). For eksempel for et vifteassistertsystem kan den styres av temperatur og inneluftkvalitet. Når viften er i naturlig modus kan den være i av og på, trinnvis eller være helt avhengig av naturlige drivkrefter. Vekselvis ventilasjon mellom naturlig og mekanisk skal normalt styres ut fra utetemperatur og fuktighet, eller et tidsstyrt anlegg. (Heiselberg, 2006, s. 54)

2.2 Inneklima

Et godt inneklima er med på å fremme god helse, godt humør og trivsel, mens et dårlig inneklima kan forårsake mistrivsel, utvikling og forverring av sykdommer eller være ubehagelig (SINTEF, 2016). Inneklima er definert av Verdens Helseorganisasjons (WHO) med fem parametere som inneklimafaktorer, termisk miljø, atmosfærisk miljø, akustisk miljø, aktinisk miljø, mekanisk miljø (Allergiforbundet, 2019). Dersom det legges til to nye parametere (estetisk miljø og psykososialt miljø) så er det definert innemiljø. Det er definert dårligst inneklima i helse- og sosialtjenester/sykepleiere og i undervisning og pedagogisk arbeid i Norge (Bakke, 2014, s. 87).

2.2.1 Atmosfærisk innemiljø

Atmosfærisk luftkvalitet er svært viktig mht. helse og produktivitet. Det kan skapes avvik i atmosfærisk innemiljø når det er forurenset luft utendørs. Det er fire hoved faktorer i atmosfærisk innemiljø (Novakovic et al., 2007, s. 117).

- Forurensningskilder
- Ventilasjonssystemer
- Rommetsutforming
- Renhold

Ventilasjon er kun en av de fire faktorene. I denne oppgaven vurderes ikke atmosfærisk innemiljø.

Det ventileres generelt for (Novakovic et al., 2014, s. 117):

- Fjerne lukt
- Tilføre luft (oksygen) til respirasjon
- Fjerne skadelige forurensninger
- Ha temperaturkontroll
- Ha fuktighetskontroll

- Opprettholde forbrenningsprosesser (fyring)

2.2.2 Termisk Inneklima

Termisk inneklima omfatter noen fysiske faktorer innen inneklima som har påvirkning på menneskets varmebalanse (Hansen et al., 2013, s. 35).

- Lufttemperaturer
- Strålingstemperaturen pga. stråling fra overflater
- Lufthastighet i oppholdssonen
- Relative luftfuktigheten

Lufttemperaturen er den viktigste parameteren som benyttes for å beskrive termiske omgivelser (Novakovic et al., 2014, s. 110). Vi snakker og måler operativ temperatur direkte veldig ofte. Operativ temperatur er middelverdien av lufttemperatur og strålingstemperatur i et rom. Ved termisk komfort har vi en sinnstilstands at det er verken kaldt eller varmt. "Det er tre mekanismer som påvirker hvordan personer oppfatter sin egen termiske komfort; fysiske-, fysiologiske- og psykologiske mekanismer" (Karlsen et al., 2021, s. 1). Målet er å ha en tilfredsstillende tilstand for veldig mange, men det vil alltid være noen som er misfornøyde med inneklimaet. Det er direkte grensesnitt for termisk inneklima mot energi, dagslys, arkitektur og bygningsfysikk (Karlsen et al., 2021).

2.2.3 Termisk komfort

Termisk komfort kan vurderes fra to metoder, fanger og adaptiv metode.

Termisk komfort kan vurderes ved hjelp av PMV og PPD-modellen av fanger som er basert på varmebalanse og er definert i NS EN ISO 7730 (Standard Norge, 2005) og NS-EN 16798-1:2019, samt den adaptive modellen i NS-EN 16798-1:2019 (Standard Norge, 2019).

2.2.3.1 Fanger

Fanger utviklet likningen basert på varmebalanse med omgivelsene basert på lufthastighet, luft- og strålingstemperatur, relative luftfuktighet, bekledning (clo) og aktivitetsnivå (met), og en 7 punkts komfortskala (tabell 2) for termisk fornemmelse (-3=Cold til 3=Hot) (Karlsen et al., 2021, s. 2). I tillegg til dette har Fanger utviklet lokal termisk komfort, for eks. vertikal temperaturforskjell og strålingsasymmetri.

Tabell 2: PMV-Skalaindeks (SINTEF, 2017a)

Skala	-3	-2	-1	0	1	2	3
Vurdering	kaldt	kjølig	noe kjølig	nøytralt	noe varmt	varmt	hett

Verdien 0 for PMV-indeksen er nøytral situasjon og (-1 og +1) indikerer litt varmt og kaldt ubehag, og (+2 og -2) indikerer ubehag med for varme eller kalde omgivelser samt (-3 og +3) indikerer ubehag for varmt og kaldt.

PMV-indeksen

PMV-indeksen blir regnet ut av fra formel 1 med hjelp av formel 2, 3 og 4 (Standard Norge, 2005).

$$PMV = [0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028] \cdot [(M - W) - 3.05 \cdot 0.001 \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - W) - pa]] - 0.42 \cdot [(M - W) - 58.15] - 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - pa) - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - ta) - 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot fcl \cdot [(tcl + 273)^4 - (tr + 273)^4] - fcl \cdot hc \cdot (tcl - ta) \quad (1)$$

$$tcl = 35.7 - 0.028 \cdot (M - W) - Icl \cdot [3.96 \cdot 10^{-8} \cdot fcl \cdot [(tcl + 273)^4 - (tr + 273)^4] + fcl \cdot hc \cdot (tcl - ta)] \quad (2)$$

$$hc = [2.38 \cdot (tcl - ta)]^{0.25} \quad \text{for } 2.38 \cdot (tcl - ta)^{0.25} > 12.1 \sqrt{var} \quad (3)$$

$$hc = [2.38 \cdot (tcl - ta)]^{0.25} \quad \text{for } 2.38 \cdot (tcl - ta)^{0.25} < 12.1 \sqrt{var}$$

$$fcl = [1.00 + 1.290 Icl] \quad \text{for } Icl \leq 0,078 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]} \quad (4)$$

$$fcl = [1.00 + 1.290 Icl] \quad \text{for } Icl > 0,078 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]}$$

M= Er metabolisme [W/m²]

W= Er den effektive mekaniske kraften [W/m²]

I_{cl} = Er klærnes isolasjon [$m^2 \cdot K/W$]

F_{cl} = Klærnes overflatefaktor

t_a = Er lufttemperatur [$^{\circ}C$]

t_r = Er gjennomsnittlig strålingstemperatur [$^{\circ}C$]
 v_{ar} = Er relative lufthastighet (m/s)

p_a = Er vandampens partialtrykk (Pa)

h_c = Er den konvektive varmeoverføringskoeffisienten [$W / (m^2 \cdot K)$]

t_{cl} = Er klærnes overflatetemperatur [$^{\circ}C$]

1 Metabolism enhet = 1 met = 58,2 [W/m^2]; 1 bekledning enhet = 1 clo = 0,155 [$m^2 \cdot ^{\circ}C/W$]

PPD-indeksen

Andelen av de misfornøyde menneskene PPD vil være basert på prosentandel av antall personer som er misfornøyde med termisk miljø basert på aktivitet og bekledning. PPD kan beregnes etter at PMV er beregnet fra formel 5, eller kan leses av graf 1 i NS-ISO 7730 (Standard Norge, 2005).

$$PPD = 100 - 95 * e^{(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2)} \quad (5)$$

Menneskekroppen vil lage en balanse mellom den indre varmen sin og den omgivelses varmen, dette er basert på fysiske og fysiologiske teorier. Dette vil foregå i menneskets termoreguleringssystem og formålet er å holde et internt og konstant temperatur (Hansen et al., 2013, s. 37). Det er forskjell på varmebalanse og komfort. I en varm omgivelse kan varmebalanse oppnås ved å svette mens den kan være veldig ubehagelig (Novakovic et al., 2014). I varmebalanselikningen inkluderes 4 klimaparametere (Novakovic et al., 2014, s. 104):

- Lufttemperatur
- Midlere strålingstemperatur
- Relativluftbevegelse og turbulens
- Luftens vandampinnhold

DR%

Draught definert etter NS-ISO 7730, er prosentandelen av personer som forventes å bli plaget av trekk (Standard Norge, 2005). DR% blir beregnet etter formel 6 fra NS-ISO 7730 og blir brukt ofte for evaluering om termisk inneklime.

$$DR = (34 - v_a) * (v_a - 0,05)^{0,62} * (0,37 * v_a * T_u + 3,14) \quad (6)$$

t_a = Lokal gjennomsnittslufttemperatur

v_a = Lokal gjennomsnittshastighet

T_u er lokal turbulens intensitet, hvis det er ukjent, 40% kan brukes

For $v_a < 0,05$ [m/s]: brukes $v_a = 0,05$ [m/s]

For DR > 100%: brukes DR = 100%

PD%

Vertikal lufttemperatur differanse PD% definert i NS-ISO 7730 og er prosentandelen av personer som er misfornøyde pga. vertikal lufttemperatur differanse (Standard Norge, 2005). PD% blir beregnet etter formel 7 fra NS-ISO 7730 (Standard Norge, 2005).

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5,76 - 0,856 * \Delta t_{a,v})} \quad (7)$$

$\Delta t_{a,v}$ = vertikal lufttemperaturforskjell mellom hode og føtter, [$^{\circ}C$]

2.2.3.2 Adaptiv termisk komfort

Adaptiv termisk komfort baserer seg kun på operativ temperatur som ytelsestemperatur og som funksjon av utetemperaturen. Modellen er basert på målinger og spørreundersøkelser fra 26 kontorbygg i Europa uten kjøling (Karlsen et al., 2021, s. 2). Denne metoden er utviklet i 1998 for bruk i bygninger uten bruk av mekanisk kjøling (Brager & de Dear, 1998). Funnene tydet på at brukerne hadde større toleranse for temperaturendringer inne og hadde mer avslappende forventninger for bygg med naturlig ventilering sammenlignet med bygg som er fullkontrollert. I fullkontrollert bygg har brukere større forventninger. I den NS-EN 16798:2019 er beskrevet en metode for adaptiv komfort metode som er for bygg uten mekanisk kjøling og man har tilgang til å åpne vinduer og brukerne har kapasitet til å tilpasse klærne sine

iht. innetemperatur. Metoden er kun for kontorbygg men kan brukes av andre lignende bygg (Standard Norge, 2019).

2.2.4 Krav og anbefalinger

Byggeteknisk TEK 17 §13-1 stiller generelle krav til ventilasjon som sikrer tilfredsstillende inneklimate og luftkvalitet ved at (*Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*, 2021):

- a) *Ventilasjonen skal tilpasses rommet utforming, forutsette, belastning, forurensning og bruken av rommet*
- b) *Luftkvaliteten i bygget må være tilfredsstillende iht. lukta i bygget*
- c) *Inneluften må ikke inneholde forurensninger som gir irritasjon eller helseskade*

TEK 17 §13-3 stiller krav til minste tillatte luftmengder for personbelastning for publikum og arbeidsbygning basert på areal per person og type bygg samt at de stiller krav for forurensning fra materialer med 2,5 [m³/h.m²] når rommet er i bruk og 0,7 [m³/h.m²] når rommet ikke er i bruk (*Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*, 2021).

Kravene til bolig er noe lavere, det skyldes at ved bolig brukes det vindu og dørluftinger veldig ofte. Bygge detaljer 421.503 stiller krav og beskriver regnemethodene for behovsstyrtluftmengder utover de minimumskravene (SINTEF, 2017b).

Plan og bygningsloven (PBL) gjennom Byggeteknisk forskrift TEK 17 gir generelle krav til termisk komfort i oppholdssonen for varig opphold for oppfyllelse av §13-4 punkt 1. Anbefalte operative temperaturer er vist i tabell 3 (*Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*, 2020).

Tabell 3: anbefalte verdier for operativ temperatur (*Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*, 2020)

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels arbeid	Tungt arbeid
Temperatur °C	19-26	16-26	10-26

I tillegg til kommentarene i tabellen er det oppgitt at det er vanskelig å opprettholde de anbefalte verdiene på dager med en høy utetemperatur, derfor er det akseptabelt nivå med overstigelse over de anbefalte verdier er 50 timer i et normalår iht. veilederen til TEK (*Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*, 2020).

I tillegg til Byggeforskriften stiller *Arbeidsmiljøloven* krav til inneklimate via arbeidstilsynets «*Inneklimate og luftkvalitet på arbeidsplassen*» for å holde operativ temperaturen under 22 [°C], spesielt når det er oppvarmingsbehov og individuelle reguleringsmuligheter tilstrebes. De anbefaler en temperaturforskjell på 3-4 [°C] mellom hode og føtter og daglig eller periodisk temperatur variasjon på utover 4 [°C] samt CO₂-konsentrasjoner under 1000 ppm. Samt for å forebygge trekk bør lufthastigheten i oppholdssonen ikke overstige 0,15 [m/s] ved lett arbeid (Arbeidstilsynet, u.å.).

Luftfuktighet er ikke stilt noe krav til, men lav fuktighet forårsaker tørre slimhinner og øyner, og ved høye verdier kan oppleves som svette og gi økt svetteproduksjon, men etter anbefalingene fra SINTEF bør den ikke være over 40% ved vintersesongen og bør under 70% i sommer sesongen (SINTEF, 2017a).

Folkehelseloven stiller også krav til inneklimate og luftkvalitet i skole og barnehager blant annet gjennom en forskrift som heter *Forskrift om miljørettet helsevern i skoler mv.* Der ligger en veiledning med navnet *Inneklimate, en veileder for kommunehelsetjenesten*. Veilederen henviser også til NS-ISO 7730 for temperaturkravene (Ingebrigtsen, 2015, s. 84). I tillegg til krav fra myndighetene så settes det skjerpene krav fra sertifiseringsordninger også som for eks. BREEAM, Svanemerking og WELL, som er typisk brukt av byggherrer eller leietakere (Karlsen et al., 2021).

3 Litteratursøk

I dette kapitlet er det skrevet detaljert om litteratursøk. Først av alt er det gjort en litteraturstudiet for å finne relevante faglige materialer. Søket dekker alt fra masteroppgaver, bacheloroppgaver, doktorgradsoppgaver til faglige artikler, tekniske dokumentasjon og rapporter, forskningsreferater, nettsider og bøker. Disse er i hovedsakelig søkt i Oria, Science Direct, Research Gate og Goolge Scholar. Søket er gjort både for norsk og engelsk og fokusert mest på de siste 20 årene. Det er også inkludert fagfellevurderte artikler. Deretter begynt å studere søkene og klassifisere dem, ikke minst identifisere referanseprosjekter i kaldt og middel kaldt klimaområder. Det er lagt inn alle relevante materialer og referanseprosjekter i en tabell som finnes i vedlegg [18](#). Det er også utført et intervju med Window Master som er beskrevet i dette kapitlet. De er leverandør av motorer til automatiskstyring av vinduer.

3.1 Referanse prosjekter

Ifølge en rapport fra SINTEF som sammenligner valg av ventilasjonstyper, naturlig, hybrid og mekanisk, så mener de at det er det blitt anvendt naturlig og hybridventilasjon i hovedsakelig på skolebygninger i Norge. Noen av dem blir representert i dette delkapittelet. Rapporten er skrevet som en del av et større prosjekt som heter «*Det klimatekniske laboratorium*». Resultatene fra rapporten viser at hybridventilasjon av typen tilluft gjennom fasader har vanskeligheter med å tilfredsstillere inneklimatekravene pga. lave temperaturer på tilluften om vinteren. Tilluften bør derfor forvarmes for å unngå trekk (Mathisen et al., 2004). I forhold til energiforbruket så mener rapporten at det blir større energiforbruk ved hybridventilasjon pga. lavere varmegjenvinningsgrad (Mathisen et al., 2004).

Det er også brukt en del kulvertløsninger for skoler i Norden, med kulvert løsningen kan tilluften forvarmes litt og er ikke like kritisk som tilluft gjennom fasader. Jaer skole på Nesodden, Hökegård skole fra Gøteborg i Sverige er blant disse. Av hybridventilering så har kulvert med balansert mekaniskventilasjon gitt ønsket inneklimatekrav for kategori to (Halstadtrø, 2011).

3.1.1 Mesterfjell skole

Magnus Lie har i sin masteroppgave undersøkt hybridventilasjon med bunnhengte automatisk motorsyring av vindusåpninger ved Mesterfjell skole. Mesterfjell skole ligger i Larvik kommune og er en av de nyeste skolene med hybridventilasjon basert på kombinasjon av vinduslufting og mekaniskventilasjon. Magnus har gjennomført både målinger og simuleringer for å kartlegge inneklimatekrav og energibruken. Vindusåpningene styres basert på ute og inneklimatekrav målinger. Vinduene (referer til figur [5](#)) med dette formålet er plassert høyt opp i fasadene og åpnes kortvarig og i definerte tider, ventilasjonsluftmengden reduseres med 50% (Lie, 2015).

Målingene og simuleringene viste at det var avvik på akseptabelt nivå av inneklimatekrav. Det har vært høye CO₂-konsentrasjoner over anbefalt verdi på 1000 ppm, over mange timer av skoledagen. Trekk ved vinduet har også vært et av de avvikene i termisk komfort. Simuleringer har også vist seg at operativ temperaturen overstiger flere timer i året (Lie, 2015, s. III).

Simulering for energibruk viser at det er mulighet for en besparelse på 15,7% ved å bruke vindusåpning i kombinasjon med mekaniskventilering som hybridventilering (Lie, 2015). Generell konklusjonen av den oppgaven er at potensielle gevinster ved bruk av denne type hybridventilasjonstypen ikke veier opp for potensielle ulemper (Lie, 2015).



Figur 5: Vindu med integrert sytringsmotor, med maksimal åpningsgrad (Lie, 2015, s. 37)

3.1.2 Larvik og Oslo skoler

Det er utført en masteroppgave for å undersøke skolebygg basert på ventilasjonssystem. Det er gjort befaringer og undersøkelser for inneklimate og energibruk på noen skoler med forskjellige ventilasjonstypeløsninger for å sammenligne ventilasjonstypene. Blant disse skolene har vært RA, Tjodalung, Mellomhagen i Larvik, og Rommen, Nordstrand og Elevebakken i Oslo (Halstadtrø, 2011).

Måleresultatene fra disse undersøkelsene viser at hybridventilasjon med vinduslufting skiller seg ut fra de andre ventilasjonstypene og kommer dårligst ut. Skolen har brukt vindusåpning med Windows Master motorstyrte vinduer og ensidig ventilasjonstype, basert på målinger av inne og ute forholdene. Vinduene har vært opphengt og avtrekksspjeld i veggen som ført resterende luft via avtrekk og ut i gangen (Halstadtrø, 2011).

Vinduslufting i kombinasjon med mekaniskventilasjon har ikke tilfredsstilt CO₂-konsentrasjoner og har vært fare for trekk om vinteren. CO₂-konsentrasjonene har vært veldig høy over hele skoledagen. Lufttemperaturene har generelt tilfredsstilt kravene for skolebygg, men derimot lufthastigheter med vinduslufting har vært høye hastigheter nærmere vindu og trekk når det luftes. Når det gjelder energibruk på disse skolene har ikke vært mulig til å innhente data på energibruken. Av skoler kan også nevne Kampen skole og Bamble VGS som har benyttet seg av hybride løsninger.

3.1.3 Brunla Ungdomsskole

Brunla Ungdomsskoler er en av skolene i Larvik kommune som har blitt rehabilitert med bruk av automatisk vindusstyring fra Window Master med vindusåpninger som tilluft og mekanisk avtrekksvifter. Marianne Algerøy ser på den skolen i masteroppgaven sin i henhold til inneklimate og energibruk (Algrøy, 2014). Det finnes også en beregningsverktøy under Window Master sin hjemmeside for beregning av vindusåpningsgrader dersom man er usikker på dette (Window Master, u.å.), men det er lite kontroll på bakgrunn info og trykkforholdene.

4 av 6 vinduer i klasserommet styres automatisk. En toppdel av vinduet som er montert helt øverst på vinduet og er topphengt som vises i figur 6 er åpningsbare vinduer. Vinduene åpnes på bakgrunn av brukerens ønske og fastsattverdig av både temp og CO₂-konsentrasjoner, samt mekaniskventilasjonen (Algrøy, 2014).

Det er gjort målinger av inneklimateparametere i klasserom for lufthastighet, lufttemperatur samt CO₂-konsentrasjoner. Resultatene fra målingene viser at CO₂-konsentrasjonen holder seg over anbefalte verdier mange timer av skoledagen ved full brukerbelastning. Temperaturene har holdt seg på akseptable nivåer og målingene har ikke gitt indikasjon på trekk. Men brukerne antydet likevel trekk følelse nær vinduet om vinteren (Algrøy, 2014).



Figur 6: Automatisk styrt vindu som benyttes for vinduslufting og værstasjonen på taket (Algrøy, 2014, s. 38)

Det er også gjort simuleringer i IDA-ICE for termisk og atmosfæriskmiljø samt energibruk for å sammenligne resultatene med målinger. Ved simuleringer er det også utført forbedringer og optimaliseringer av løsningen. Det viser seg at det vil være høyere energi og effektbehov for oppvarming ved vinduslufting, da vinduet står åpent og medfører temperaturfall inne. Totalt årlige energibehovet for hybridventilasjon med vinduslufting har vært 105 [kWh/m²] kontra årlig energibehovet på 109,5 [kWh/m²] med mekaniskventilasjon (Algrøy, 2014).

”En foreliggende studie fant at uregulerbare vindusoperasjoner kunne øke kjølebehovet med opptil 22% og varmebehovet med opptil 21% i forhold til identiske bygninger med faste vinduer i kalde klima” (Liu et al., 2022, s. 1).

I en undersøkelse som er gjort av statistikkentralbyrå (SSB) for 2019 viser seg at 21% av sysselsatte personer antydet utsatt for dårlig inneklima (Statistisk sentralbyrå, 2020).

3.1.4 Solstad Barnehage

Hybridventilasjon er løsningen som er brukt i Solstad barnehage i Larvik. Løsningen bruker mekaniskbalansertventilasjon kombinert med motorstyrtevinduer som naturligventilasjon. Systemet er evaluert gjennom en masteroppgave med tanke på inneklima og energibruk og til en viss grad økonomi. Det er brukt IDA-ICE simuleringer for evalueringene (Øgård, 2014).

Det er brukt Mixed-mode ventilasjon med store åpninger høyt over dørene inne (vist i figur 7), sånn at lufta kan bevege seg fritt mellom rommene. Takhøydene er doble og det er brukt to vinduer, en lavplassert og en høyt plassert. Luften kommer inn på lave vinduene og går ut ved høye vinduene som en skorstein effekt.

Resultatene fra simuleringer indikerer at bygget reduserer inntil 14% av energiforbruket med Mixed-mode løsningen sammenlignet med en konvensjonell mekanisk løsning. Men vedlikehold kostnadene har trolig vært høyere pga. kombinerings av to systemer (Øgård, 2014).



Figur 7: Luken som er mellom rommene (Øgård, 2014, s. 25)

Inneklimasimuleringer viser at det har vært problemer med å tilfredsstille akseptabelt nivå av luftkvaliteter. Det har vært høye CO₂-konsentrasjoner, samt at det har vært vanskeligheter med å opprettholde temperaturer på akseptabelt nivå uten bruk av mekaniskkjøling.

3.1.5 Signalbygg på Nydalen i Oslo

En av masteroppgavene fra OsloMet i 2021 omhandlet vurdering av inneklimate og levert energibehov samt klimagassutslipp for eksisterende løsning med naturlig klimatisering og vurderer det opp mot oppgavens foreslått hybrid- og mekaniskventilasjon (Bekkeli, 2021).

Bygget bruker 100% naturligventilasjon med lukeåpninger i vinduene, både ved toppen av vinduet og på sidene ved vinduet. Det er brukt kryssventilering for naturligventilering og mekanisk avtrekksventiler på kjerner og toaletter. Øverste delen av vinduet er autostyrt hele året mens sidelukene er manuelle og åpnes mellom april og september.

Det er gjort IDA-ICE simuleringer for å sammenligne metodene. Resultatene viser at naturligventilasjon kommer dårligst ut for inneklimate med tanke på trekk, lave temperaturer og høy CO₂-konsentrasjoner om vinteren og høye temperaturer om sommeren, samt hadde som forventet lavest energibehov. Hybridventilasjon med lukeåpninger kunne redusere faren for dårlig inneklimate spesielt for de varmeste og kaldeste dagene i året. Samt kunne utnytte fordelene med naturligventilasjon med tanke på lav klimagassutslipp, lavere energibruk (Bekkeli, 2021).

3.1.6 The Liberty Tower of Meiji University

Dette universitet med 23 etasjer fra Tokyo i Japan som er vist i figur 8, har brukt hybridventilasjon. Naturligventilasjon er brukt spesielt i den sentrale kjernen og de har vindgulv integrert i bygningskonstruksjonen. Naturligventilasjon brukes til å kontrollere inneluftkvaliteten og temperaturen i mellom sesonger, mens mekaniskventilasjon brukes for resten av året (Heiselberg, 2006, s. 43). Vind kommer inn i vindgulv og tømmes gjennom åpningen på kjernen av bygget. Det utnyttes oppdriftseffekten i hver etasje i kjernen av bygget. BEMS-system brukes for å kontrollere inneluftkvaliteten om sommeren. Systemet baserer seg på automatiskstyring av vinduene om natten til å kjøre inntak av uteluft og vindgulvuttak (Heiselberg, 2006, s. 43).

Bygget har oppnådd akseptabel nivå av termisk komfort og hadde en årlig gjennomsnittlig besparelse på 17% for kjøling (Heiselberg, 2006, s. 43).



Figur 8: The Liberty Tower of Meiji University (Heiselberg, 2006, s. 43)

3.1.7 Berthol-Brecht-Gymnasium

Dette bygget som er vist i figur 9 er et skolebygg som ligger i Dresden i Tyskland og er fra 70/80 tallet. Bygget ble designet for å få dagslys fra to sider på klasserommene. Bygget er ferdigstilt etter en renovering med noe naturlig- og mekaniskventilering i 1995 og de har benyttet atriet i midten av bygget og lukket det med tak samt fasadene var etterisolert (Dokka & Vik, 2001).

Atriene mellom de to fløyene brukes for klimatiseringen. Om sommeren brukes atriene som skorsteineffekt med naturligventilasjon. Det brukes samme system til nattkjøling også. Om vinteren brukes det tilført luft fra atriene, men det er forvarmet og brukes vifter til luftbevegelsen. Atriene åpningene er justerbare for å kontrollere luftmengden om sommeren. Brukerne er selv ansvarlig for manuelle individuell styring av systemet. Det er rapportert at bygget fungerer som tilfredsstillende men det er noen optimaliseringspotensialer som viftestøy (Dokka & Vik, 2001, s. 10)



Figur 9: Bertol-Brecht-Gymnasium i Dresden (Dokka & Vik, 2001, s. 10)

3.1.8 B&O Headquarters

Dette bygget med formål for åpent kontorlandskap med tre etasjer ligger i Danmark (bilde i figur 10). Bygget bruker hybridventilasjon og den naturlige ventilasjonen er integrert i bygningskroppen. Inntaket for lufta er plassert i form av lave vinduer. Inntakslufta forvarmes med ribberør for å forbedre termisk komfort og forbedre ventilasjonseffektiviteten. Lufta strømmer gjennom bruksarealer og dras ut til toppen av trappesjakter, med hjelp av plasserte vifter (Heiselberg, 2006, s. 44).

Vinduene som brukes som ventilasjon ligger i nord-fasade. I sørfasade ligger vinduer som har brukerstyrtvinduer som brukes med automatiskstyrt for nattkjøling. Hvis naturligventilasjon og luftmengden ikke er nok aktiveres viftene, luker og spjeld i avtrekksdekslet åpnes.

Resultatene viser at dette prinsippet med forregningsluftfordeling fungerer veldig bra, i og med man forvarmer lufta for å forebygge kalde temperaturer. Energibruken har vært veldig lav og utgjort bare 3% av den elektriske energibruken (Heiselberg, 2006, s. 44).



Figur 10: B&O Headquarters (Heiselberg, 2006, s. 44)

3.1.9 PROBE og IVEG bygget i Belgia

PROBE som er vist i figur 11 er et renoverert kontorbygg som ligger i et tettsted i Belgia ifølge Wouters (Siter i Heiselberg, 2000). Prinsippet for ventilasjonen er basert på hybridventilasjon, hvor det er brukt naturligventilasjon om sommeren for å oppnå termisk komfort og bruker mekaniskventilasjon for å

kontrollere inneluftkvaliteten om vinteren. Det er ikke kombinerings av systemene foreløpig. Om vinteren tilføres det frisk luft per kontor basert på tilstedeværelse og avtrekk via toalett-kjerner. Med den løsningen har de hatt 35% besparelse på ventilasjonstap. Om sommeren har de nattventilering med naturlig prinsipp for å kjøle ned på termisk massen. Det er rister som er plassert på hver side av vinduene. Denne løsningen har vist store forbedringer for termisk komfort og målinger har vist at innetemperaturen har holdt seg under 27 [°C] selv når det har vært 31 [°C] ute (Heiselberg, 2000, s. 6).



Figur 11: PROBE bygget, øverst til høyre: Rister for intensiv ventilasjon, nederst til høyre: Tilluft med tilstedeværelsesdetektor (Wouters et al., 1999)

IVEG bygget er et relativt nytt kontorbygg som ligger i Antwerpen i Belgia. Bygget brukes av en forening som jobber med distribusjon av elektrisitet og gass, men likevel jobber de med reduksjon av energibruk (DELSANTE & VIK, 2002, s. 25). IVEG er designet for å oppnå termisk komfort ved å benytte seg av passive tiltak. Bygget bruker også aktivkjøling og under ekstreme værforhold brukes en kombinasjon av naturligventilasjon som vindusåpning og minimering av internlast samt aktivkjøling som kalde tak (Wouters et al., 2000). Det er to systemer i bygget, både mekaniskventilasjon og intensiv nattkjøling. Intensiv nattkjøling basert på helt naturligventilasjon og oppdrift ved hjelp av lameller som er plassert i fasadene for å kjøle ned indre termisk massen i bygget, uttaket av lufta skjer ved to store skorsteinene som er vist i figur 12. Åpningene i fasaden og skorstein er kontrollert automatisk (DELSANTE & VIK, 2002, s. 25). Brann er noe å tenke på ved hybride løsninger siden luftbevegelse er et viktig middel for brannspredning. I dette prosjektet måtte de ha et helt eget avkasttårn for toppetasjen for å separere det fra underetasjene og oppfylle brannforskriftene ifølge Heijmans (sitert i Zhao, 2007, s. 26).



Figur 12: IVEG bygget (DELSANTE & VIK, 2002), øverst til høyre er integrert nattkjøling design, nederst til høyre er konseptet for tilluft for nattkjøling i fasaden (Wouters et al., 1999)

3.1.10 Wilkinson Building

Wilkinson Building er et fem etasjer kontorbygg som er bygget 1978 og renoverert 1997 og ligger i Sydney i Australia, bildet av bygget er vist i figur 13. Bygget bruker hybridventilasjon, vinduslufting som naturligventilasjon i kombinasjon med mekaniskventilasjon. Naturligventilasjon er hovedsakelig drevet av vind og mulighet for kryssgjennomstrømning gjennom korridorer (Heiselberg, 2006, s. 46).

Kontorene er utstyrt med en beboerkontrollert varme og kjølevifte system. Vindusåpning og døråpninger samt solskjermingen styres manuelt. Luftfordeling i rommet skjer via blandedeprinsipp. Fancoilene styres av beboerne, men slås av automatisk kl. 21 for å spare energi.

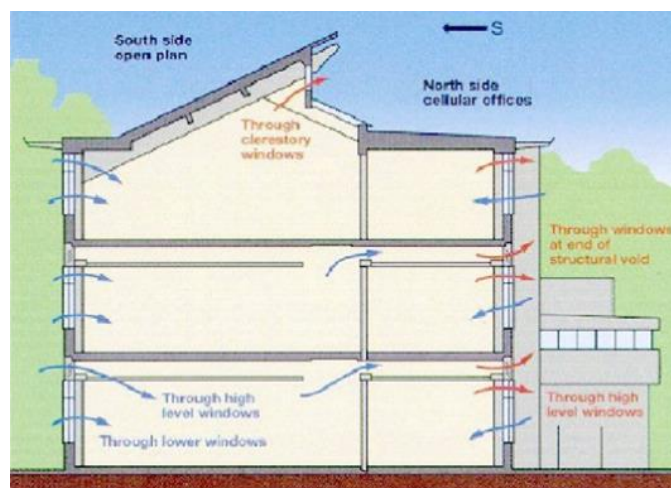
Undersøkelser og resultatet fra bygget viser at beboerne opplever termisk komfort bedre enn beboerne i 36 andre rapporterte bygg. Beboerne er fornøyd med åpne vinduer og dører når det har vært behagelig vær, men å lukke vinduer når det har vært tørr eller fuktig varme om sommeren eller på kalde dager om vinteren. En gjennomsnittlig energibruk for 4 år av bygget har vært en fjerdedel av typisk bygg med mekaniskventilasjon, varme og kjøle system (Heiselberg, 2006, s. 46).



Figur 13: Wilkinson Building i Sydney (Heiselberg, 2006, s. 46)

3.1.11 BREs miljøvennlige kontorbygg

Dette bygget er et kontorbygg for den britiske Bygge Forskningsinstituttet som ligger i Watfort i England. Bygget har vært et pilotbygg for mange bærekraftige teknologier for eksempel naturlig/hybrid ventilering. Bygget har tre etasjer og ble ferdigstilt i 1997. Det brukes en kombinert løsning i dette bygget med både kryssventilering, ensidig ventilering, solskorstein for å øke termisk oppdrift, avtrekk gjennom høytliggende vinduer i øverste etasjen, forvarming og tilførsel av luft gjennom hullhimling i betong, assistanse av hjelpevifter i avtrekkstårnene ved behov samt nattkjøling (Dokka & Vik, 2001, s. 14). Figur 14 viser en skisse for luftbevegelsene.



Figur 14: Skisse for luftbevegelse i BREs bygget i Storbritannia (Dokka & Vik, 2001, s. 14)

Automatisk styresystemet i bygget kontrollerer systemet, åpner/lukker vinduene, ventilasjonsåpningene samt nattkjøling. Brukere har hatt stor kontroll på vinduene selv etter sitt eget behov. Erfaringene viser at både temperaturen og CO₂-konsentrasjone har vært tilfredsstillende (Dokka & Vik, 2001).

3.1.12 Tånga Skole

Tånga skole er en to etasjer skole som ligger i Falkenberg i Sverige. Bygget er fra 1968 og er renoverert 1997. Bygget har benyttet hybridventilasjon. Tre luftinntak er plassert under vinduer i hvert rom og inntaksluften forvarmes med konvektorer, det assisteres med vifter. Lufttilførsel skjer via blandedeprinsipp. Lufta evakueres via vertikale ventilasjonskanaler og trekkes ut under taket. Det er montert en passiv oppdrift på 6 m og en solskorstein på taket med en assisterende vifte på taket, samt sentral spjeld montert parallelt (Heiselberg, 2006, s. 47).

Systemet styres med en kombinasjon av både manuell og sentral styring, etter noen settpunkter for inneluftkvaliteten. En CO₂-sensur er plassert i hvert rom og på et nivå av 1000 ppm og mindre er satt de lokalespjeldene satt til minimum. Ved et CO₂-nivå over 1000 ppm varsles dette med en signallampe i klasserommet. Ved et CO₂-nivå over 1500 ppm åpner de lokale spjeldene til 100%. Beboerne har vært veldig fornøyde med manuell styring og opplevd godt inneklima og CO₂-konsentrasjoner har stor sett vært på rundt 1000 ppm eller lavere med bare korte perioder over 1500 ppm. Samt systemet hadde store prosenter i energibesparelser totalt (Heiselberg, 2006). Figur 15 viser et bilde av Tånga skole.



Figur 15: Bilde av Tånga skole (Wahlström et al., 2006)

3.1.13 Øvrige artikler og prosjekter

Et nyere forskningsprosjekt sponset av American Society of Heating, Refrigerating og klimaanleggsingeniører (ASHRAE, RP-884) kritisk evaluert en del forskningsprosjekter innen komfortstudier innen bygg fra hele verden (n=22 346)(De Dear & Brager, 2001). Resultatene indikerer en klar avhengighet av utelufttemperatur for innendørs komforttemperaturer, særlig i frittstående bygg med naturligventilasjon. Funnene motiverer til revisjoner av ASHRAEs komfort standard ved å redusere energien brukt til kjøling ved å designe for naturlig- eller hybridventilering i veldig mange moderate klimaer i verden (De Dear & Brager, 2001).

Ivar (Ørnes, 2008) har i sin master oppgave har sammenlignet ventilasjonskjøling og romkjøling med tanke på energibruk og termisk inneklima med behovstyrt vinduslufting i driftstiden og tidsstyrt vindusåpning om natten som nattkjøling. For dette har han brukt IDA-ICE simuleringer. Det viste seg at scenarioet med romkjøling ved bruk av behovstyrt vinduslufting var det beste alternativet, ventilasjonskjølingen har gitt lavest energibruk, men temperaturene har ikke vært tilfredsstillende for sommerforhold. Men romkjøling med behovstyrt vinduslufting har holdt temperaturene innenfor grenser. Av scenarioene har tidsstyrt vinduslufting om natten har vært den beste løsningen for både rom og ventilasjonskjølinger og har gitt den laveste energibehovet ved dimensjonerende sommerdøgn. I følge en annen studiet også nattventilasjon (NV) gir også besparelser innen energi sammenlignet med andre hybrid metoder, fordi energibesparelsen på andre metoder reduseres ved å bruke vifteenergi for å øke luftbevegelsene til lokalene (Aamodt et al., 2021).

I en annen artikkel er det evaluert vindusåpning som hybridventilasjon med IDA-ICE simuleringer for en eksisterende barnehage i Norge med kun avtrekksvifte og et annet tilfelle med naturligventilasjon uten vifte. Det er kun forutsatt vindusåpning for naturligventilasjon. Resultatene fra inneklima viser at det har vært

vanskelig å tilfredsstille kraven ved de varmeste dagene. Men det har vært viktige energibesparelser ved bruk av systemet.

” Den beste løsningen synes å være kombinasjonen av avtrekksventilasjon om sommeren og VAV om vinteren. Dette vil gi det beste kombinasjon av energibruk og inneluftkvalitet” (Alonsoa et al., 2015, s. 3017).

Ingrid (2016) har i sin masteroppgave undersøkt ulike ventilasjons strategier ved hjelp av IDA-ICE simuleringer. Ventilasjonsstrategier har vært inspirert av bygget «2226» i Østerrike av Baumschlager Eberle, hvor dette bygget bruker hybridventilasjon via automatiske vindusåpning med en tung termisk konstruksjon i bygget. Det er utviklet en manuell «bruker-app» for vindusåpninger for å modellere stokastisk brukeroppførsel. Så det er blitt en rekke simuleringer for inneklimate og energiforbruket i norske forhold. Figur 16 viser et bilde av vinduene.



Figur 16: Vindu og side spalte ved «2226» (Halderaker, 2016, s. 24)

Resultatene viser at automatiske åpningsbare vinduer kan tilfredsstille temperaturen om høst, sommer og våren. Samt en kombinasjon av eksponert termisk masse med nattkjøling kan forhindre problemer med overvarme om sommeren (Halderaker, 2016).

ZEB lab er et bygg i Trondheim som er ferdigstilt 2020. Det har vært et samarbeidsprosjekt mellom SINTEF og NTNU med kontor, undervisningsarealer og laboratoriet. Prosjektet er undersøkt gjennom en masteroppgave og målet har vært å utforske og modellere naturligventilasjon og tilhørende komfort i ZEB lab (Martinsen, 2020). Generell komfortkravene har vært tilfredsstillende, og har vært tilfredsstillende luftmengder. Det har vært størst luftmengder når solskjermingen har vært fjernet, muligens grunnet store ventilering drevet av temperaturforskjell. Beboerne følt seg bite litt kaldt men stor sett komfortkravene er innfridd (Martinsen, 2020).

3.1.14 Annex 35

IEA Annex 35 Hybvent har vært et forskningsprogram med deltakelse av 16 land som startet i 1998 og avsluttet i 2002. Landene som har deltatt er Italia, Japan, Tyskland, Hellas, Frankrike, Danmark, Canada, Sverige, Finland, USA, Belgia, Kina, United Kingdom, Australia, Norge og Nederland (Jagpal, 2006). Prosjektet representerer 22 pilotbygninger med hybridventilasjon, 10 av deltakerne har bidratt med pilotbygg og mange av dem ligger i de nordiske landene, Storbritannia og Benelux-landene. Klima i disse landene er noe nær Norge og kan sammenlignes bortsett fra de ekstreme vinterforhold muligens (Dokka & Vik, 2001).






Dokka & Vik (2001) har oppsummert kritiske barrierene fra funnene og de er blant annet:

- Høye investeringskostnader enn tradisjonelle løsninger pga. avanserte fasadeåpninger
- Høyere rådgiverkostnader grunnet brukt mer tid for å designe
- Store behov for planlegging
- Lave lufthastigheter
- Fare for dårlig luftkvalitet
- Eksponert for forurenset luft
- Fare for spredning av røyk
- Fare for høyere energibehov

3.1.15 Vinduslufting

I en studie har det blitt sammenlignet ulike vindustype mot en del faktorer, resultater er vist i tabell 4. (Roetzel et al., 2010). Dette er kjempeviktig for bruk av vinduslufting i ventilasjonssystemer. Vinduslufting i hybridventilasjon vil som regel havne under Mixed-mode metode. Vinduslufting er ofte kombinert med mekaniskventilasjon i enten blandet eller separate systemer. Det er også andre faktorer som størrelse, plassering som er kjempeviktig ved valg av hybridventilasjon (Roetzel et al., 2010).

Tabell 4: Evaluering av ulike vindusåpninger og effektiviteten av ventilasjon i kontorer for typiske åpninger, Beskrivelse av symboler: Dårlig -, Medium 0, Bra + (Roetzel et al., 2010)

Egenskaper av forskjellige vindustyper når de åpnes	Sidehengt, åpner mot innsiden	Bunnhengt åpner mot innsiden	Glidende åpning	Horizontal dreining, øvre del åpnes mot innsiden	Topphengt åpner mot utsiden
					
Beskyttelse mot vær	-	+	-	0	0
Største mulig ventilasjonsrate	+	-	0	+	0
Regulerings- mulighet av åpnings størrelse	+	-	+	+	+
Fleksibilitet for plassering av møbler	-	+	+	0	+

3.1.16 Oppsummering av litteraturstudiet

Funn fra et forskningsprosjekt for hybridventilasjon med kun simuleringer for noen caser har vist seg at varmtemperaturklima er mest passende for hybridventilering på grunn av en god innretting mellom mildheten av klima og bygningens kjølebehov (Gomis et al., 2021, s. 13). Dette er også funnet i en studiet gjennom overvåking av vindusåpning, en god inneluftkvalitet og lavere energiforbruk for bygg i fuktighets følsomme hybridventilasjonssystem (Cho et al., 2021, s. 13).

I en fersk litteraturstudie er det vist at bruk av Mixed Mode(MM) har vært komfortsone for brukerne og det har vært betydelig energibesparelser på det (Kim & Dear, 2021). Resultatene er veldig variert fra sted til sted, men det ser ut som fleste prosjektene med hybrid løsning av vindus/fasadeåpninger i utlandet har vært mer tilfredsstillende med noe forbedrings potensialer. Dette kan ha forskjellige årsaker, forskjellige akseptable temperaturgrenser, forskjellige klima og utetemperaturer kan være noen av årsakene, uten å studere mer nøye på årsaker. En annen grunn kan være at for eks. England og mange andre land i Europa har lavere krav til inneklimate og minimums luftmengder enn Norge samt at de har mildere klima uten ekstreme vinterforhold (Bryn, 2000).

Hybridventilasjon i utlandet er mest brukt i kontorbygg og noen skoler, mens i Norge er det brukt mye på skoler. Brukerne av byggene har vært mest elever på skolene mens på kontorbyggene har vært voksne stillesittende folk. Brukerne har vært mer fornøyd med å ha muligheter til å kunne åpne vinduer selv. I Norge har det vært litt varierende med tilfredsstillende inneklimate. Det viser seg at det er fare for trekk om vinteren og kalde tilluftstemperaturer uten forvarming av tilluften i vinter sesongen på mange av prosjektene. Det ble ikke observert forvarming av tilluft med vindusåpninger i Norge mens i Sverige og Danmark observert forvarminger via konvektorer og ribberør nederst ved vinduene før lufta slippes inn. Resultatene fra en studiet som er undersøkt ved simuleringer for et kontorbygg i Stockholm antyder at naturligventilasjon som en del av hybridventilasjon funker opptil 10 [°C] (PÁLSSON, 2014).

Det har også vært noe for høye CO₂-konsentrasjoner i prosjektene som kan medføre dårlig inneklimate og helseisiko. Det er også vist at hybridventilasjon kan fungere fint i vår, høst og sommer hvis man designer de naturlige løsninger godt og planlegger prosjektene nøye. Det bør også vurderes løsningen iht. plasseringen til bygget med tanke på trafikk, pollen og andre premisser for naturligventilasjon. Noen energibesparelser har blitt observert. Det er besparelser av energi på hybridventilasjon, men om den kan veies mot ulempene er sikkert et svar som mange lurer på. Mens det er også observert gjennom simulering i en forskningsprosjekt at den besparelsen er ikke like mye som en mekanisk system med varmegjenvinner

unntatt middelhavsbyer (Cron et al., 2003, s. 51). De fleste prosjektene som er sett på var prosjekter og bygg som er bygget og har vært i drift.

I de fleste prosjekter med vinduslufting har også vært automatiske motorstyrte vinduer vært i bruk for driften av systemet. Det som har vært nevnt i mange av prosjektene i Norge var motorstyring fra Window Master. Det er derfor planlagt et intervju med Window Master for å bli bedre kjent med virksomheten og systemene de leverer.

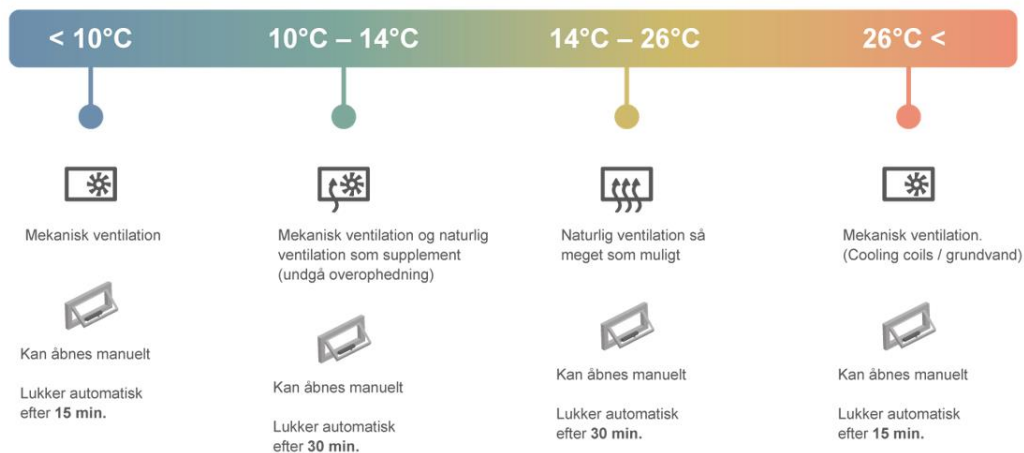
3.2 Intervju med Window Master

I forbindelse med litteratursøk er det også gjort blant annet et intervju med Window Master den 25.januar. For fullstendige referat av intervjuet referer til vedlegg [2](#).

Window Master er et dansk firma som er etablert i 1990 og de har etablert seg i seks land, blant annet Norge. Hoved produksjonen er i Tyskland med noe i UK. De leverer nesten 50% på hybridventilasjon og 50% på brannventilasjon. De leverer motorer til vinduer som kan monteres på forskjellige type vinduer. Vinduene kan styres både auto og manuelt. De leverer både til nye og rehab-prosjekter, men for nye prosjekter er de med helt fra startfasen og jobber tett med ARK for å designe de maksimale naturlige løsningene som kan fungere.

De prosjekterer åpningsgrader og åpningsintervaller basert på innelufttemperatur eller CO₂-nivået inne. Anlegget er utstyrt med sensurer som måler vindhastighet og utetemperatur samt vindretning. Inne måles det temperatur og CO₂. Systemet fordeler andelen av lufta mellom vindu og mekaniskventilasjon basert på målinger og de legger også til grunn samtidighet.

Ifølge deres anbefalinger er det greit å ta i bruk vindusluftingen når den laveste utetemperaturen ligger på 10/12 [°C] illustrert også i figur [17](#). Den gjennomsnittlige utetemperaturen for Oslo for mai er 10,8 [°C], ifølge uteklimadata fra Byggforskserien 471.111 (SINTEF, 1999). De anbefaler også systemet for vår, høst og sommer. De leverer applikasjoner og automatikken samt service avtaler. Bamble VGS, Kimahuset på Tøyen, Kjølberggata 21 er noen av de prosjektene som de har levert.



Figur 17: Typisk driftsstrategi fra Window Master (bilde er hentet fra presentasjonen til Window Master med tillatelse fra dem)

3.2.1 Metodologi

Deretter begynt med casestudien som er Klimahuset på Tøyen. Det er beskrevet detaljert om det i kapittel 4, metodekapittelet og i delkapitlene om de metodene som er brukt for denne oppgaven. Metodene som er brukt i denne oppgaven er blant annet inneklimatesting, målinger og simuleringer i IDA-ICE. Det er gjort vurderinger, kartlegginger og forberedelser i forkant av hver metode. Det er skaffet de nødvendige utstyr, instrumenter, verktøy, BIM-programmer og diverse behov for hver metode. Etter hver metode er det samlet alle resultatene for å analysere. Metodene er gjort i rekkefølgen under:

- Spørreundersøkelse
- Målinger

- IDA-ICE simuleringer
- Målinger igjen

Resultatene etter hver metode er samlet og analysert i kapitel 5.

4 Metode

I dette kapitlet er det skrevet de metodene som er brukt for denne masteroppgaven, blant annet, casestudie, befaringer, spørreundersøkelser, målinger, studiet ved SD-anlegg, IDA-ICE simuleringer og beregninger.

4.1 Case Studie: Klimahuset på tøyen

Klimahuset er et nytt Utstillingsbygg/museum fra 2019 i Botanisk hage på Tøyen, som skal funke som en arena for å formidle informasjon om klimaendring og det er rettet mot barn og unger (Petersen, 2020). Dette skjer via Utstillinger der, foredrag som blir holdt, debatter, filmer og opplevelser, så kan man lære om hvordan jordens klimasystem fungerer og hvordan kan vi bli påvirket av den globale oppvarmingen samt hva er løsninger på det (Petersen, 2020). Figur 18 viser en 3D-illustrasjon av bygget.

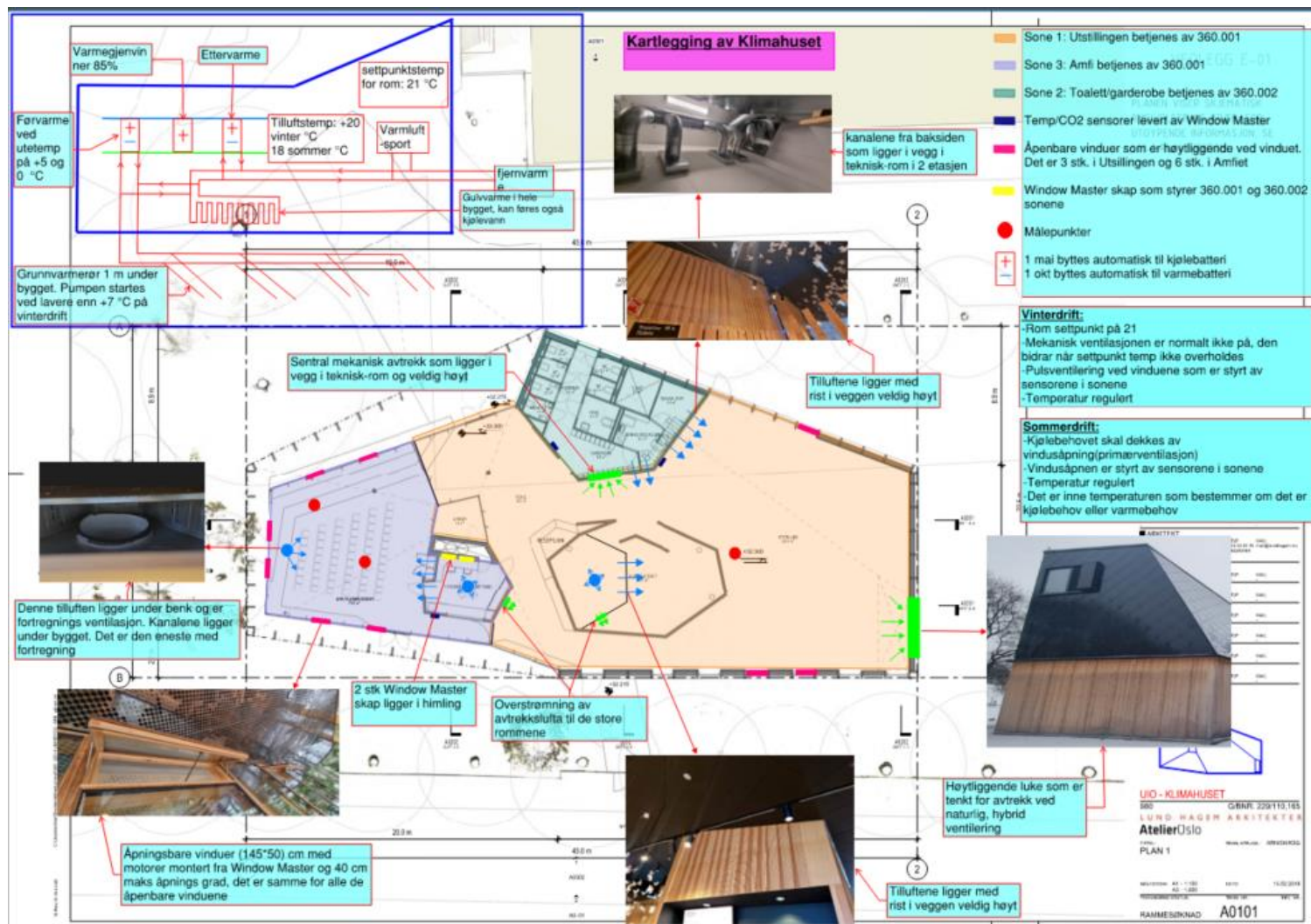


Figur 18: 3D-illustrert av Klimahuset (Erichsen og Horgen, personlig kommunikasjon, 2020)

Klimahuset er utført som en totalentreprise med oppdragsgiver Seby AS (Veidekke AS) og Universitet i Oslo (UiO) som byggherre. Arkitektene har vært fra Atelier Oslo AS, Sweco Norge AS på RIVA. Tidligere Erichsen & Horgen AS som er en del av Multiconsult nå har vært involvert på bærekraft og miljø. Energima har levert ventilasjon og Rørtema AS har levert rør samt Window Master har levert hybridløsningen med automatiskstyrte vinduer og sensorer i sonene som er koblet mot SD-anlegget.

Bygget er et komplekst bygg og har vært et forbildeprosjekt i FutureBulit. Bygget er plassert i nærheten av kollektivtransport og det er brukt tre typer av lavkarbonbetong. Dette har nettopp ført til en halvering av klimagassutslippene sammenlignet et typisk referansebygg (Petersen, 2020).

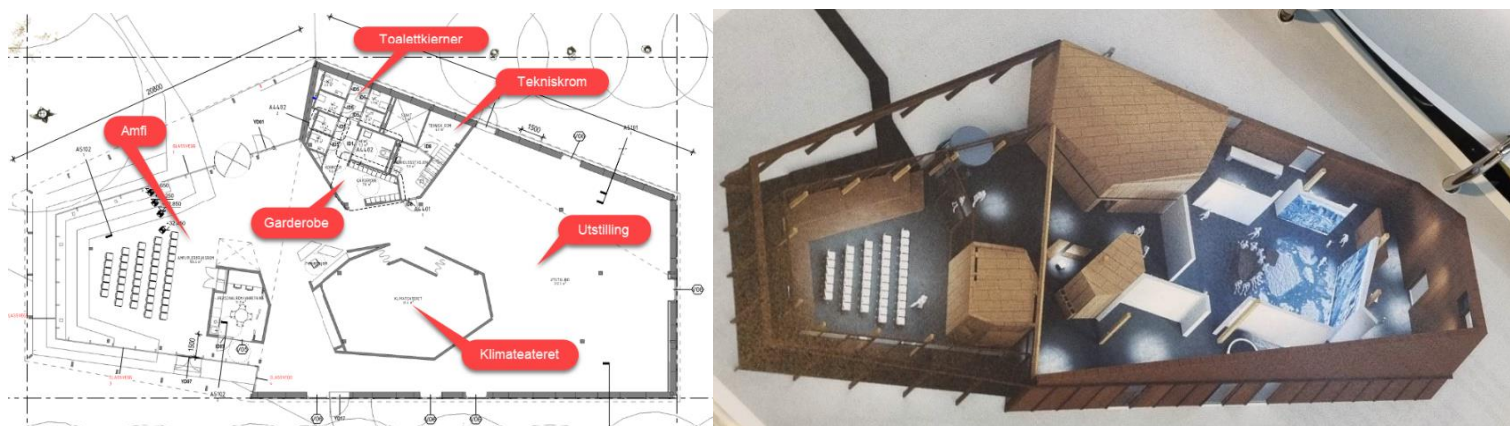
En full kartlegging av huset er gjort for å bli kjent med bygget og sine funksjoner. Alt fra å studere prosjektmaterialer samt å studere SD-anlegget, snakke med ansatte, spørreundersøkelse, ta målinger, analysere målinger, simuleringer osv... Det meste av systemene er blitt satt sammen i figuren under for å få den totale oversikten. I delkapitlene til casestudie går inn litt mer detaljert i dybden på alle funksjonene og systemene som står i figur 19.



Figur 19: Kartlegging av bygget

4.1.1 Rominndeling

Bygget er over et plan på ca. 660 m². Lokalene består av Utstillingslokale, Amfi med mange sitteplasser og en visningsskjerm, toalettkerne samt garderobe, tekniskrom og et lite personalrom.



Figur 20: Bilde til venstre er tatt fra ARK-underslag tegning A1101, bilde til høyre er tatt fra Perspektiv tegninger og viser innholdet i bygget

Figur 20 viser et 3D illustrert av Klimahuset. Teknikkerommet ligger over toalett-kjernen med en halvetasje. Amfiet består av tre fasader med vinduer med overheng over vinduene samt to innvendige solskjerminger på vinduene. Det er også plassert to skyvevegger av glass på to sider av personalrommet som fungerer nesten som en vegg til Amfiet som separerer Amfiet fra resten av arealene. Utstillingsarealene er dekket med store og høye skjermesom kjøres klimafilmer over med faste tidsintervaller. Overflatene på innerfasadene i Utstillingen er sorte fasader og det er veldig få vinduer her, vinduene er også mat og uten solskjerming. Hele Utstillingsarealet er åpent mot resten av arealene.

4.1.2 Energi

Bygget er designet som FutureBuilt (ZEB-O -EQ) pluss-husnivå og ifølge notatet NOT-RIEN-01 (Erichsen og Horgen, personlig kommunikasjon, 2020), oppfyller kravene i rammekrav for netto energibehov (§ 14-2), minstekrav (§ 14-3) og krav til energiforsyning (§ 14-4) i TEK 17 og oppfyller netto oppvarmings- og kjølebehov iht. passivhuskriteriene i NS 3701, men oppfyller ikke krav til totalt varmetapstall.

ZEB-O-EQ betyr at ”byggets klimagassutslipp fra energibruk til drift av bygget over året skal kompenseres med lokal produksjon av fornybarenergi i byggets tomtegrenser” (Trøndelag Fylkeskommune, 2020, s. 1).

For fullstendig varme og kjøleflytskjema vil referer til vedlegg 4 som er utarbeidet av Rørtema. Varme og kjølesystemene er basert på fjernvarme, levert Energi er fra Brøggers hus, med litt bidrag for varme/kjøling fra Kollektorør under bygget (jordvarme/kjøling). Jordvarmen ligger en meter under bunnplaten. Vannbåren gulvvarme er brukt i hele bygget med oppdeling i soner, se figur 22, samt shuntkobling og frekvensstyrt pumpe som tilpasser effekten på anlegget, med mulighet for noe kjøling via gulvvarmesløyfer. Bygget er bygd tett isolert og har blitt plassert jordsløyfer under bygget for å utnytte varmen fra underjorden om vinteren og benytter jordas termisk masse på kjøling om sommeren, dermed bygget skal produsere mer energi enn det de har behov for i løpet av året, men dette inkluderer ikke utstyr. Det er brukt stålglatte betonggulv som bidrar til termisk masse i bygget. Bygget har gode U-verdier for vinduer og har en effektiv varmegjenvinner på 85%. For prinsippsskisser til å kjøle- og varmesystemet vil referer til vedlegg 5.

4.1.3 Solceller

På taket er det plassert mange bygningsintegrerte solceller på skråtak med 16% virkningsgrad. Helningen på det taket er prosjektert og optimalisert veldig mye både iht. solcellene og hybridventilasjonen. Helningen er optimalisert for å produsere strøm på en mest effektiv måte fra solcellene. Av estetiske grunner har de brukt et materiale på taket av lik farge som solcellene.

Solcellene er ikke koblet mot SD-anlegget, dermed fant ingen oversikt over levert energi fra solceller, men det er estimert levert energi på 77,2 [kWh/m²] fra energinotatet fra prosjekteringsfasen (Erichsen og Horgen, personlig kommunikasjon, 2020). Men det er også kommunisert med en Norconsult-rådgiver som hadde oppdrag for solcellene samtidig som denne masteroppgaven, for å innhente data om levert energi for oppgaven. Kommer tilbake til dette.

4.1.4 Tilluft og avtrekk

Bygget har et høyt skråtak på to av fasadene som optimalisert for forskjellige formål, viser til figur 21. Den høye veggen på nord siden brukes blant annet for avtrekk gjennom lukeåpning. Denne løsningen gir en «pipe-effekt» for naturligventilasjon. Naturligventileringen skjer ved hjelp av naturlig oppdriftskrefter som kryssventilering og bidrar til kjøling av bygget. På balansert ventilasjon ligger både tilluft og avtrekks ventilene i veggen veldig høyt i arealet i andre etasjen i tekniskrom mot innsiden i bygget fot Utstillingen. For Amfiet ligger noe av tilluftskanalen i grunnen og tilluftskanalen ligger under benk og er tiltenkt som fortrenningsventilasjon, viser til vedlegg 9, 14 og 15 for ventilasjonstegninger og bilder. Resten av ventilasjonen er omrøring. Bygget bruker sentralavtrekk ved en av veggene til tekniskrom i andre etasjen i Utstillingen. Personalrom og resepsjonrom har egne tilluft men de har overstrømning til øvrige lokaler for avtrekk.



Figur 21: Bildet av bygget (Store bildet er tatt av 03.02.23 og bildet til høyre er tatt av solibri modellen)

4.1.5 Mekaniskventilasjon

Det er installert to stykker mekaniskventilasjonsaggregater i bygget generelt, som kan levere maks følgende i tabellen under:

Tabell 5: Betjeningsområde og luftmengder (Erichsen og Horgen, personlig kommunikasjon, 2020)

Anlegg	Type/plassering	Luftmengde[m ³ /h]	Betjeningsområde
360.001	Ventilasjonsaggregat/plan 2	6500	Publikumsarealer plan 1
360.002	Ventilasjonsaggregat/plan 2	450	Toaletter plan 1
369.001	Naturlig/hybridventilasjon	Etter behov	Publikumsarealer plan 1

Inneklima styres og overvåkes i tre soner, se figur 22.

Sone 1: Utstilling

Sone 2: Garderobe og toaletter

Sone 3: Amfi/Flerbruksrom

Sone 1 og 3

Betjenes av system 360.001. Klimapådraget styres fra sensorer i hver sone. Hver sone har en temp/CO₂ føler fra Window Master.

Sone 2

Ventilasjon er av en boligtype og leverer konstant luftmengde og tilfører luft fra 360.002 til garderober og toaletter.

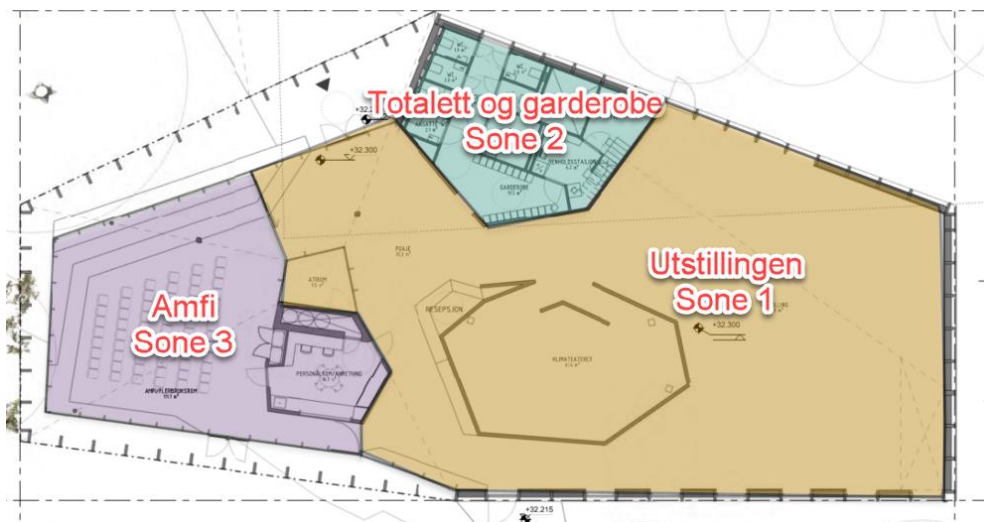
Totalt alle systemene i varmesentralen 320/360/370 styres fra automatikk montert i egen tavle i tekniskrom i plan to. Skifte mellom varme og kjølefunksjonen og sesongen foregår på justerbare dato og da skiftes det varmebatteriets funksjon til kjølebatteri ved aggregatet. 1mai=kjøling og 1oktober=varme.

Temperaturregulering

Utefølere registrerer utetemperatur og kan skifte mellom utekompensert tilluftsregulering (vinter) og romregulering (sommer)

Tilluftsregulering om vinteren

På vintersesongen tilføres luft med en konstant temperatur +20 [°C] og en føler montert i tilluftskanalen og registrerer temperaturen for tilluftsregulatoren. Når temperaturen er mellom +5 og 0 åpner shunt SB401 for å forvarme utelufta fra jordvarme.



Figur 22: Soneinndeling av bygget

Avtreksregulering om sommeren

Det er føler montert i avtrekkskanalen som registrerer temperaturen for avtreksregulering. Det er også montert temperaturføler i tilluften og ved høyere temperaturer en 18 [°C] vil shunt SB401 åpnes for å kjøle ned utelufta fra grunnkjøling. Referer til systemskjema ved vedlegg [4](#)

Luftmengdereguleringen

Luftmengdereguleringen er basert på trykkfølere, som er plassert hhv. i felles tilluft og avtrekkskanalen. Dette trykket varierer av motstand i kanalanlegget. Aggregatet er utstyrt med frekvensomformere til viftene som regulerer luftmengden avhengig av reall behov.

Forvarmebatteri, jordvarme

Batteriet skal om mulig forvarme eller forkjøle ventilasjonsluften basert på energi tilført rør med glykol lagt en meter under bygget.

Vinterdrift: ved utetemperaturer lavere enn +5 [°C] og 0 [°C] åpnes ventilen 360.002-SB401 og væske sirkulerer over forvarmebatteriet for å heve tilluftstemperaturen. Referer til systemskjema ved vedlegg [4](#).

Sommerdrift: føler 360.001-RT401 styrer shunt 360.001-SB401 for å regulere tilluft til ønsket settpunkt.

4.1.6 Styringssystem

Styringen betjenes av hovedsakelig AV-Auto-På settpunkt og verdier kan justeres fra tavlefronten på automasjonsskapet i tekniskrom. Dette står på Auto per nå.

- **Av:** Aggregatet står
- **Auto:** Aggregatet går etter tidsstyring fra SD
- **På:** Aggregatet går kontinuerlig

Aggregatet vil normalt betjenes av SD-anlegget i UiO. Basert på undersøkelser, observasjoner av SD-anlegget og prosjektmaterialet som foreligger, viser det seg at basisventilasjonen på bygget er utført etter naturligventilasjon, og om den ikke er tilstrekkelig for å holde settpunktene så bidrar vindusåpninger og mekaniskventilasjonen til å holde settpunktene som er definert i SD-anlegget. De har også pulsventilering om vinteren. Settpunktet for romtemperaturen er definert på 21 [°C] i SD-anlegget.

4.1.7 Hybridventilasjon

Bakgrunnen for denne hybridløsningen på Klimahuet har vært det høye målet for energieffektive og miljømessige løsninger. Hybridløsningen baserer seg på vindusåpninger. Lukeåpningen var først og fremst planlagt når det ikke er behov for varmegjenvinning fra avtrekksluften. Tilluften skjer ved åpninger i små vinduer plassert øverst i noen av vinduene, referer til tegningene til Window Master i vedlegg [6](#) og bildene av selve vinduene i vedlegg [10](#). Det er tre vinduer som kan åpnes i Utstillingen i dimensjoner (b*h) = (145*50) cm. Det er også seks vinduer av samme størrelser som kan åpnes i Amfiet, to i hver fasade. Avtrekket er planlagt å skje ved den store luka og risten som er på Nord fasaden av bygget, som et sentralt

avtrekk, se figur 23. Den luka og avtrekket skal reguleres etter temperatur og CO₂-sensoren som er plassert av Window Master iht. den soneinndeling i figur 22. Referer også til vedlegg 6, tegningen fra Window Master og den lilla sløyfen i tegningen, er plasseringen på sensorene. Sensorene er plassert i en høyde på ca. 1,6 m fra ferdiggulv. Referer til vedlegg 8 for oppbygning av hybridventilasjon fra Window Master.



Figur 23: Bildet er tatt av bygget som viser luka i Nord-fasaden

4.1.7.1 Prosjektert løsning

Hybridventilasjonen for Klimahuset er definert og prosjektert av Erichsen og Horgen i prosjekteringsfasen, men løsningen er endret ved byggefasen som kommer tilbake til. Det ble prosjektert full mekaniskventilasjon som basisventilasjon med kombinerings av vinduslufting som hybridventilasjon.

Figur 24 viser en illustrasjon om prosjektertløsning fra Erichsen og Horgen gjennom et år.

- På vintertid, full bruk av mekaniskventilasjon prosjektert og alt avtrekket skulle til varmegjenvinning. Lukene holdes stengt. I følge Window Master funksjonsbeskrivelse skulle motor collectorene være i tilstand «hold alle vinduer lukket» fra mini server. Men i vinterdrift vil åpning av vinduer begrenses til pulsventilasjon og åpningsgraden på vinduene bestemmes av målt værddata på stedet. Vinduene skal åpnes automatisk for eks. 2-3 minutter inntil 2-3 ganger per time ifølge funksjonsbeskrivelse fra Window Master. Er temperatur og CO₂-nivået under settpunktet vil vinduene holdes lukket i vinterdrift.
- Samt videre prosjektertløsning har vært slik at når utetemperaturen er noe høyere på høst og våren og det trengs ikke varmegjenvinning av avtrekkslufta, skal avtrekkslufta gires ned og avtrekksluken åpnes.
- Om sommeren stoppes avtrekksviftene helt opp og lukene brukes for all av avtrekkslufta ut ifra temperatur og CO₂-nivå i sonene. Når det skulle bli veldig varmt inne så skulle lavsittende luker åpnes for ekstra luftskifte og nedkjøling av arealene. Nattkjøling med uteluft fra åpningen på de høytliggende åpningene er en passivløsning, som kan tas i bruk på sommer sesongen.

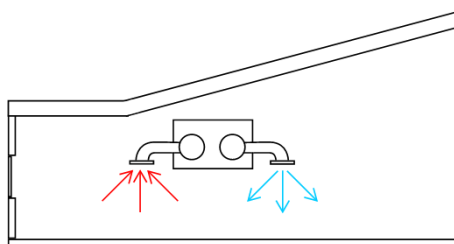
Fordelen med å basere seg på en alltid tilført mekanisk tilluft er at man får alltid tilført filtrert luft. Dette er gunstig iht. støv/pollen og partikler og fjerner forurensninger, noe som naturligventilasjon som styres ut ifra CO₂ ikke gir.

I notatet er det estimert 18% besparelse på årlige energiforbruket med denne hybridløsningen kontra en konvensjonell mekaniskventilering (Erichsen og Horgen, personlig kommunikasjon, 2020).

VINTER

BALANSERT VENTILASJON

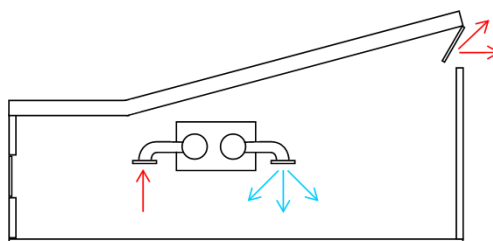
All avtrekksluft varmegjenvinnes. Full viftedrift.



HØST/VÅR

HYBRID VENTILASJON

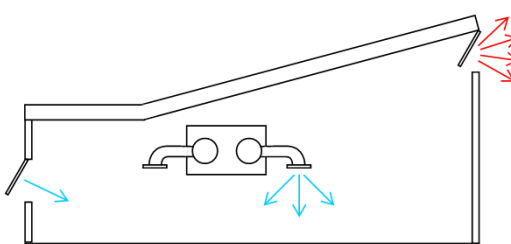
En andel av avtrekksluften varmegjenvinnes, resten trekkes naturlig av fra luke plassert høyt på fasaden.



SOMMER

HYBRID VENTILASJON

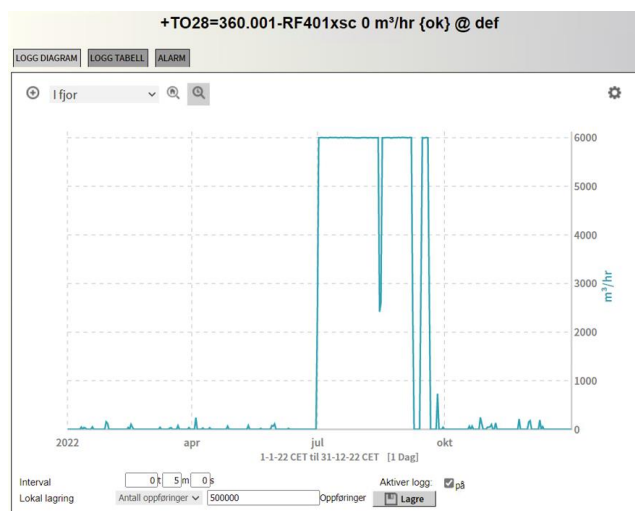
Avtrekksluften trekkes naturlig av fra åpen luke høyt på fasaden. Frisk luft fra åpninger lengre ned på fasaden avkjøler. Ingen viftedrift avtrekk på aggregat. Potensielt behov for vifte ved utgående åpning



Figur 24: Illustrasjon av opprinnelige prosjektert hybridventilasjon (Erichsen og Horgen, personlig kommunikasjon, 2020)

4.1.7.2 Levert løsning

Som det er nevnt tidligere, levertløsningen på hybridstrategien avviker fra prosjektertstrategi. Det er også nevnt i leveringsbeskrivelsen fra SEBY og UiO om endret løsning på hybridventilasjon. Det er levert en naturligventilering som basisventilasjon med bidrag fra mekaniskventilasjon ifølge funksjonsbeskrivelsen fra Winow Master.



Figur 25: Tilluftsoversikt fra system 360.001 for hele 2022, (figuren er fra SD-anlegget til Klimahuset)

Figur 25 viser tilluften på system 360.001 gjennom hele 2022 og det ser ut som at omtrent kun sommeren, mekaniskventilasjonen har vært på kontinuerlig. Driftspersonell har endret det styringen i sommer 2022 og har satt mekaniskventilasjonen på PÅ modus, grunnet klager fra brukerne for høye temperaturer. Det har heller ikke vært noe kontinuerlig varmegjenvinner på vintertid, så grafene viser at det er ikke en basismekaniskventilering i vinter.

Sommer-/Vinterdrift

Window Master definerer i funksjonsbeskrivelsen at det brukes temperaturer i sonene for å bestemme type drift. Dersom det er varmebehov i en sone, er sonen da i vinterdrift. Er det kjølebehov er sonen i sommerdrift. Det vil si at det ikke er utetemperaturen som bestemmer om vi er i vinterdrift eller i sommerdrift. En sone kan være i sommerdrift samtidig som en annen sone kan være i vinterdrift. Referer til vedlegg [32](#) for bilde av sensorene.

Sommerdrift

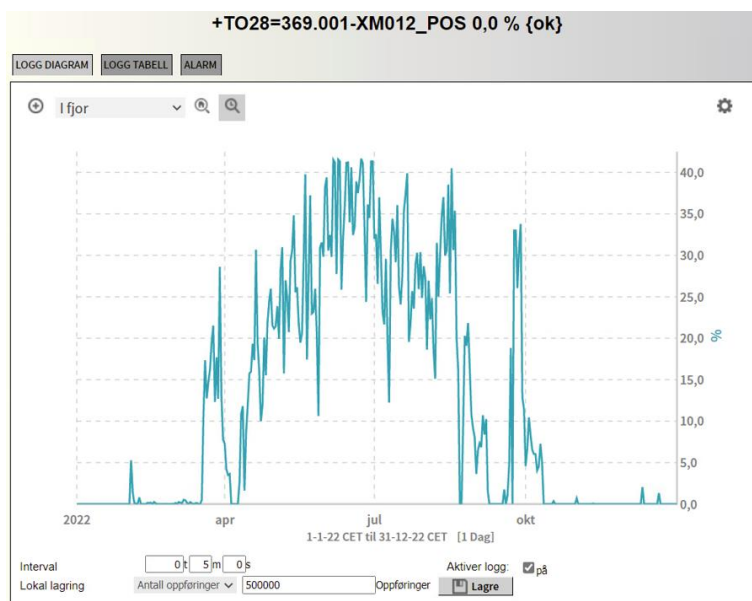
I sommerdrift (kjølebehov) vil vinduer benyttes som primærventilasjon og vindusåpning kan kjøres til maksimal åpning dersom CO₂- og/eller temperaturnivå tilsier dette. Det vil allikevel kunne være behov for assistanse fra konvensjonell ventilasjon. Systemet vil da gi beskjed om å starte ventilasjonsvifter, ifølge funksjonsbeskrivelse fra Window Master. Window Master har settpunkter i deres sentraler som er i de skapene over himling i personalrommet, ifølge Window Master.

Vinterdrift

I vinterdrift (varmebehov) vil åpning av vinduer begrenses og settes i pulsventilasjon. Vinduer vil da pulslufte ved CO₂-verdier over gitt settpunkt. Graden av vindusåpning under en puls er basert på værdata målt på stedet. For langtids høye personlige belastninger kan vinduene åpne ca. 2-3 ganger per time på 2-3 minutters varighet. Er CO₂-nivået under settpunkt vil vinduer holdes lukket i vinterdrift, ifølge funksjonsbeskrivelse fra Window Master.

Åpningsgrader på vinduene

Figur [26](#) viser Vindusåpningsgrader ved vinduene for hele 2022 i Utstillingen. Samt figur [25](#) viser tilluften på aggregatet i samme tidspunkt. Det ser ut som det har vært mekaniskventilasjon på den meste perioden av sommer når samtidig som vinduene har vært på sine maksimale åpninger.



Figur 26: Vindusåpningsgrader for hele 2022 i Utstillingen, figuren er fra SD-anlegget til Klimahuset

Vil referere til vedlegg [24](#) for en oversikt over vinduenes åpningsgrader i hele 2022 i Amfiet også. Det ser ut som vinduene har begynt å åpne seg i korte trekk med 5% åpningsgrad og har vært på sin høyeste åpningsgrad i midten av juli. Åpninger har begynt å avta etter hvert og går over til vintermodus fra 01.oktober. Vinduene kan alltid tvangsstyres, åpnes/lukkes ved hjelp av de pilene som står ved føleren.

4.1.8 Automasjons beskrivelse

Ifølge Window Master har de settpunkter for CO₂ ved sine skap/sentraler satt.

Etter første runde med målinger, har kommunisert med Window Master om for høye resultater.

De har sendt et servicepersonell til Klimahuset for å sjekke om at anlegget fungerer som det skal. De opplyste etter besøket blant annet at:

- ” Settpunkt for naturligventilasjon var satt til 750 ppm, dette er nå endret til 650 ppm.
- Settpunkt for start av mekaniskventilasjon var satt til 850 ppm, dette er nå endret til 700 ppm.
- Settpunkt for 100% pådrag på mekaniskventilasjon var satt til 1500 ppm, dette er nå endret til 1000 ppm” (Window Master, personlig kommunikasjon, 16.mars 2023).

Systemet fungerer for det meste som det er beskrevet i avsnitt [4.1.7.2](#) også levertløsning. Dersom CO₂ overstiger settpunktet, men er ok med temperaturen, da vil automatisk nedjusteres romtemperaturen til en minste verdi for eks. 19 [°C] og hvis det er forsett utfordringer med CO₂, så vil vinduene åpne seg og dersom det er ikke nok så startes mekaniskventilasjon og gir pådrag, samtidig som sendes signal til gulvvarmeanlegget til å holde settpunkt ifølge (Window Master, personlig kommunikasjon, 20.mars 2023). Det har vært fullt åpningsgrad i hele dagen i sommer 2022, når ventilasjonen ikke har vært på enda, men åpningsgradene varierer litt når mekaniskventilasjonen er i drift. Det ser ut ifra grafene i vedlegg [35](#), [36](#) og [37](#) som er for 3 sommerdager, åpningene på vinduene har startet kl. 7 på morgningen med en lav åpningsgrad også øker åpningsgraden gjennom hele dagen, når mekaniskventilasjonen har vært i kontinuerlig drift. Så vinduene har vært åpne på sommersesongen uansett.

Undersøkelser ved SD-anlegget viser når temperaturen overstiger og det er ok med CO₂, da vil vinduene åpne seg og hvis det er ikke nok så vil mekaniskventilasjon gi pådrag. Dette ser man ikke i SD-anlegget men det antas at temperaturen nedjusteres automatisk først til minste tillate verdi, før den åpner vinduene. Det er prøvd å finne ut settpunkt for temperaturer i sommer, men ser at vindusåpning og mekaniskventilasjonen har slått på ved ulike temperaturer, alt fra 21 til 22,7 [°C] for sommer. Vindusåpningen har for det meste vært i full drift uavhengig av CO₂ og innnetemperaturene i sommer.

Vedlegg [38](#) viser et tilfelle ved vinter, der det er fra 01.03.23. Ser fra grafene at ved temperaturer alt fra 21 til 22,3 [°C] vinduene har åpnet seg og deretter mekaniskventilasjon gitt pådrag, også gir de seg begge når de er fornøyde med settpunktene.

4.2 Befaring

Det ble utført befaring og testmåling av bygget den 03.02.23 første gangen. Først av alt ble det snakket med ansatte samt ansatte for drift og vedlikehold fra UiO eiendomsansvarlige. De har hatt en del mistanke om at systemet fungerer ikke som det skal og eller kanskje det er for avansert system. Spør videre hva de mener med dette og hva de legger i det. De mente at det har vært klager fra brukere i fjor sommer, for høye temperaturer og de måtte kjøre aktiv kjøling for å fikse på det. Driftspersonellet snakket videre om at de har montert netting på innsiden av vinduene pga. inntrenging av ekorn. De mener også at bygget har blitt overlevert i koronatiden og de har ikke hatt nok opplæring for styringen.

Det ble også snakket med ansatte som var på jobb den dagen. De mente at det var for varmt i sommer. Det har også vært irriterende at vinduene åpnes gradvis på sommeren når det er varmt inne, og de har selv måtte tvangsåpne vinduene veldig ofte. Befaringen gikk videre med å gå rundt hele bygget å bli kjent med bygget og funksjonene.

4.3 Spørreundersøkelse

Det ble utdelt en spørreundersøkelse til besøkende og fikk svar fra totalt 23 stykker den 06.02.23. De aller fleste av dem var videregåendelever da det var mest de på besøk den dagen, pluss besvarelse fra en ansatt. Totalt hadde undersøkelsen tre bolker med spørsmål, en for dagens besøk, en for sommer og en for høst og vår. Det var ikke så mange som hadde svart for høst/vår og sommer. Siden det kun har vært en dagstur kan man heller ikke stole på de svarene, men svarene for dagsbesøket er til å stole på og er interessante. Den største andelen som hadde svart var jenter. For samlet besvarelsene vil referer til vedlegg [12](#) og [13](#). Svarene fra jentene var nesten like mens guttene hadde mer ulik besvarelse.

4.4 Målinger

I dette delkapitlet er det beskrevet hvordan målingene og forberedelsene til målinger er gjort. Målingene er dokumentert med bilder fra måleoppsettet, vedlagt tilgjengelig kalibreringsbevis på instrumentene (vedlegg

19), samt bearbeidet en tabelloversikt over spesifikasjoner, instrument typene, nøyaktighet, måleusikkerhet samt måleområder på instrumenter og bilde av selve instrumentet. Alt dette ligger i vedlegg 11. Det er gjort målinger to ganger, en for vinter og en for vår drift på bygget. Første gangen var 07.02.23 på en tirsdag med mange besøkende til stede og stengte vinduer. Andre gangen var 21.04.23 med et arrangement på Amfiet og åpne vinduer. Tilstanden for ventilasjon var akkurat som det er beskrevet i delkapittel 4.1.7.2. Dvs. at det har vært naturligventilering som basisventilasjon og med bistand fra vindusåpning og mekaniskventilasjon hvis det er ikke nok. For å dobbeltsjekke dette så har studert SD-anlegget med loggede verdier for måledagen, pluss at det er målt en av tilluftskanalen som hadde tilgang på den 07.02.

Generelt det har ikke vært mulig å måle ved tilluft og avtrekk siden ventilene ligger i veggene og ligger veldig høyt over gulvet. Men det eneste stedet som kunne sjekke det var en av tilluftene under benken på Amfiet og toaletter. Det er heller ikke tilkomst til den tilluften men det er brukt Probe SWA 31 som kobles til Swema 3000 og kan trekkes ut inntil 116 cm, Proben er dyttet inn gjennom hullene på platene til midten av kanalen under benken under målinger. For en detaljert spesifikasjon om instrumentet med målenøyaktighet, usikkerhet, målområde og bildet av instrumentet vil referere til vedlegg 11. Men den målte 0 [m³/h] med luftmengder, se figur 27, så det var ikke mekaniskventilasjonen på. Ut ifra undersøkelser ved SD-anlegget, mekaniskanlegget har vært på kun i ca. en time den dagen 07.02.23 fra kl. 14 til ca. 14:50. Det har heller ikke vært noe mekaniskventilasjon på under vårmålinger heller, det eneste tilluften som har vært er døråpninger og lekkasjer gjennom konstruksjonen.



Figur 27: Bilde til venstre er tatt gjennom hullene på trebenken og viser tilluftskanalen under benken i Amfiet, det er mulig å se på vedlegg 14, for ventilasjonstegningen i rommet. Figuren til høyre viser Swema 3000 som måler 0 i luftmengder ved kanalen ved hjelp av Probe SWA 31

4.4.1 Forutsetninger og tilstedeværelse

I Klimahuset er det uforutsigbare personbelastninger. Under oppholdet der har opplevd at noen ganger var det 3-6 personer til stede eller noen timer uten besøk, mens de får også besøk av klasseelever på hverdager og de er ofte forhåndsbestilt. De slipper inn en og en klasse omgangen. Det var veldig få inne før kl. 11 den dagen 07.02, men fra 10:50 kom inn en og en klasse på rundt 29 videregående elever omgangen. For den fulle oversikten under målingene over tilstedeværelse, luftmengder fra mekaniskventilasjonen og settpunkter på rom vil referere til tabell 6 og 7. For internlaster brukt reelle internlaster og tatt utgangspunkt i den måledagen, 07.02.23.

Det har også vært en del begrensninger på plassering av måleutstyr, da det kommer inn alle type gjester, alt fra barnehagebarn, elever til voksne og vogner.

Tabell 6: Tilstedeværelse og oversikt under målinger den 07.02.23 i lokalene

Amfiet den 07.02.24					
Klokkeslett	Tistedeværelse, antall personer	Tistedeværelse %	Mekanisk Ventilasjonen [m ³ /h]	Z-punkttemperatur på rommet [°C]	Areal [m ²]
10:50 til 11:20	30	1	0	21	117,7
11:20 til 11:30	5	0,16	0	21	117,7
11:30 til 11:55	1	0,03	0	21	117,7
11:55 til 12:00	30	1	0	21	117,7
12:00 til 12:05	1	0,03	0	21	117,7
12:05 til 12:15	31	1	0	21	117,7
12:15 til 12:30	1	0,03	0	21	117,7
12:20 til 12:50	31	1	0	21	117,7
12:50 til 13:10	1	0,03	0	21	117,7
Utsillingen den 07.02.24					
13:10 til 13:50	27	0,9	0	21	525
13:50 til 14:00	30	1	0	21	525
14:00 til 14:30	30	1	3041	21	525
14:30 til 14:50	7	0,23	2075	21	525
14:50 til 15:20	5	0,16	0	21	525

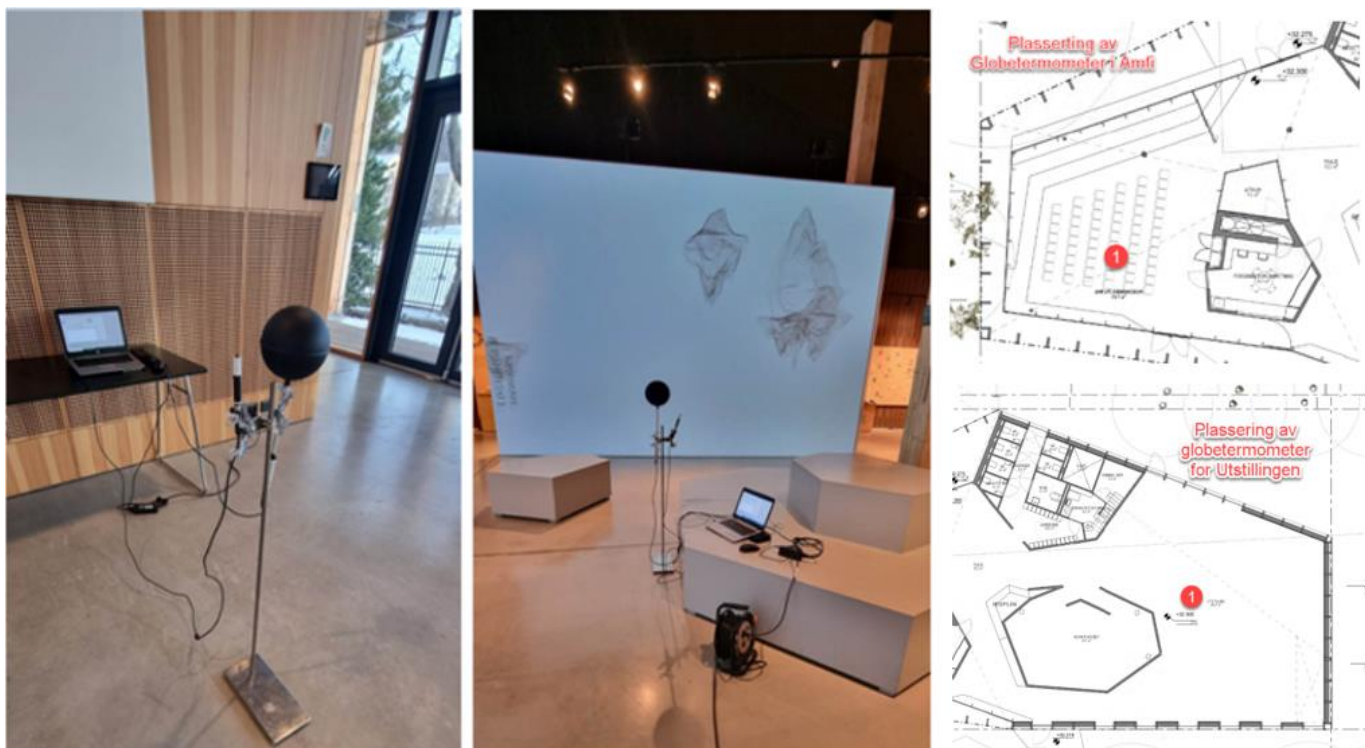
Under runde nr. 2 målingen den 21.04.23 var det to arrangementer den dagen. Det var det en 8ende-klasse på besøk i Utstillingen med 27 stk. samt pluss meg og to ansatte så var 30 stk. til stede til sammen. Det var et annet privat arrangement på Amfiet fra kl. 11-17 og dette ga en del begrensninger med plassering av måleinstrumenter. Det ble tildelt kun et sted å plassere instrumenter på. Denne gangen var vinduene på Amfiet åpent nesten hele dagen mens vinduene på Utstillingen har ikke vært åpne i det hele tatt. Det er også studert ved SD-anlegget for den dagen for å se hvordan systemet har fungert og om det er samsvar mellom resultatene fra målingene og registrerte verdier ved sensorene ved lokalene.

Tabell 7: Tilstedeværelse og oversikt under målinger den 21.04.23 i lokalene

Amfiet den 21.04.23				
Klokkeslett	Tistedeværelse, antall personer	Mekanisk Ventilasjonen [m ³ /h]	Z-punkttemperatur på rommet [°C]	Areal [m ²]
9:45 til 10:45	3	0	21	117,7
10:45 til 11:00	5	0	21	117,7
11:00 til 13:10	15	0	21	117,7
13:10 til 13:45	2	0	21	117,7
13:45 til 15:00	15	0	21	117,7
Utsillingen den 21.04.23				
8:15 til 9:10	3	0	21	525
9:10 til 10:00	30	0	21	525
10:00 til 10:20	32	0	21	525

4.4.2 Middelstråletemperatur

For middelstråletemperatur er det brukt Globetermometer med en diameter på 15 cm som er plassert ca. midt i rommene, med ca. to timers logging for hvert rom og 4 minutter loggeintervall mellom målingene. Det måtte tilpasse for tilkomst av folk inni lokalene også, Globen er hengt på et stativ uten hindringer og den er koblet på PC-en for å logge dataene i programmet Swema Multipoint 3.5.1. Videre er dataene eksportert til Excel via tekstfiler. For en detaljert spesifikasjon om instrumentene med målenøyaktighet, usikkerhet, måleområde og modeller av instrumentet vil referer til vedlegg [11](#).



Figur 28: Bilde til venstre er Globe under logging i Amfiet. Bilde til midten er Globe under logging i Utstillingslokalet. Bilde øverste til høyere har angitt ca. plassering i Amfi, bilde nederst til høyere angitt ca. plassering i Utstillings arealet. Alt for den 07.02.23

Figur 28 viser globene under logging samt målepunkter. Videre er det brukt de målte temperatuene for å beregne den gjennomsnittlige stråletemperaturen og den operative temperaturen etter formel 8 og 9 (SINTEF, 2017a).

For målepunkter for den 21.04.23 se vedlegg 3.

Metoden for å beregne gjennomsnittlig strålingstemperaturen og operativ temperaturen er fra Byggforskserien 421.501(SINTEF, 2017a):

$$t_{fm} = t_g + 2,2 \cdot (t_g - t_L) \cdot (v^{0,5}) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (8)$$

hvor: – t_g er målt Globe temperatur
 – t_L er lufttemperatur
 – v er lufthastighet (m/s)

Og operativ temperaturen er beregnet etter:

$$t_{op} = 0,5 \cdot (t_L + t_{fm}) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (9)$$

hvor: – t_L er lufttemperatur
 – t_{fm} er gjennomsnittlig strålingstemperatur

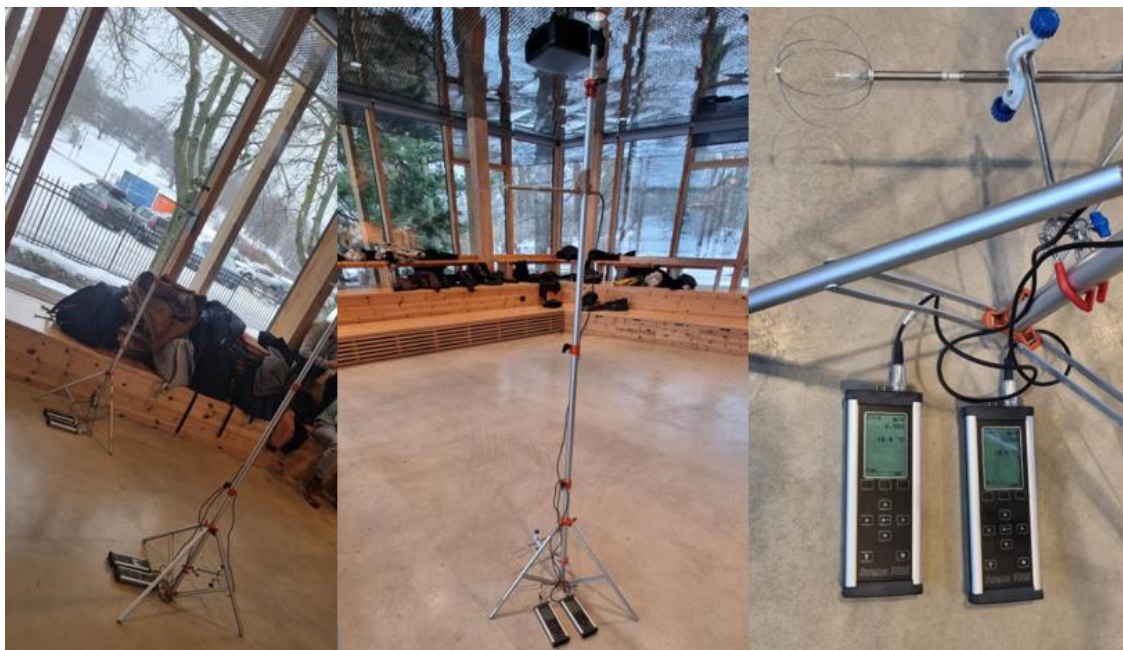
Lufttemperaturen t_L som er brukt i formlene over er beregnet gjennomsnittlig temperatur av målte temperaturer ved 0,1 og 1,6 m høyder over gulv. Samme er gjort for hastighet v som er brukt i formel 8, beregnet en gjennomsnittlig hastighet av målte hastigheter ved 0,1 og 1,6 m høyder. For fullstendige beregninger vil referere til tabellene i vedlegg 16 og 17 for 07.02 og vedlegg 20, 21 og 22 for 21.04.

4.4.3 Lufthastighet og lufttemperatur

For å måle lufthastighet og lufttemperatur er det brukt Thermocouples som heter Swema 03 Anemometer-Draught og de er koblet til instrumentet som heter Swema 3000 for logging av målinger. Målingene er gjort for 1,20-2,15 timer med logging for rommene og 3 minutter loggeintervall mellom målingene. De ble festet horisontalt på et stativ med to høyder. Ankel høyde på 0,1 m og 1,6 m for pustehøyde, se figur 29. Det er plassert fire stykker på to stativer. Pga. mangel på instrumenter var det ikke mulig å plassere flere, men i sånne lokaler vil folk være mest gående rundt omkring, derfor holder med de to høydene for å regne på temperaturgradient, samt i Amfiet er det ofte folk som sitter på trappene og de blir høye og 1,6 m for pustehøyde vil være mest riktig.

De ble plassert på et stativ for en meter fra vindu og en tre m fra vindu. Men et av instrumentene hadde trøbbel med å lagre logg, derfor ble det kun brukt et av stativene med i beregninger og det var den som var tre m fra vinduet den 07.02. For måling runde nr. 2 den. 21.04.23 er det brukt kun et stativ pga. arrangement og begrensing av plass. Selvet instrumentet målte både over og nedre grenseverdier samt gjennomsnittsverdi for hastighet. Det ble brukt gjennomsnittshastighetene fra måleinstrumentet. For en detaljert spesifikasjon om instrumentene med målenøyaktighet, usikkerhet, måleområde og modeller vil referer til vedlegg [11](#).

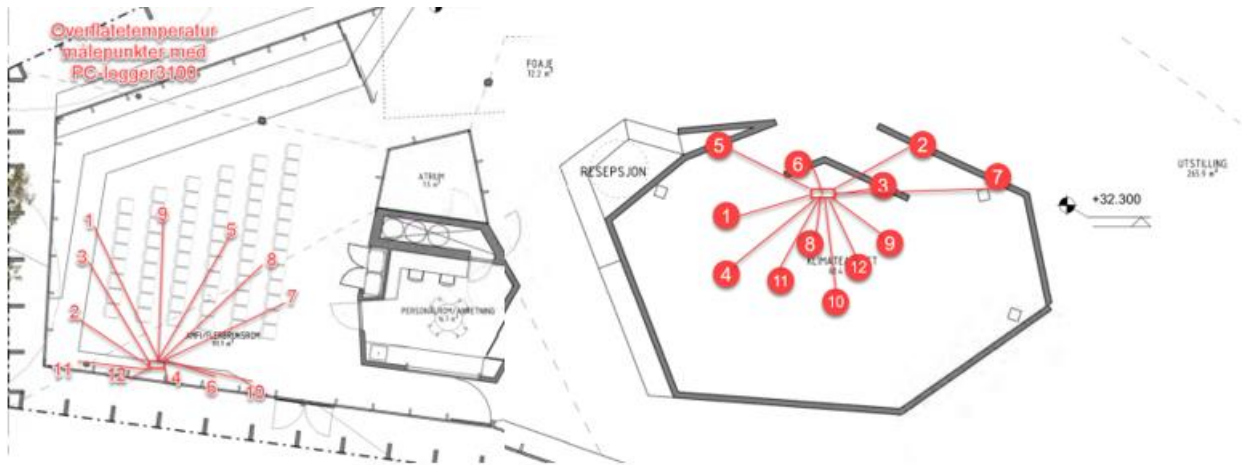
I Utstillingen var stativene plassert midt i arealet. Målingene er foretatt på et sted for logging. Det ble tatt kontrollmålinger på en testdag først før den ordentlige måledagen, og i den forbindelsen er det testet målinger flere steder i rommet, for målepunktene se vedlegg [29](#), men det var ikke så mye forskjeller mellom måleresultatene, derfor er det valgt å ta denne målingen kun på et sted og heller for logging. Samt at det var veldig begrenset med antall instrumenter siden mange av dem var på utlån hos andre studenter. For plassering av målepunktene vil referere til vedlegg [30](#) for 07.02 og vedlegg [3](#) for 21.04.



Figur 29: Bilde er tatt av Thermocouplene festet på stativene under logging

4.4.4 Overflatetemperaturer

Vi ville måle overflatetemperaturer for å se hvor varmt det er på gulvet og eventuelt hvor kalde vindusoverflatene er den 07.02. Overflatene er kun målt på vintermålingen. For å måle disse overflatetemperaturene er det brukt PC-logger 31000-BT. Dette instrumentet hadde 12 stk. Thermocouplekabler koblet på. Først måtte det sikres at alle kablene var jordet, deretter teipet disse kabeltuppene som er loddet på overflater, mest på gulv, vindusoverflater og trappene av treverk som var i nærheten. Dette ble utført på to steder, både i Amfi og på Utstillingsrommet. Målingene er tatt i ca. en halvtime for hvert av rommene, med en sekvens på hvert minutt. Siden det er ikke så mange vindusoverfalter på Utstillingsrommet derfor valgte å teste det nesten midten av lokale med de Utstillingsveggene og trappene som var i nærheten. For mer detaljer om instrumentet og utsikkerheter og målenøyaktighet vil referer til vedlegg [11](#). For målepunktene og oppsettet for overflatemålinger i Amfiet og Utstillingen vil referer til figur [30](#) og [31](#).



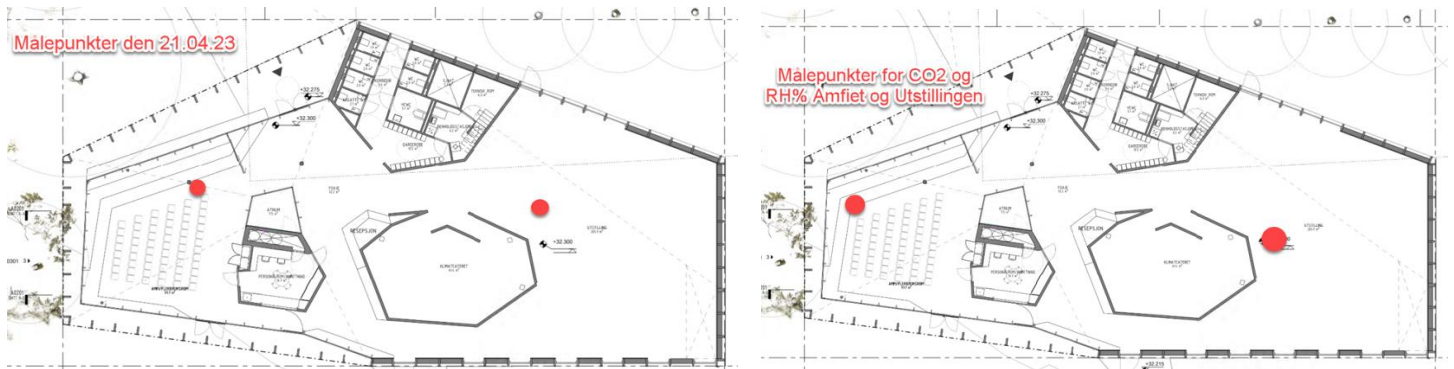
Figur 30: Bilde til venstre viser målepunkter for overflatetemperaturer ved Amfiet, bilde til høyere er målepunkter for overflatetemperaturer ved Utstillingen



Figur 31: Øverste bildet er tilkoblede Thermocuple elementer på overflater og logging på PC på Utstillingsarealet samt bilde nederst til venstre. Bilde nederst til høyere er samme logging i Amfiet

4.4.5 CO₂ og RH%

For å måle CO₂-en er det brukt Q-Trak. Dette instrumentet kan måle flere parametere samtidig. Det ble brukt for å måle både CO₂ og RH%, relative luftfuktighet. Først ble det målt utenivået. Q-Traken ble kalibrert en dag før målingene. Utenivået viste 442 ppm samt RH% for ute viste 23,7% ca. kl. 10:30 den 07.02. Målingene er gjort for ca. 2 timer med logging for hvert rom og ca. 4 minutter loggeintervall mellom målingene. For en detaljert spesifikasjon om instrumentene med målenøyaktighet, usikkerhet, måleområde og modeller vil referere til vedlegg [11](#). For målepunktene vil jeg referere til figur [32](#). Andre gangen logget med et intervall på et minutt. For runde nr. 2 målingen var sensorene byttet av Window Master, men de var plassert på samme plass som før. For antall folk til stede vil jeg referere til tabell [6](#) og [7](#).



Figur 32: Bilde til venstre viser målepunkter for vårmålingen, bilde til høyere er målepunkter for vintermålingen

4.4.6 Målefeil

Alle målinger har målefeil og usikkerheter. En kan grov dele disse målefeilene opp i følgende grupper i tabell 8 (Novakovic et al., 2014, s. 376):

Det er viktig å være klar over type feilene.

- ” Grov feil bør unngås!
- Systematisk feil kan unngås!
- Tilfeldig feil kan ikke elimineres, bare reduseres!” (Novakovic et al., 2014, s. 376)

Tabell 8: Inndeling av målefeil (Novakovic et al., 2014)

Målefeil	Forklaring
Grove feil, UG	Type avlesingsfeil, eksempelvis ombytting av tall eller feilplassering av komma. Slike feilene skyldes ofte manglende oppmerksomhet eller slurvhet
Systematiske feil, US	Disse er feil på instrumenter, bruk av ukalibrerte instrumenter eller ukorrekte utførte målinger. Slike feil kan skyldes måleinstrument og operatøren
Tilfeldige feil, UT	Dårlig oppløsning på digitale eller analoge instrumenter, utilfredsstillende måledynamikk eller eksterne, usannsynlige påvirkninger

4.4.7 PMV og PPD

Etter at resultatene fra målingene er samlet, begynte med å beregne PMV og PPD. Disse er beregnet etter fangersmetoden i NS-ISO 7730. Lufttemperaturen som er brukt er gjennomsnittstemperaturen mellom ankel og hode. Stråletemperaturen er beregnet gjennomsnittstemperaturen etter formel 8. Lufthastigheten er beregnet lufthastighet mellom ankel og hode. Relative luftfuktigheten er målt RH% i samme klokkeslett og PMV og PPD er beregnet etter formlene 1 og 5 (Standard Norge, 2005) i en Matlab skript, deretter svarene er overført til Excel for å analysere og lage kurver og grafer av.

4.4.8 DR%

Draught definert etter NS-ISO 7730, er prosentandelen av personer som forventes å bli plaget av trekk (Standard Norge, 2005). Dette er også beregnet. For selve inndataene og beregningene vil referere til tabellene i vedlegg 16 og 17 for 07.02 og vedlegg 20, 21 og 22 for 21.04. DR% er beregnet etter formel 6 fra NS-ISO 7730. Tu er den lokale turbulensintensiteten, siden denne er ukjent, brukt 40% etter anbefalingen fra Standarden (Standard Norge, 2005). Lufttemperaturen som er brukt er lokalt gjennomsnittstemperaturen mellom ankel og hode. Lufthastigheten er beregnet lokal lufthastighet mellom ankel og hode.

4.4.9 Vertikallufttemperaturdifferanse PD%

Deretter beregnet PD%. Vertikallufttemperaturdifferanse PD% definert i NS-ISO 7730 og er prosentandelen av personer som er misfornøyde pga. vertikal lufttemperaturdifferanse (Standard Norge, 2005). For selve inndataene og beregningene vil referere til tabellene i vedlegg 16 og 17 for 07.02 og vedlegg 20, 21 og 22 for 21.04. PD% er beregnet etter formel 7 fra NS-ISO 7730 (Standard Norge, 2005).

4.4.10 Luftmengder og åpningsarealer

Naturligventilering

Det er utfordrende å få kontroll på luftmengder basert på naturligventilering. Her tenkte å ta en sjekk av vindusåpningene for det som er prosjektert kontra det som er nødvendige dimensjoner. Ved en sjekk av Window Master regneark fant ut at vinduene totalt har 4,68 m² åpningsarealer for tilluft ved Amfiet samt 2,34 m² åpningsarealer for tilluft ved Utstillingen. Det ble gjort noen beregninger for å se om de åpningene er nok i forhold til arealet og hvor mange vinduer er nødvendig for de arealene. I følge SBI anvisning 213 som er gjengitt av (Window Master, personlig kommunikasjon, 06.mars.2023) det effektive åpningsarealet bør være 1,5 % av gulvarealet for oppdrift og kryssventilliering. Det er brukt formlene [10](#), [11](#), [12](#) og [13](#) som er angitt i dette dokumentet fra Window Master (Window Master, personlig kommunikasjon, 06.mars.2023), for å sjakke de verdiene mot prosjekterte verdier.

$$A_{eff,n\ddot{o}dv} = A_{rom} * 0,015 \quad (10)$$

$$A_{geo,n\ddot{o}dv} = \frac{A_{eff,n\ddot{o}dv}}{cd} \quad (11)$$

$$A_{geo,per\ vindu} = l * (b + h) \quad (12)$$

$$Antall\ vinduer = \frac{A_{geo,n\ddot{o}dv}}{A_{geo,per\ vindu}} \quad (13)$$

l=Effektive åpningslengde [m]

b=Bredde på vindu [m]

h= Høyde på vindu [m]

cd= faktor= brukt 0,65 (Window Master, personlig kommunikasjon, 06.mars.2023)

Mekaniskventilasjon

Det ble også beregnet luftmengder for balansertventilasjon etter kravene i TEK 17 og en lav emisjon belastning på materialene, for samme personbelastningen som var til stede på bygget under målingene den 07.02.23, dvs. maks 31 person per lokal. Resultantene blir vist i resultatkapitlet.

4.5 IDA-ICE Simuleringer

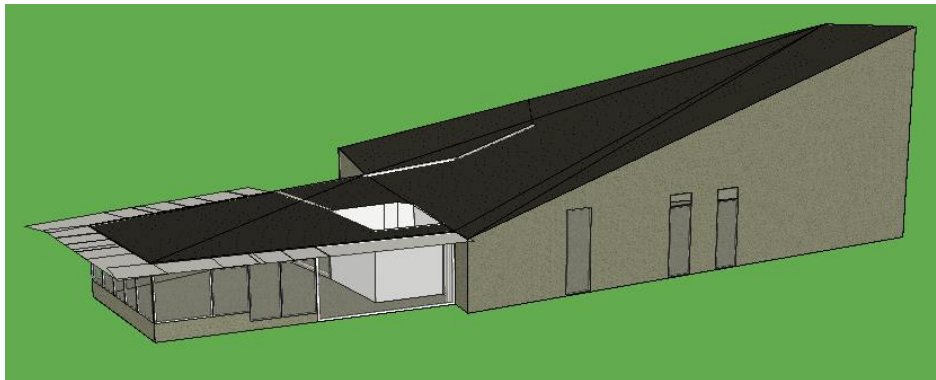
Det er brukt IDA-ICE versjon 4.8 SP2 for simuleringer. I IDA-ICE kan man foreta både inneklimate og energisimuleringer. I dette delkapittelet er det beskrevet fremgangsmåten for modelleringsprosessen og valgene som er gjort for inndata og modellene. Samt at det er simulert både foreliggende anlegg for verifisering og tiltaksmodeller for forbedring.

4.5.1 Importerbar modell

Det ble benyttet ifc-filen som var tilgjengelig på prosjektmappe hos Multiconsult (gamle Erichsen og Horgen), som grunnlag for modellen. Ifc-filen er forenklet i Navite Simple BIM programmet først. Siden IDA-ICE takler filformater til SketchUp (skp) bedre enn ifc, derfor konverterte ifc-filen til en skp-fil. Videre er denne skp-filen lastet inn i IDA-ICE. Da begynner jobben med å lage modellen videre i IDA-ICE.

4.5.2 Soner

Det er konstruert tre soner i modellen, en sone for Amfiet, en sone for utstillingen og en med toalettgjerner og garderobe. Toalettgjerner er ikke med for kartlegging av termisk inneklimate og er ikke interessant i oppgaven heller, men inkluderte den sonen også for simulering av energi hensyn. Sonene regnes hver for seg for inneklimate simuleringer, men energiberegninger for modellen omfatter hele bygget også de tre sonene. Figur 33 viser hele modellen i IDA-ICE fra østfasade. Detaljene om inputdata for modellen er beskrevet i delkapitlene under.



Figur 33: Modellen av hele bygget fra øst-fasade

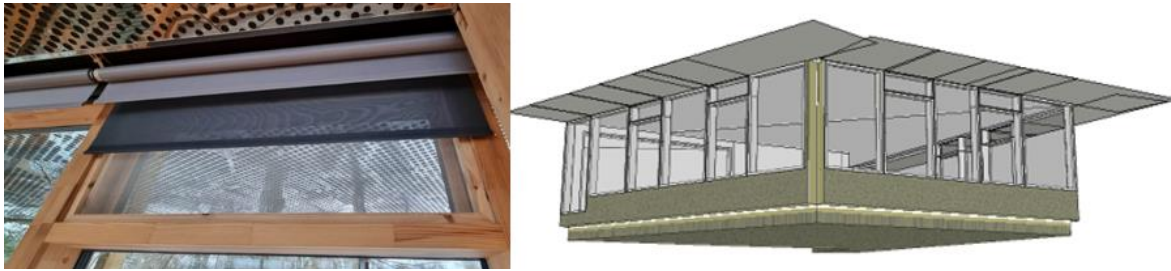
4.5.3 Klimafil

Bygningen er plassert på Tøyen i Oslo. Det er brukt klimafildata fra Blinderen i Oslo som er opprinnelig fra SINTEF (Schild, 2014). I tillegg til det så er det brukt malfilen til IDA-ICE fra Multiconsult. Denne malfilen er en template som har en del inndata ferdigintegret, disse er blant annet:

- Konstruksjonselementer
- Overflatereflektanser
- Vindustyper

4.5.4 Vinduer

Vinduene til Klimahuset består av to deler, den vindusdelen som kan åpnes ligger øverst og den nederste delen er fast uten åpningsmuligheter, figur 34 viser de modellerte vinduene i Amfiet og figuren til venstre i samme figur viser vinduene med innvendige solskjerminger.



Figur 34: figuren til høyre viser den modellerte vinduene i Amfiet og figuren til venstre viser vinduene i Utstillingen på øst-fasade

Det er seks vinduer som kan åpnes i Amfiet, to vinduer i hver fasade og tre vinduer som kan åpnes i Utstillingen. Vinduene har blitt prosjektert med screen-duk montert i styreskiner med tilhørende automatikk/styring som utvendig solskjerming for kun Amfiet. Men det er bygget med to stk. innvendige solskjerminger, en mørkegrå og en gjennomsiktig sort, bilde av vinduene er også vist i vedlegg 10. Vinduene til Amfiet har overheng på ca. to meter, figur 34 viser også det modellerte overhenget i IDA-ICE.

Ifc-modellen har ikke vært så informativ og hadde ikke noe detaljert info om materialer og typer på komponenter og objekter. Det har heller ikke vært tilgang til noe utstyr /materialister. Det er derfor tatt antagelser for valg av innvendige solskjerminger i IDA-ICE basert på g-verdien. Den grå solskjermingen er et ganske tett og tyktstoff som blokkere veldig mye. Derfor er det valgt 0,47 for g-verdien sammenlignet med solskjerminger i IDA-ICE. Glasstypen og øvrige materialinfo om glasset er valgt etter en IDA-ICE-fil fra prosjekteringsfasen fra Erichsen og Horgen som ligger i tabell 9. Om U-verdien står i avsnittet under. Styling på innvendige solskjermingen er satt via sol med en effekt på 175 [W/m²] som er standardverdi fra NS 3031 (Standard Norge, 2014a).

Tabell 9: Glass info ved IDA-ICE

Glass info ved IDA-ICE	
Glasstype	Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SS132+ar+PLANITHERM ULTRA1-G 0,38
Glazing U-value	0,88
g. Solar Heat Gain Coef (SHGC)	0,38
T, Solar transmittance	0,32
Tvis, Visible transmittanse	0,61
Internal emissivity	0,837
External emissivity	0,837

4.5.5 U-verdier

Det er lagd egendefinerte konstruksjoner for å få de riktige U-verdiene. U-verdiene i tabell 10 er prosjektert/som bygget verdier som er hentet fra noatatet NOT-RIEN-01 (Erichsen og Horgen, personlig kommunikasjon, 2020), disse er også brukt i modellen.

Tabell 10: Minstekrav for enkeltkomponenter for Klimahuset og fra TEK17

	Klimahuset	Minstekrav
U-verdi yttervegg [W/m ² K] - gjennomsnitt	0,12	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]	0,10	0,18
U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,07	0,18
U-verdi vindu/dør/glassfelter [W/m ² K]	0,88	1,2
Infiltrasjon ved 50 Pa [h ⁻¹]	0,73	1,5

4.5.6 Belastninger

Personbelastning

NS 3031 stiller krav til driftstider i tabell A.3. Men siden Klimahuset er åpent alle dager inkludert lørdager og søndager er det lagt inn virkelige driftstider. For personbelastninger har det blitt tatt utgangspunkt i den måledagen den 07.02, alle schedulene som er brukt ligger i vedlegg 33. Den maksimale tilstedeværelsen som registrert den dagen var 31 personer, derfor ble dette brukt som underlag for maks personbelastning i lokalene i IDA-ICE. Det ble brukt 1,2 met og 0,75 for clo. For personbelastningschedule har det blitt brukt to schedule for de ulike modellene. For verifiseringsmodellen er det brukt reelle personbelastninger fra måledagen 07.02 og for de øvrige tiltaksmodellene er det antatt en antagelse for bruk samt bilde av disse ligger i vedlegg 33 og 34. Driftstiden for ventilasjonen er satt fra kl. 9-17 alle dager inkludert ferier. De er også åpent på søndager. På klimahuset skrur alle systemene av når de stenger kl. 17. Basert på disse opplysningene regner IDA-ICE ut produksjonen av CO₂ samt varmetilskudd.

Utstyr og belysning

Det som simuleres er de reelle inndataene. Men noen verdier kan hentes fra standardene. I tabell 11 er det tatt utgangspunkt i standardverdier for internlaster for kulturbygg fra NS 3031 i tabell A.2 (Standard Norge, 2014a). Men det er tatt en vurdering for dette bygget med hensyn til reelle bruk og utstyr. På Amfiet er det nesten ingen utstyr bortsett fra en skjerm og den er kun i bruk i spesielle anledninger. Men på Utstillingen er det høye skjermer som spilles på med et fast tidsintervall. Det blir ikke brukt så mye belysning i bygget heller. Amfiet har tre glassfasader og er eksponert for veldig mye dagslys så det blir ikke brukt så mye lys der. Utsilingen har også sorte overflater og hvite skjermer og generelt skal det være mørkt der og blir ikke brukt så mye belysning heller. Så derfor har det blitt vurdert en halvering for internlaster for belysning i Utsillingen og en fjerdedel i Amfiet. Det er ingen utstyr på toalettkjerner heller, derfor satt den til 0. Disse verdiene for utstyr og belysning som er brukt i IDA-ICE ligger i tabell 11.

For tettheten og schedulen til utstyr og belysning er det tatt en vurdering basert på erfaringer fra besøkmønster til bygget og tatt en antagelse som ligger i vedlegg 33 og 34.

Tabell 11: Internlaster

Internlaster					
Rom/lokal	Areal [m ²]	Krav i NS 3031 belysning [W/m ²]	Krav i NS 3031 Utstyr [W/m ²]	Brukt verdi i IDA-ICE, belysning [W/m ²]	Brukt verdi i IDA-ICE, Utstyr [W/m ²]
Amfiet	117,1	8	1	2	1
Utstillingen	411,1	8	1	4	1
Toaletter/garderobe	65,42	8	1	2	0

4.5.7 CO₂, Luftmengder, varme

CO₂-settpunktene er kommunisert med Window Master for nåværende løsning. I tabell 12 vist sett-punkter som er satt for diverse modeller og scenarier.

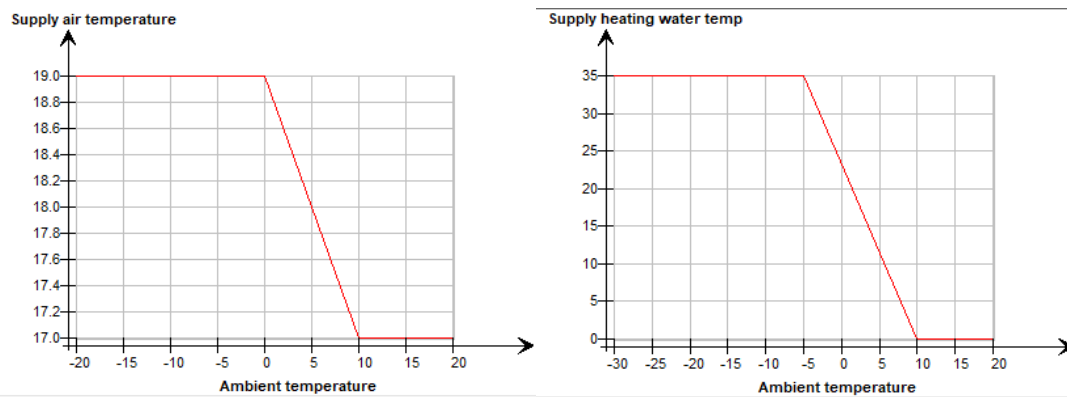
Luftmengdene er beregnet etter minste kravene i TEK 17 for max 62 personer med belastning for hele huset, samt resultatene er vist i avsnitt 5.2.9 i tabell 16. Videre er disse resultatene blitt brukt i IDA-ICE, men disse luftmengdene er endret på iht. resultatene fra simuleringene. Blant annet økt på luftmengdene for å redusere på antall timer, under 50 h med 26 [°C]. Den endelige luftmengder som ligger i modellene er i tabell 12.

Varme

Det er egentlig Gulvvarme på hele Klimahuset, men det ble litt trøbbel med å simulere med gulvvarme. Temperaturene ble veldig lave i rommet uansett hvor mange mulige effekter og temperaturer som ble brukt. Derfor er det dimensjonert varmebehov og effekter med vanlig radiatorkilde til oppvarmingen i IDA-ICE. Effektene forelå fra 18-59 [W/m²]. Settpunkter for romtemp er vist i tabell 12 for diverse modeller. Det antas en grad for vifteforvarming. Det er verken simulert solseller eller grunnvarme, siden de er ikke koblet til SD-anlegget heller. Så det er en del effekter fra solseller og grunnvarme som ikke ligger i simuleringer. Men det er kontaktet en energirådgiver hos Norconsult som hadde et oppdrag for solsellene på Klimahuset. Sellsellene på klimahuset har sluttet å loggføre fra 2022. Basert på hennes observasjoner av solselleanlegget så kan det forventes ca. 30 [kWh/m²/år] (Norconsult, personlig kommunikasjon, 24.04.23). Dette er blitt brukt i energivurderingen.

Diverse innputt

Schedulen for varme og kjølebatteri er satt til 100% belastning for hele året, mens viftene er satt til en driftstid fra kl. 9-17. Det er også forutsatt noen temperaturer for varighetskurvene for tilluftstemperaturen og varmtvann for varme, som er vist i figur 35. Standardverdi for varmtvann fra NS 3031 for kulturbygg og kontorbygg er satt til hhv. til 10 og 5 [kWh/(m².år)]. Det er tatt en vurdering på det for Klimahuset til 2 [kWh/(m².år)], siden det er veldig lite bruk av varmtvann på huset.



Figur 35: Figuren til venstre er varighet for tilluftstemperaturer og figuren til høyre er varighetstemp for varmtvann

Døråpning

For inngangsdøren er det laget en schedule som er brukt i alle modellene. Det er antatt at døren åpnes med 3 minutter i 100% stilling hver time i drifttiden på bygget. I virkeligheten vil dette variere veldig fra dag til dag og fra antall besøkende, sesonger osv. På sommer sesongen har de ofte åpent dør hele dagen i følge ansatte.

Det samme gjelder for dørene mellom Amfi og Utstillingen. Det er antatt en døråpning for hver halvtime åpen og hver halvtime lukket i driftstiden, men dette er kun en antagelse og varigheten vil variere i virkeligheten.

4.5.8 Konstruerte ventilasjonsenarioer

Modellen er konstruert i to omganger:

- En gang for å verifisere modellen, og simulert en modell for måledagen 07.02.23
- Andre gangen simulert tre modeller for tiltak og for å sammenligne svarene mellom tiltakene. De tre senarioene for tiltak er følgende:
 - Senario 1: Full mekaniskventilasjon
 - Senario 2: Mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + pulsventilering i vår og høst i driftstiden og nattventilering i juli
 - Senario 3: Mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + nattkjøling og utetempkontroll

Diverse settpunkter, luftmengder og informasjon om styringene om IDA-ICE-modellene for ventilasjonsenarioer er vist i tabell 12. I underliggende delkapitler er det beskrevet metoder for hvordan disse modellene fungerer og styres.

Tabell 12: Sett punkter, luftmengder og info om IDA-ICE modellene

Sett punkter, luftmengder og info om IDA-ICE modellene					
IDA-ICE modeller	CO ₂ settpunkter		Driftstid		Utenomdriftstid
	Min	maks	Romtemp min driftstid/uten [°C]	Romtemp max [°C]	Romtemp min[°C]
Verifisering av modell					
Naturligventilasjon ligger i grunn med hjelp av mekaniskventilasjon					
Naturligventilasjon settpunkt	650 ppm	700 ppm	21	23	
Mekaniskventilasjon settpunkt	700 ppm	1000 ppm	21	23	
Luftmengder Amfi [L/s.m ²] VAV	0	2.7			
Luftmengder Utstilling [L/s.m ²] VAV	0	1.2			
Luftmengder toalettkerne [L/s.m ²] CAV	0.2	0.2			
Driftstid for ventilasjonen 8:30-17:00					
Internlaster for person, utstyr og belysning	Tabell 11				
Schedulen til person, utstyr og belysning	Vedlegg 33				
Modeller for tiltak					
1) Full mekaniskventilasjon					
Mekaniskventilasjon settpunkt	600 ppm	950 ppm	21	23	19
Luftmengder Amfi [L/s.m ²] VAV	1.5	5.5			
Luftmengder Utstilling [L/s.m ²] VAV	1.4	2.5			
Luftmengder toalettkerne [L/s.m ²] CAV	0.2	0.2			
Driftstid for ventilasjonen 9-17:00					
Internlaster for person, utstyr og belysning	Tabell 11				
Schedulen til person, utstyr og belysning	Vedlegg 34				
2) Mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + pulsventilering i vår og høst og nattventilering i juli					
Mekaniskventilasjon settpunkt	600 ppm	900 ppm	21	23	20.mai- 15.sep, 16 Ellers 19
Naturligventilasjon settpunkt	950 ppm		24		
Luftmengder Amfi [L/s.m ²] VAV	1	3.5			
Luftmengder Utstilling [L/s.m ²] VAV	1	1.5			
Luftmengder toalettkerne [L/s.m ²] CAV	0.2	0.2			
Driftstid for ventilasjonen 9-17:00					
Internlaster for person, utstyr og belysning	Tabell 11				
Schedulen til person, utstyr og belysning	Vedlegg 34				
3) Mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + nattkjøling og utetempkontroll					
Mekaniskventilasjon settpunkt	600 ppm	900 ppm	21	23	1.mai- 15.sep, 16 Ellers 19
Naturligventilasjon settpunkt	950 ppm		24		
Luftmengder Amfi [L/s.m ²] VAV	1	3.5			
Luftmengder Utstilling [L/s.m ²] VAV	1	1.5			
Luftmengder toalettkerne [L/s.m ²] CAV	0.2	0.2			
Driftstid for ventilasjonen 9-17:00					
Internlaster for person, utstyr og belysning	Tabell 11				
Schedulen til person, utstyr og belysning	Vedlegg 34				

4.5.8.1 Verifiseringsmodell

Systemet til klimahuset er basert på naturligventilasjon med hjelp av vindusåpning og mekaniskventilasjon. Det er lagd en makro for vindusåpningsstyringen som ligger i vedlegg 27. Makroen fungerer basert på en PI-regulering og når enten romtemp overstiger 21 [°C] eller CO₂-en overstiger 650 ppm vil vinduene åpne seg gradvis til å tilfredsstillende settpunktene. Denne Max-kontrollen sørger for at fra signalene 0-1 tar den største verdien og blir aktivert basert på det. Mekaniskventilasjonen er satt til 700 ppm. Dvs. det er først vinduene som åpner seg og hvis ikke det er nok så blir mekaniskventilasjonen på. Slik fungerer bygget i dag.

4.5.8.2 Tiltaksmodellene

1) Full mekaniskventilasjon

For full mekaniskventilasjonen fungerer systemet etter settpunktene som er satt for mekaniskventilasjonen og vinduene er satt på stengt for alltid. Detaljene ang. settpunkter og luftmengder ligger i tabell [12](#).

2) Mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + pulsventilering i vår og høst og nattkjøling i juli (Hybridventilasjon)

Mekaniskventilasjonen ligger som basisventilasjon, hvis ikke det hjelper får de bidrag fra vindusåpning. Info om settpunktene og luftmengder ligger i tabell [12](#). I dette scenario er alltid mekaniskventilasjonen på som basisventilasjon med settpunkt på 600/900 ppm som min/max. Romtemp er satt på en max grense på 24 [°C] og 950 ppm for CO₂ for åpning av vinduet i driftstiden. Hvis en av disse 24 [°C] og 950 ppm går over så vil vinduene åpne seg i driftstiden. For denne styringen er det laget en makro og diverse åpningsgrader i forskjellige tidspunkter, bilde av alt dette ligger i vedlegg [25](#). Det er laget schedule for styringsstrategien som er oppsummert i tabell [13](#).

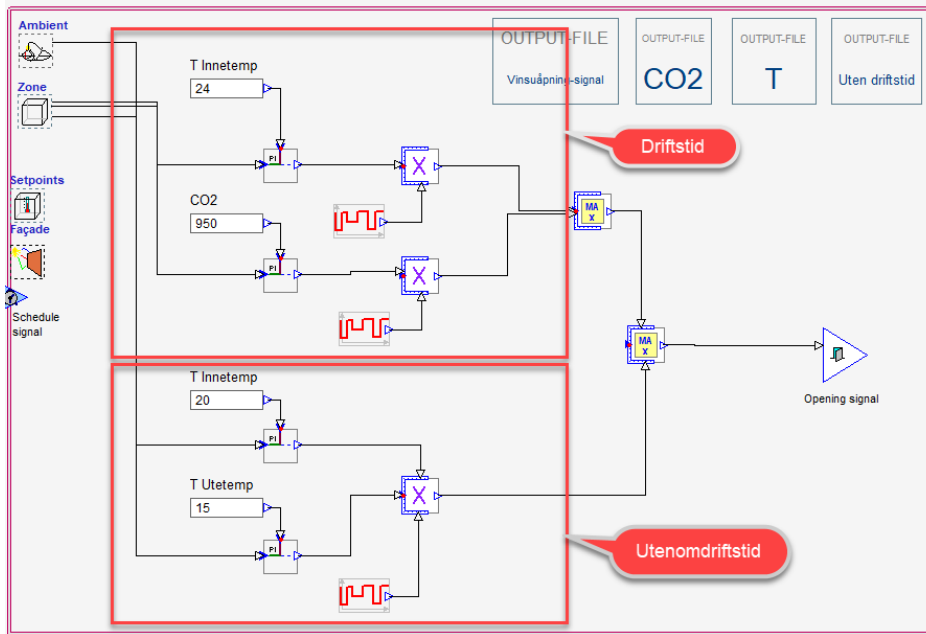
En pulsventilering i august og juni i driftstiden med fem minutter vindusåpning tre ganger med 100% åpningsgrad i løpet av dagen. En annen pulsventilering i mai og sept i driftstiden med fem minutter vindusåpning tre ganger med 20% åpningsgrad i løpet av dagen. Pluss at det er satt en schedule for kontinuerlig åpning av vinduene i hele juli, men 100% åpning i driftstiden og 50% i hele utenomdriftstiden når utetemperaturen er minst 15 [°C], for å få ned innnetemperaturene på den verste tida. Det som skjer i makroen, er at først tar den max verdien fra settpunktene i driftstiden, også etterpå sjekker schedulene til vår/høst og sommer når utetemperaturen er minst 15 [°C] og ganger dem sammen. Deretter tar den max verdien og slår ut for vindusåpning.

Tabell 13: Pulsventilering + nattventilering strategi når utetemp er høyere enn 15[°C]

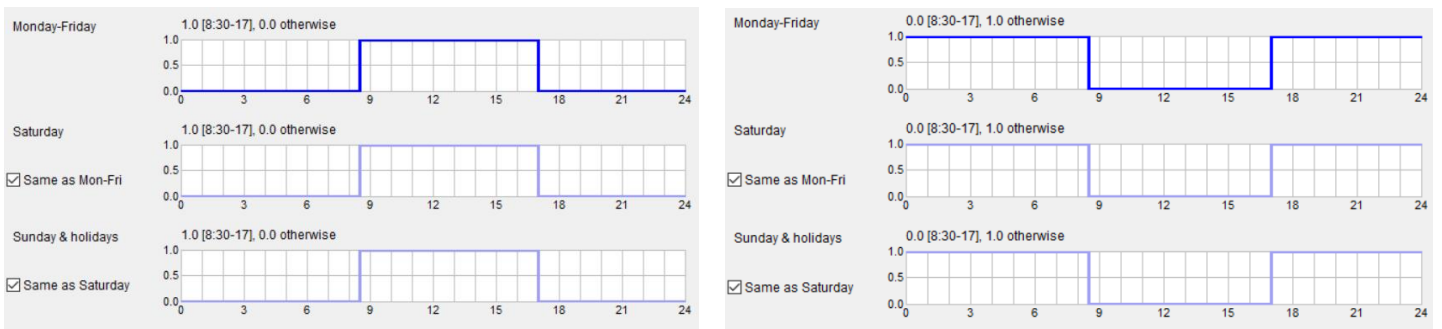
Når utetemperaturen er høyere enn 15 [°C]				
Måned	Driftstid		Utenomdriftstid	
	Åpningsgrader på vindu	Klokkeslett for åpning	Åpningsgrader på vindu	Klokkeslett for åpning
Mai	20 %	10,12 og 14 i 5 minutter	0 %	Stengt
sep	20 %	10,12 og 14 i 5 minutter	0 %	Stengt
juni	100 %	10,12 og 14 i 5 minutter	0 %	Stengt
aug	100 %	10,12 og 14 i 5 minutter	0 %	Stengt
juli	100 %	hele driftstiden	50 %	Hele utenomdriftstiden

3) Mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + nattkjøling og utetempkontroll (Hybridventilasjon)

I dette scenarioet er alltid mekaniskventilasjonen på som basisventilasjon med settpunkt på 600/900 ppm som min/max. Romtemp er satt på en max grense på 24 [°C] og 950 ppm for CO₂ for åpning av vinduer, referer til tabell [12](#) for inndataene av modellen. Hvis en av disse 24 [°C] og 950 ppm går over så vil vinduene åpne seg i driftstiden, men vinduene bør også åpnes utenom||driftstiden. Figur [36](#) viser makroen for denne styringen og figur [37](#) viser schedulen for driftstider og utenomdriftstider. For utenom driftstiden er satt en schedules med noen settpunkter. Dvs. når innnetemperaturen er høyere enn 20 [°C] og utetemperaturen er høyere enn 15 [°C] så kan vinduene åpnes. Dette vil skje mye om natta når temperaturene faller. Det er vindusåpning både i driftstiden og utenomdriftstiden, men for utenomdriftstiden er basert på inne- og utetemperatur som gir utsignal for åpning av vinduene.



Figur 36: Makro for vindusåpning i driftstid med settpunkter og tider og utenomdriftstid med nattekjøling og utetempkontroll



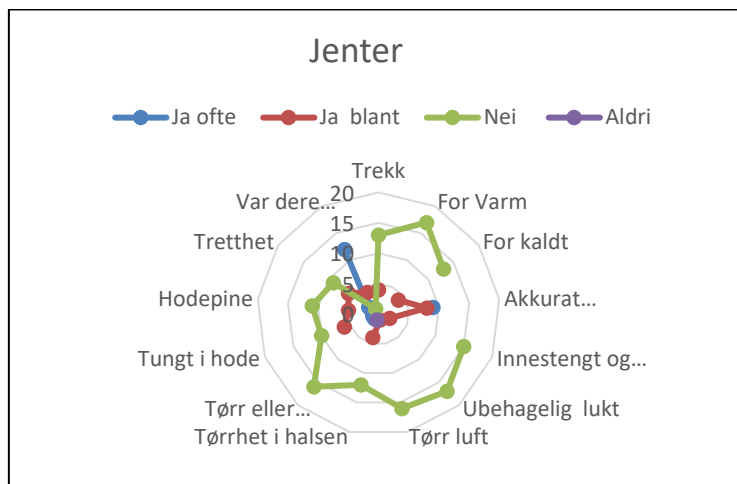
Figur 37: Figuren til venstre er schedulen for driftstiden og figuren til høyre er schedulen for utenomdriftstiden

5 Resultat

I dette kapitlet er skrevet og presentert alle resultater fra metodene som er beskrevet i metodekapitlet. I tillegg til at det er bearbejdet tiltak for bygget med IDA-ICE simuleringer, hvor dette blir også representert i dette kapitlet. Det er også blitt en vurdering for energi og eventuelle energibesparelser for diverse styringsstrategier. Resultatene av energisimuleringer blir også representert i dette kapitlet.

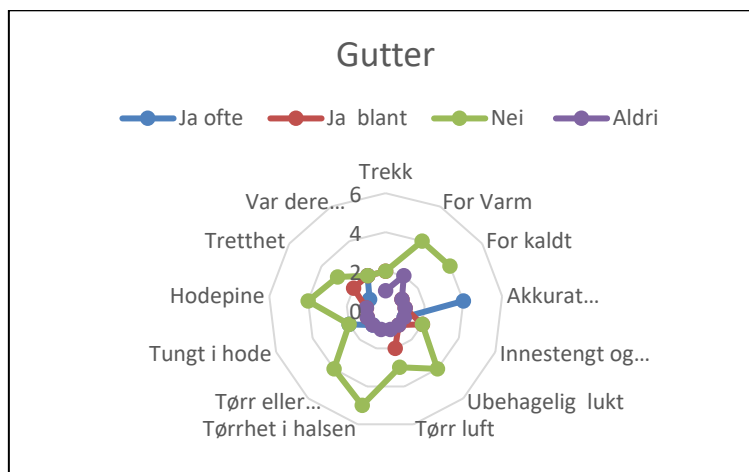
5.1 Resultatet av spørreundersøkelsen

Resultatene fra spørreundersøkelsen viser ikke noe tydelig tegn på feil, viser til figur 38 og 39. En liten andel av jentene hadde noe tegn på tørr i halsen, noe hodepine, tungt i hode og tretthet. Men en stor andel har vært fornøyd med temperaturene.



Figur 38: Svarene fra jenteandelen for spørreundersøkelsen

Gutteandelen var få, og svarene var veldig spredt. Men det ser ut som de hadde mindre av tungt hode og tørr hals, og halvparten av dem var fornøyd med temperaturene.



Figur 39: Svarene fra gutteandelen for spørreundersøkelsen

5.2 Resultatet av målinger

For de totale dataene fra resultatene for både målte og beregnede verdier referer til tabellene i vedlegg 16 og 17 for målinger den 07.02.23, samt referer til vedlegg 20, 21 og 22 for samme dataene for målinger den 21.04.23. Det totale resultatene er oppsummert i tabell 14, hvor det i delkapitlene under går mer inn i dybden på hvert enkelt av dem og inneklimate parametere er sammenlignet med kategori B bygg i tabell A.1 i NS-ISO 7730 (Standard Norge, 2005).

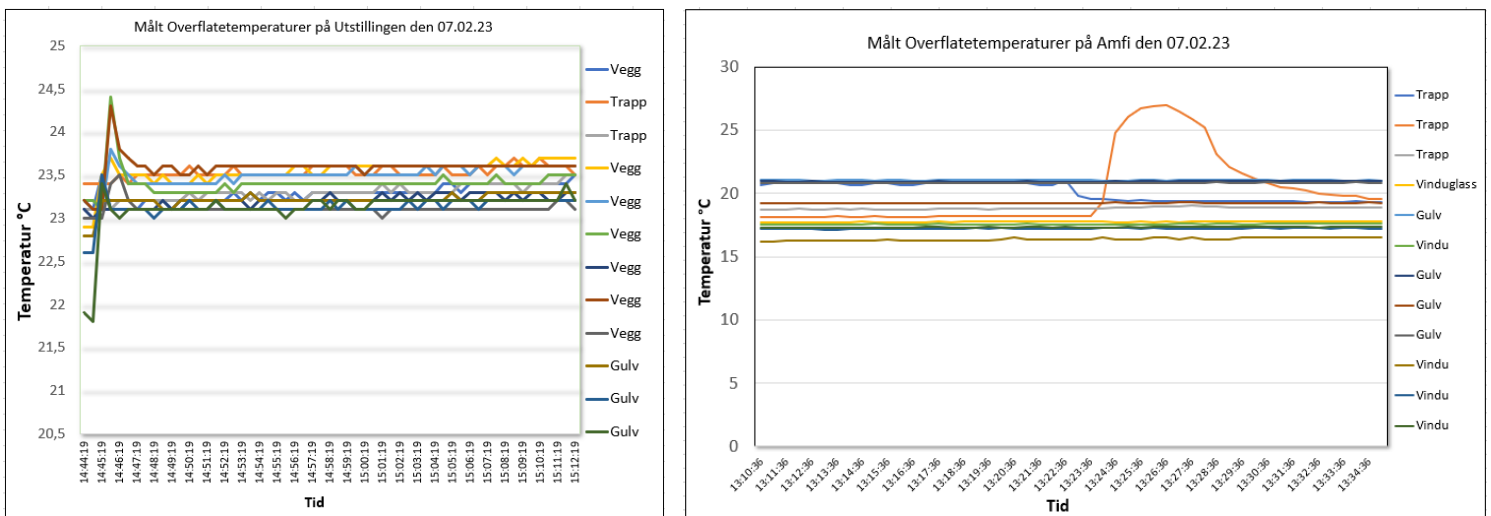
Tabell 14: Sammenligning av totale resultater og beregnede verdier mot krav

Totale resultater fra begge rundene med målte og beregnede verdier									
Resultatene fra 07.02.23 sammenlignet med krav	Operativtemp [°C]	CO2 [ppm]	RH%	Temperatur gradient	Lufthastighet ved ankelhøyde	Luft hastighet ved pustehøyde	PPD%	DR%	PD%
Standard krav	19-26	1000	35-40	<5	0.15	<0,15	<10	<20	<10
Amfi	19,15-20,4	800-1212	30-39	0,1-1,6	0,017-0,148	0,01-0,34	11,1%-29,6%	0%-24,21%	0,2%-1,4%
Utstilling	22,91-23,08	1379-1896	25-36	0,2 -1	0,01-0,227	0,006-0,145	5%- 6,8%	0%-18,74%	1,7%- 4,6%
Resultatene fra 21.04.23 sammenlignet med krav									
Amfi	21,08-22,34	952-1290	23,8-28,8	0,2-2,4	0,042-0,451	0,022-0,153	5,2%-22,5%	6,19%- 27,18%	0,4%- 2,4%
Utstilling	22,09-23,94	884-1038	24,3-27,7	0,4-1,4	0,017-0,104	0,006-0,108	5,03%-5,90%	0%- 3,23%	0,1%- 0,7%

5.2.1 Overflatetemperaturer

Figur 40 viser resultatene fra overflatetemperaturer. Resultatene viker normale med tanke på gulvvarme i hele huset. Hele gulvet er gulvvarme, og på de overflatene er det målt alt mellom 23 til 23.6 [°C] på Utstillingen. Overflatene på Amfiet har hatt noe lavere temperaturer. Dette lokalet er nærme utgangen og rondellen. Det gjør at åpninger av døra på vintertid vil påvirke overflatetemperaturen noe, samt det er tre fasader med glass. Temperaturene på gulvet på Amfiet har ligget rundt 20 [°C], mens vindusoverflatene har ligget mellom 16,3 til 17,8 [°C].

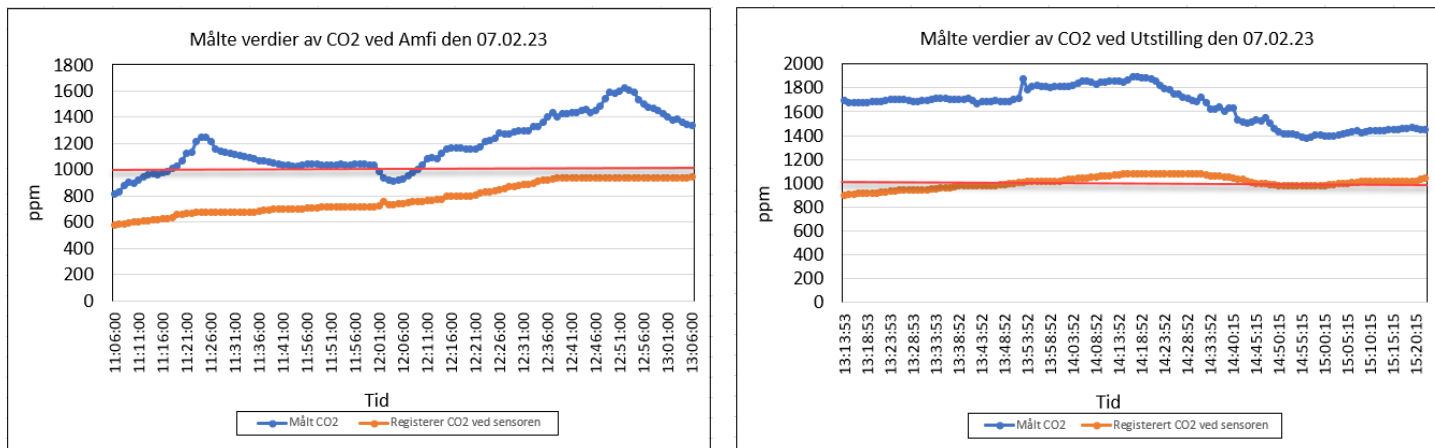
På Amfiet ser vi et hopp ved en av trappene, som virker veldig realistisk. For det kom en jente inn og satt seg rett ved trappa nesten ved den ledningen, noe som påvirker Thermocouplet.



Figur 40: Figuren til venstre viser målt overflatetemperaturer i Amfiet og figuren til høyere er målte overflatetemperaturer ved Utstillingen den 07.02.23

5.2.2 CO₂

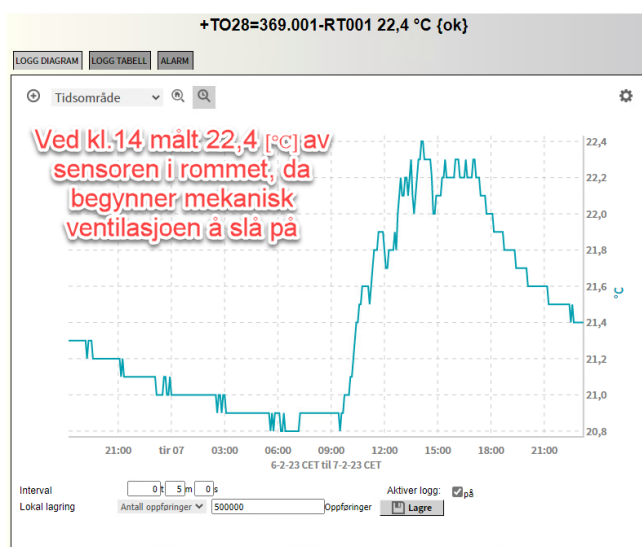
Resultatene for CO₂-nivået fra målingene utført 07.02.23 vises i figur 41 og viser at CO₂-nivået ved Amfiet har vært på et nivå ved 800 ppm ca. 11 tiden, den begynner å stige frem til 1212 ppm da det kommer inn en klasse på 29 elever, deretter begynte det å avta da de går ut til Utstillingsarealene. Fra litt over kl. 12 kommer en ny klasse inn i Amfiet med 30 stk. og dette gir utslag på målingene frem til nærmere kl. 13 med høyeste utslaget på 1606 ppm, også begynner det å avta når hele klassen går ut i Utstillingsarealene.



Figur 41: Figuren til venstre viser CO₂-nivået ved Amfi og figuren til høyere viser CO₂-nivået ved Utstillingen, sammenlignet med krav fra arbeidstilsynet «Inneklima og luftkvalitet på arbeidsplassen» (Arbeidstilsynet, u.å.)

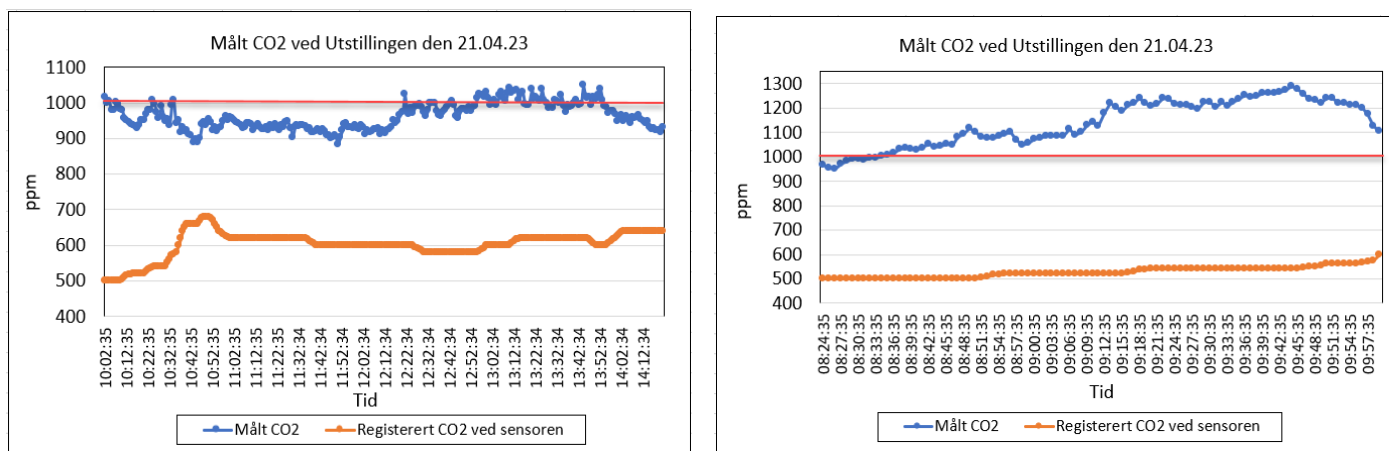
CO₂-nivået har ligget over kravet på 1000 ppm (Arbeidstilsynet, u.å.) på den mest belastede tiden av dagen. Den oransje grafen er målte verdier ved sensoren i rommene. Det viser et stort avvik mellom målte og registrert ved sensoren. I tillegg er de målte verdier mer variable og følsomme, mens sensoren har veldig flat kurve, hvor tider på at det er lite oppløsning og et stort måleintervall. Kommer tilbake til dette.

I Utstillingen har nivået vært høyt hele tiden med høyeste nivå kl. 14:17 med 1895 ppm, nesten en dobling fra kravet, deretter begynte målingene å avta ved ca. kl. 14 når skoleelevene begynte å forlate lokalene. Mekaniskventilasjonen har også blitt slått på kl. 14:05, da har sensoren i rommet målt 22,4 [°C] og ca. 1040 ppm. Se figurene 42 og 44 for hhv. registrerte temperaturer, CO₂-nivået og balansertluftmengder fra SD-anlegget på utstillingen den dagen. Mekaniskventilasjonen slår seg av 14:50, og da registrerte temperaturen og CO₂-nivået i Utstillingen fra sensoren har vært på hhv. 22 [°C] og 980 ppm, referer til vedlegg 28 for vedlagte grafer fra SD-anlegget. Det virker som at ved CO₂-nivået over 1000 og temperaturer over 22 [°C], vil mekaniskventilasjonen slå seg på. Usikkerheten til sensoren er ± 1,0 °C ved 0 ...50°C og ±150 ppm. Se FDV-en til sensoren i vedlegg 32.



Figur 42: Figuren viser romtemperaturene registrert av sensoren fra SD-anlegget ved Utstilling den 07.02.23

To uker før runde nr. 2 med målinger, var sensorene byttet ut av Window Master. For antall folk til stede vil jeg referere til tabell 6 og 7. Men resultatene fra målinger viser at det er fortsatt et avvik mellom målteverdier og registrertverdier ved sensoren i begge lokalene samt at det er målt høye CO₂-niver. Viser til figur 43. Det er også lite oppløsning ved sensorene.



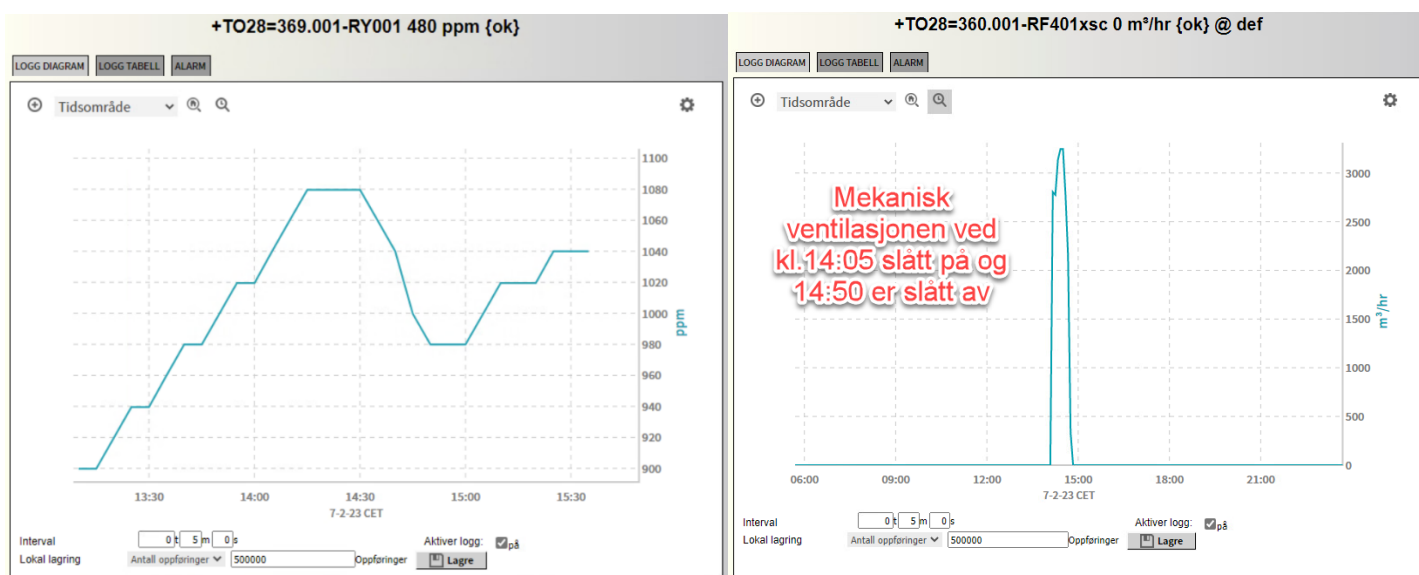
Figur 43: Figuren til venstre viser CO₂-nivået ved Amfi og figuren til høyere viser CO₂-nivået ved Utstillingen, sammenlignet med krav fra arbeidstilsynet «Inneklimate og luftkvalitet på arbeidsplassen» (Arbeidstilsynet, u.å.)

5.2.3 Feil ved sensor

Men det som var oppsiktsvekkende var at sensoren i rommene hadde målt annerledes verdier enn selve målingene. Som vi ser av grafen i figur 44, sensoren målt ca. 1080 ppm på sitt høyeste i samme tidsrom som målingene utført i Utstillingen, mens målingen viser 1895 ppm.

Ved Amfiet på SD-anlegget har det blitt registrert ca. 970 ppm på sitt høyeste i samme tidsrom som målingene foregikk, mens målingen viser 1606 ppm på sitt høyeste.

Det er usikker her, er nøyaktigheten til SD-anlegget, men totalt sett dette betyr at det er et avvik mellom mine målinger og sensoren sine målinger i rommene. Det var 636 ppm avvik for Amfiet og 815 ppm avvik for Utstillingen. Dvs. at sensorene hadde målt lavere verdier med hhv. 40% for Amfiet og 43% for Utstillingen.



Figur 44: Figuren til venstre viser CO₂-nivået registrert ved sensoren fra SD-anlegget ved Utstilling den 07.02.23 mens figuren til høyre viser bidraget fra mekanisk ventilasjon for samme dag

Dette fikk meg til å undersøke sensoren litt nærmere. Det ble foretatt en ny måling den 10.02.23 rett ved sensoren for å bekrefte at sensoren måler feil. Målingene ble tatt ca. 12:30 den dagen rett ved sensoren. For bilder av sammenligning av SD-anlegget og målte verdier av både Amfiet og Utstillingen referer til vedlegg

26. Figur 45 viser bilde av sammenligningen for Utstillingen. Det var tydelig at sensoren målt feil iht. måleinstrumentet. Målingen ved instrumentet viste 978 ppm mens sensoren hadde registrert 460 ppm i samme tidspunkt. Dette er et avvik på 518 ppm, dvs. sensoren registrert kun 47% av det som er målt ved måleinstrumentet. Etter disse resultatene, ble Window Master kontaktet ang. sensorene og det ble bestilt en service fra en tekniker for Klimahuset. De bekreftet at det er noe feil med sensorene og sensorene kan ikke kalibreres, de har byttet ut sensorene.

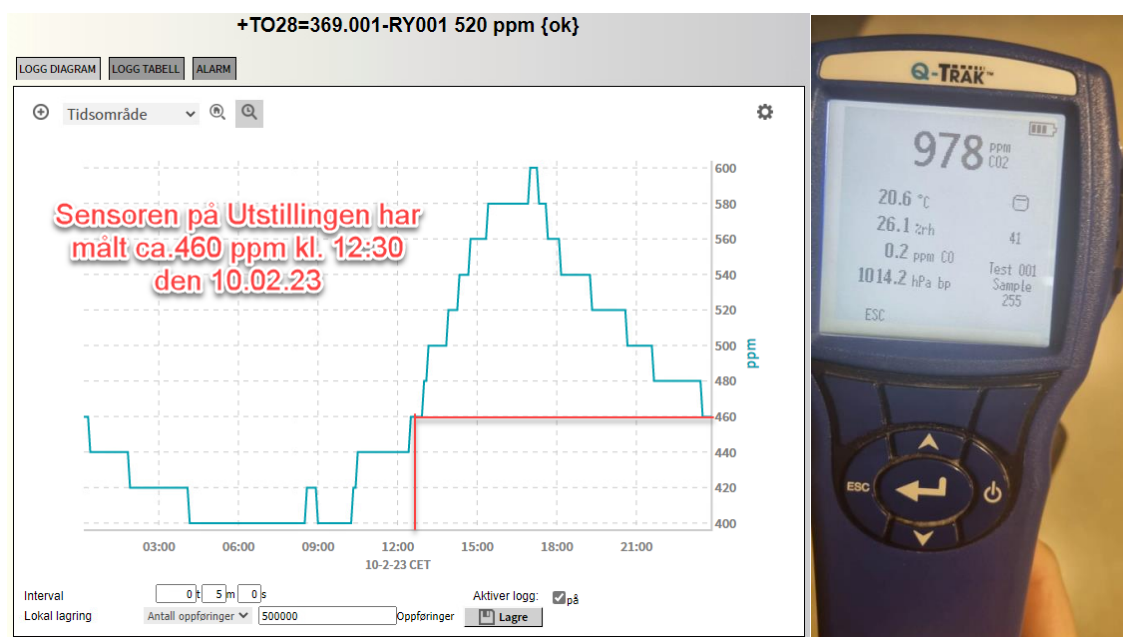
Men de har også senket sett-punktene en del som står litt mer beskrevet i avsnitt 4.1.8.

Avviket for Amfiet var 589 ppm, dvs. sensoren registrert kun 41% av det som er målt ved måleinstrumentet. Det ble også sett på ppm-ene og vindusåpningsgradene for vinduer for hele 2022 se vedlegg 24. Der viser at i hele 2022, det høyeste som er målt er 836 ppm for Utstillingen og 982 ppm i Amfiet. Dette kan umulig ha vært riktig med de klagenes som ansatte og forbrukerne hadde.

Med dette vil bekrefte at sensorene måler veldig lavt i forhold til en virkelig situasjon, og kan nettopp også være en av årsakene til klagenes fra brukerne og at hverken mekaniskventilasjonen eller vindusåpning slår på ved riktig behov og riktig tidspunkt.

En annen ting som er viktig å merke seg her er at mekaniskventilasjonen er blitt aktivert ca. kl. 14 den dagen og er aktiv i nesten en halv time, den slår seg av 14:30, det høyeste som er blitt levert er 3248 [m³/h]. Se figur 44 for å se på effekten av mekaniskventilasjon på CO₂-konsentrasjonen. CO₂- konsentrasjonen begynner å falle raskt etter at den mekaniskventilasjonen slås på.

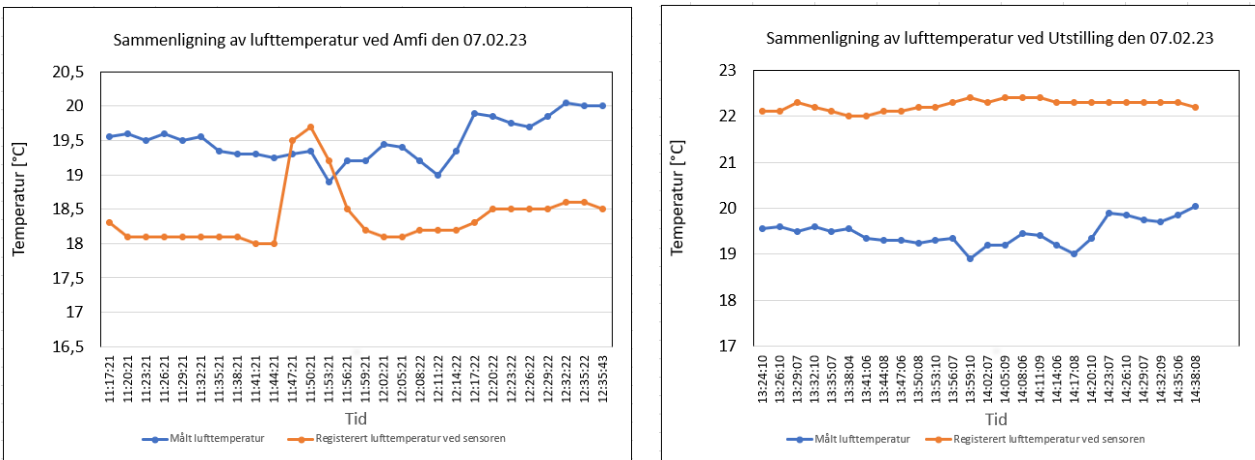
Men det som er rart er at det har vært litt forbedring etter at sensorene er blitt byttet ut, men ikke helt og fullt, det er fortsatt høye CO₂-konsentrasjoner og et stort avvik mellom målte verdier og registrerte verdi ved sensoren, som er ikke undersøkt videre hvorfor dette skjer.



Figur 45: Grafen til venstre viser CO₂-nivået registrert av sensoren fra SD-anlegget ved Utstilling den 10.02.23, mens bilde til høyre viser målt CO₂-nivået ved instrumentet

Temperaturer

Etter CO₂ ble det også registrert lufttemperatur ved sensorene sammenlignet med målte verdier. Det er en del avvik mellom disse verdiene her også, viser til figur 46.

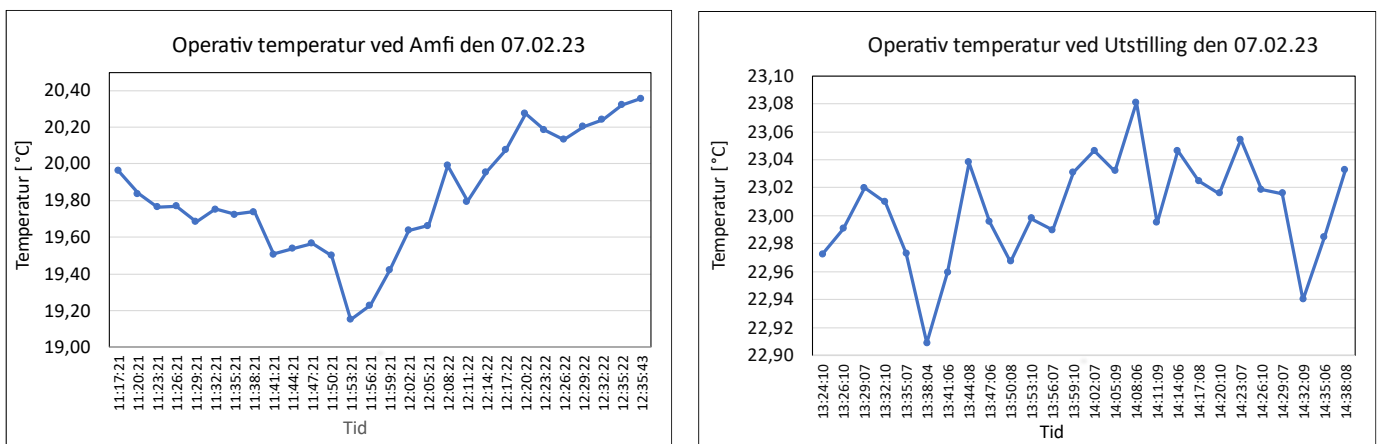


Figur 46: Sammenligning av temperaturer ved sensor og målte verdier for både Amfiet og Utstillingen

Det ble også sjekket settpunkter for sommerdriften ved SD-anlegget ved å se på sammenhengen mellom innetemperaturen og åpninger på vinduene. Se vedlegg 31 for vedlagte grafer fra innetemp. og åpningsgraden på vinduene for en hel uke i juli i 2022. Det ser ut som settpunktet er på 21 [°C] ved sommerdriften også. Dvs. at settpunktet for både vinter og sommer ligger på 21 [°C].

5.2.4 Operativ temperatur

Operativ temperatur er beregnet etter metoden som er beskrevet i avsnitt 4.4.2, resultatene er vist i figur 47. Den operative temperaturen i Amfiet har ligget mellom 19,15-20,4 [°C], noe som oppfyller TEK 17 kravene (*Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*, 2020) og arbeidstilsynetskrav «*Inneklimate og luftkvalitet på arbeidsplassen*» (Arbeidstilsynet, u.å.).

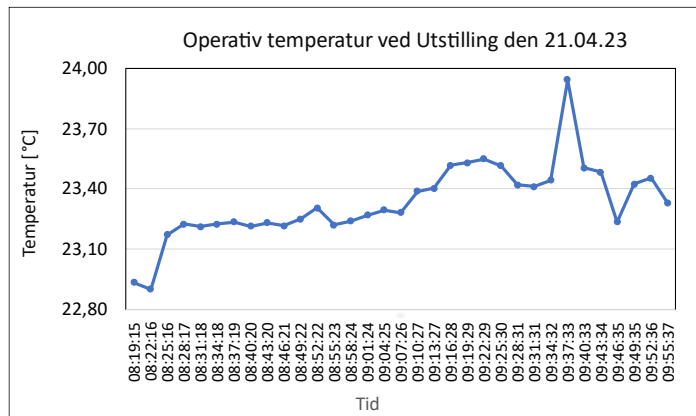
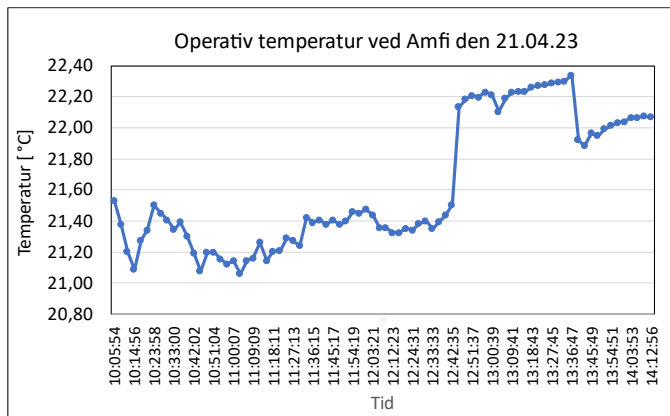


Figur 47: Figuren til venstre viser Operativ temperaturen ved Amfi og bilde til høyere viser operativ temperatur ved Utstilling

Utstillingen virker generelt noe varmere. Det er tettere møblert, lengere unna døråpningen, mer fasader og mindre vinduer, veldig mange sorte overflater som kan være en del av årsakene. Den viktigste årsaken er at bygget er basert på naturligventilasjon i tillegg til de ovennevnte grunnene.

Temperaturene har svingt mellom 22,91-23,08 [°C]. Noe overstigelse av temperaturer over anbefalte verdier av TEK 17 i tabell 3. Det er også sett på sammenhengen mellom temperaturene og åpningsgradene på vinduene for hele 2022. Grafene er vedlagt i vedlegg 23. Utstillingen har logget maks temperaturen på 27 [°C] midten av juli, da har også driftspersonell ved UiO startet mekaniskventilasjonen for å gå kontinuerlig, da det har vært klager på for høye temperaturer fra brukerne.

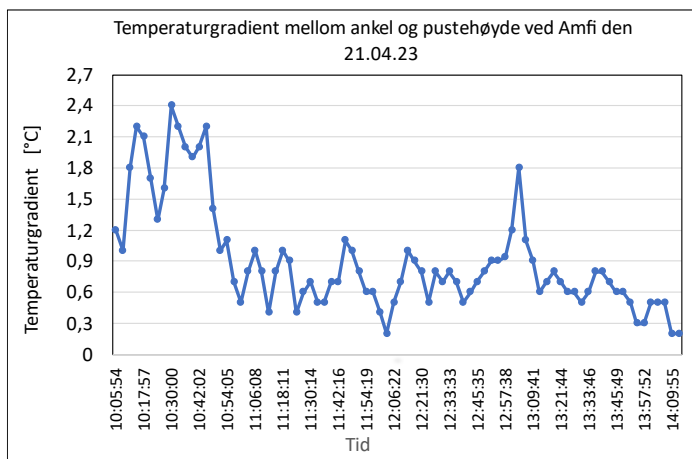
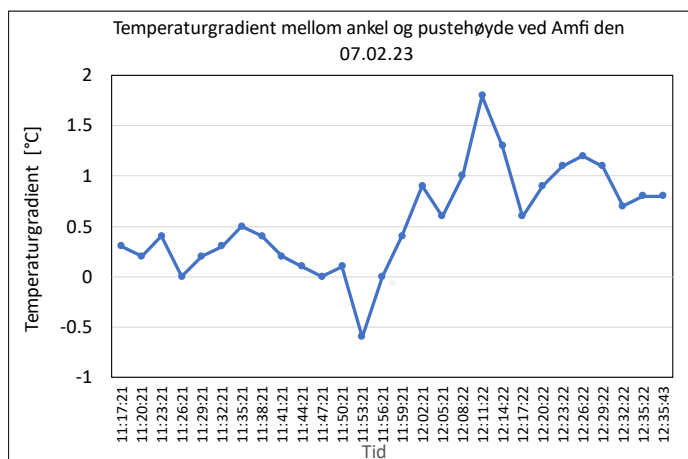
Figur 48 viser resultatene for operativ temperatur den 21.04.23. Det ser ut som temperaturene har ligget mellom 21,08-22,34 [°C] i Amfiet og vinduene har vært åpne hele dagen i Amfiet denne gangen, men temperaturene ser fint ut. Det har ikke vært noe bidrag fra mekaniskventilasjon den dagen. I vedlegg 39 finnes bilde av grafene ved sensoren for temperaturer, vindusåpninger og CO₂ ved Amfiet for den dagen. Uteforholdene den dagen var sol med ca. 19 [°C] i lufta midt på dagen. Vinduene i Utstillingen har vært stengt hele den dagen og temperaturene der har derfor vært noe høyere da det ikke vært noe mekaniskventilasjon heller, temperaturene lå mellom 22,09-23,94 [°C].



Figur 48: Figuren til venstre viser Operativ temperaturen ved Amfi og figuren til høyere viser operativ temperatur ved Utstilling

5.2.5 Temperaturgradient

Temperaturgradienten for lokalene ser fin ut. Den største gradienten ved Amfiet er 1,8 og 1 [°C] ved Utstillingen den 07.02. Kravet til Arbeidstilsynet sier at vertikal temperatordifferens ikke bør overstige 3-4 [°C] (Arbeidstilsynet, u.å.). Dette er godt innenfor kravene, og virker realistisk da det ikke har vært tilførsel av mekaniskventilasjon under målingene. Figur 49 viser grafer for Amfiet for begge målingene og samme grafer for Utstillingen ligger i vedlegg 7.

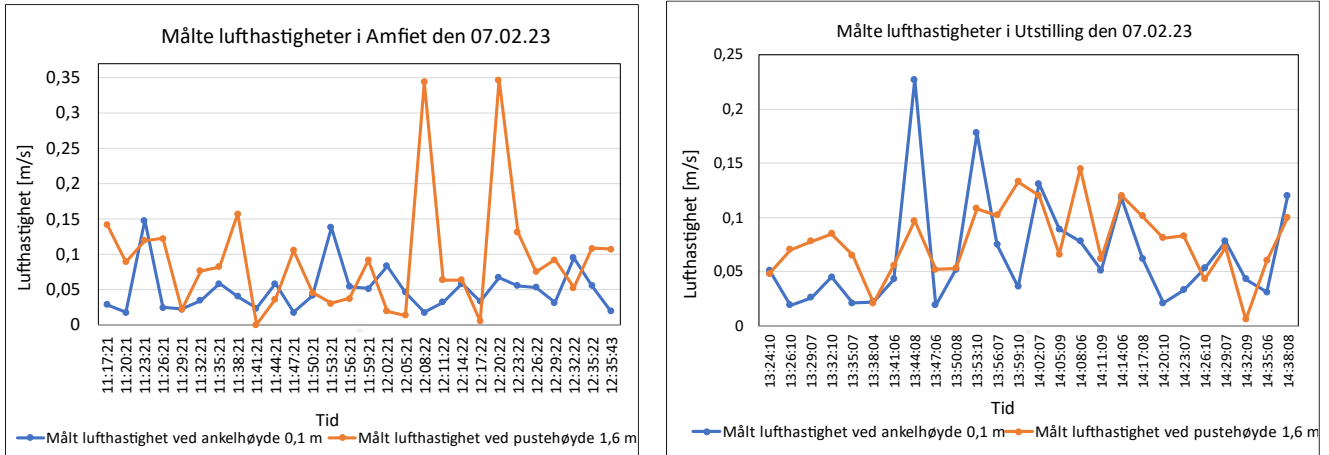


Figur 49: Figuren til venstre viser temperaturgradient ved Amfi og bilde til høyere viser temperaturgradient ved Utstilling den 07.02.23

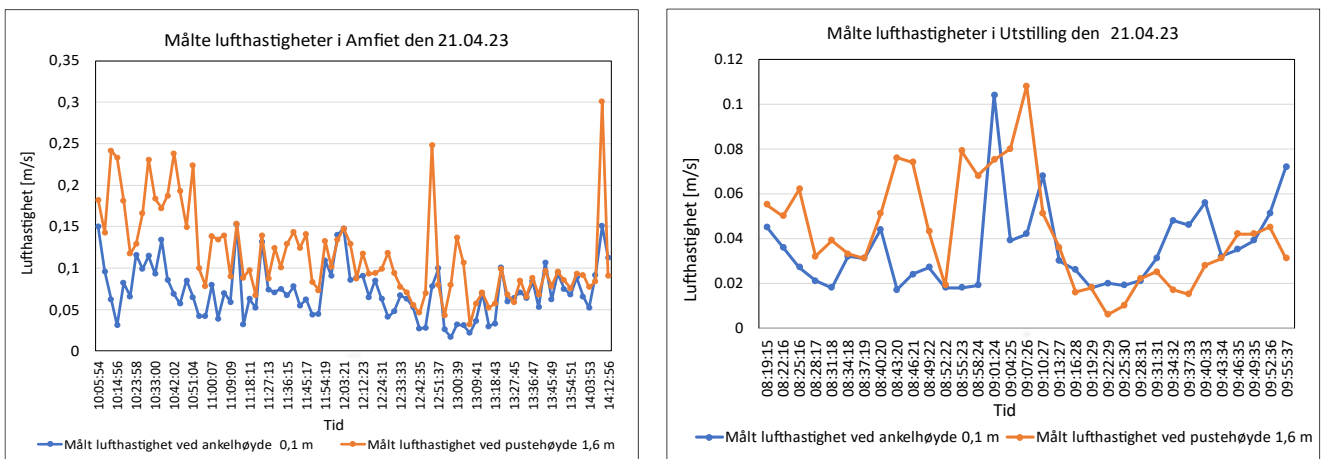
Målingen for våren den 21.04 var også fine, men det var heller ikke noe bidrag av mekaniskventilasjon den dagen. Instrumentet lå nærme vinduet i Amfiet og vinduene var åpne derfor er hastighetene ved ankel en del høye. Gradienten for Amfiet har ligget på 0,2-2,4 [°C] mens Gradienten i Utstillingen har ligget mellom 0,4-1,4 [°C].

5.2.6 Lufthastigheter

Viser til figur 50. Lufthastigheter er registrert over 0,15 [m/s] et par ganger i begge lokalene den 07.02, som er innenfor anbefalt verdi av arbeidstilsynetskrav (Arbeidstilsynet, u.å.). Men det har heller ikke vært tilførsel av tilluft. Resultatene fra vårmålingen den 21.04 er vist i figur 51. Utstillingen ser fin ut, men det har heller ikke vært mekanisk ventilasjon på eller vinduene åpne der. Men hastighetene i Amfiet har vært en del høye som skyldes vindusåpningen den dagen.



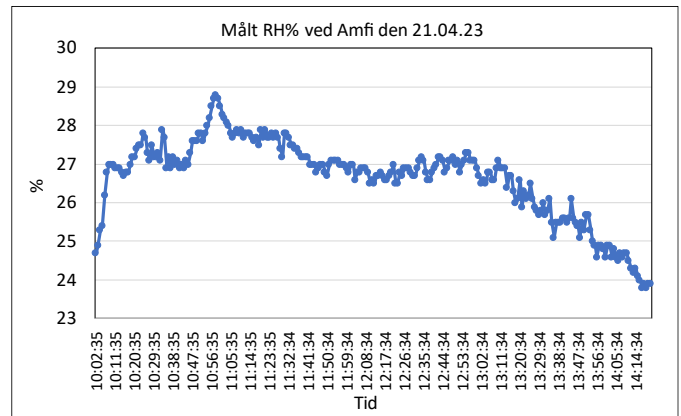
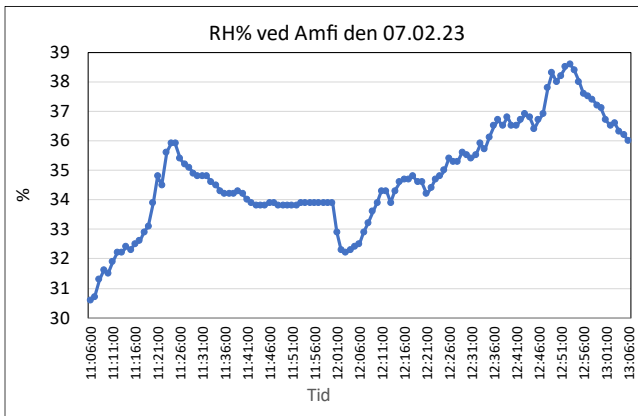
Figur 50: Figuren til venstre viser lufthastigheter ved Amfi ved 0,1 høyde og bilde til høyere er ved 1,6 m høyde



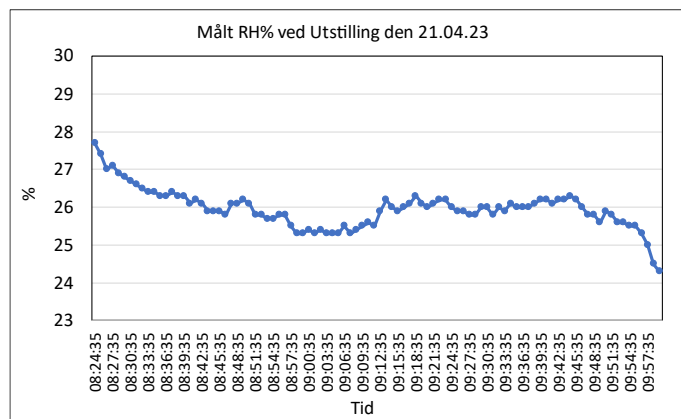
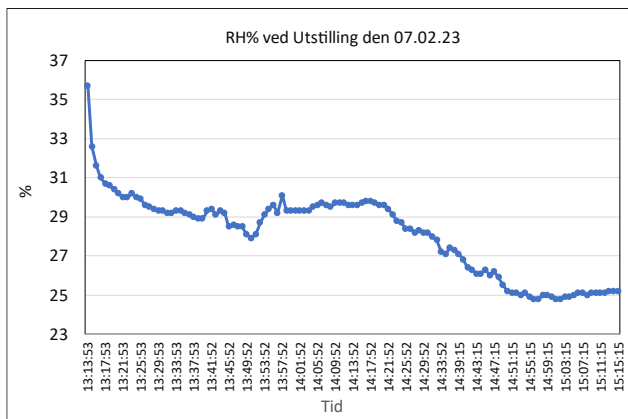
Figur 51: Figuren til venstre viser lufthastigheter ved Amfiet ved 0,1 m høyde og bilde til høyere er ved 1,6 m høyde

5.2.7 RH%

Den relative luftfuktigheten har ligget på rundt 30% på morgningen i Amfiet den 07.02, den har hatt en tendens til å stige gjennom dagen og det virker som samsvarer med tilstedeværelse av folk og fuktproduksjonen inne. På Utstillingen har luftfuktigheten hatt en tendens til å avta etter en stund og den er på sitt laveste nivå ved slutten av dagen når folkemengden har forlatt bygget. Resultatene fra begge målingene for Amfiet er vist i figur 52. Samme figurer for Utstillingen er vist i figur 53. Det er ikke stilt noe krav til luftfuktighet i Norge men arbeidstilsynetskrav «Inneklimate og luftkvalitet på arbeidsplassen» nevner at man bør likevel være forsiktig med RH% over 35-40% på vintertid (Arbeidstilsynet, u.å.). Generelt luftfuktighetene har vært noe lavere ved vårmålingen enn vintermålingen.



Figur 52: Figuren til venstre viser målte RH% ved Amfi den 07.02 og bilde til høyere viser målte RH% ved Amfi den 21.04

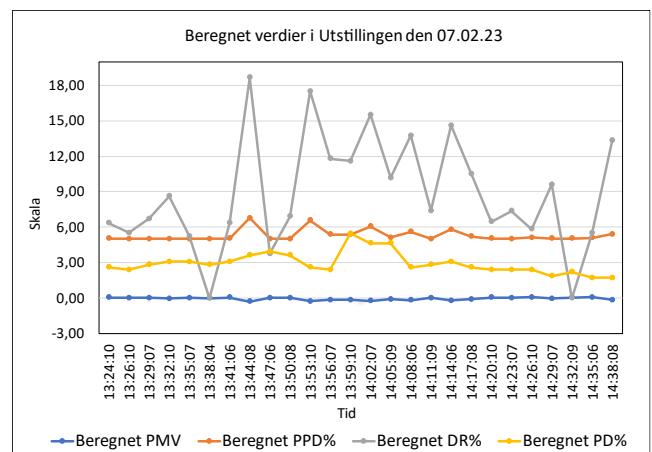
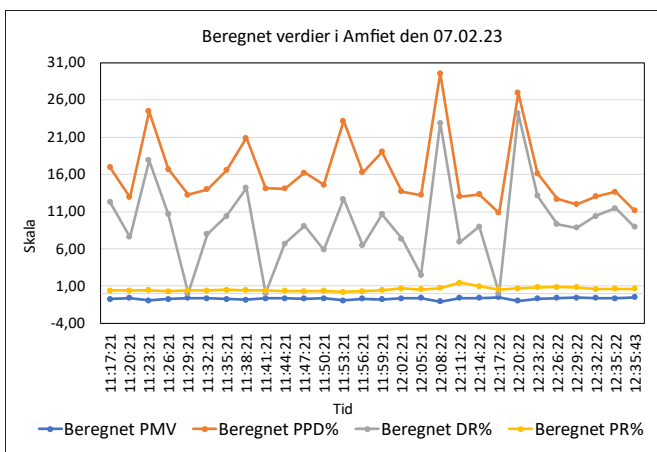


Figur 53: Figuren til venstre viser målte RH% ved Amfi den 07.02 og bilde til høyere viser målte RH% ved Amfi den 21.04

5.2.8 PMV, PPD, DR og PD

Inneklima parametere er sammenlignet med kategori B bygg i tabell A.1 i NS-ISO 7730 (Standard Norge, 2005). Resultatene fra beregningene for 07.02 er vist i figur 54 og viser at PMV i Amfi har ligget på 0,58 til -1,8 og dette resulterer i at PPD-ene ligget på 11,14 til 29,59% for Amfi. Dette viser at resultatene er langt over kravene og en misfornøyelse på ca. 30%, er ca. tre ganger høyere enn kravet iht. kategori B i NS-ISO 7730 standard som krever PPD < 10%.

På samme måte er det beregnet PMV og PPD for Utstillingen, resultatene er vist i figur 55. Resultatene fra beregningene viser at PMV i Utstillingen har ligget på -0,27- 0,07 og PPD-ene ligget mellom 5-6,77% for Utstillingen, noe som oppfyller kravet til kategori B.



Figur 54: Beregnede verdier for Amfi og Utstillingen den 07.02.23

DR%

Resultatene fra DR% for Amfiet har ligget på mellom 0- 24,21%. Kravene for kategori B bygg sier DR% <20. DR% >20 er blitt opplevet ved to tidspunkt i Amfiet. Resultatene for Utstillingen viser at DR% har ligget på mellom 0-18,74%. Dette oppfyller kravet for kategori B bygg.

PD%

Resultatene fra beregningene for vertikal luftdifferanse PD% er vist også i figur 54 og viser at PD% for Amfiet har ligget på mellom 0,2- 1,4%. Kravene for kategori B bygg sier PD% bør ligge <5. Dvs. resultatene oppfyller kravet i Amfiet. Resultatene fra beregningene for Utstillingen viser at PD% har ligget på mellom 1,7- 4,6%. Dette oppfyller også kravet.

Vårmåling, PMV og PPD

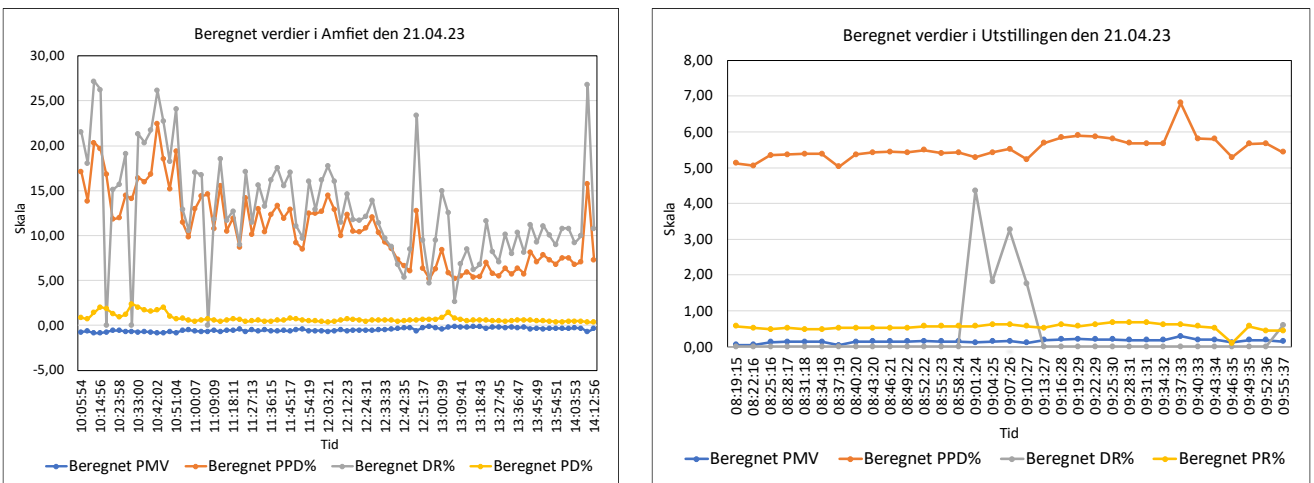
Resultatene for vårdagen 21.04 er vist i figur 55. PMV-ene for Amfiet har ligget på mellom $-0,85 < PMV < -0,1$ og for Utstillingen ligget på $-0,04 < PMV < 0,29$. Det tyder på at vindusåpningen på Amfiet resulterte i at folk har følt seg litt kalde. Noe som også viser seg i PPD-ene. PPD-ene har ligget på 5,2%-22,5% og 5,03%-5,90% for hhv. Amfiet og Utstillingen. Det er noe >20 i Amfiet og det skyldes vindusåpningen.

Vårmåling, DR%

DR-ene for hhv. Amfiet og utstillingen har ligget på 6,19%- 27,18% og 0%- 3,23% den 21.04. Den høye DR-en i Amfiet skyldes vindusåpningen, mens utstillingen er ok.

Vårmåling, PD%

PD-ene for hhv. Amfiet og utstillingen har ligget på mellom 0,4%- 2,4% og 0,1%- 0,7%. Ingen av disse er over 5, så de ligger lavt sammenlignet kategori B.



Figur 55: Beregnede verdier for Amfiet og Utstillingen den 21.04.23

5.2.9 Luftmengder og åpningsarealer

Naturlig ventilering

Resultatene fra beregninger for åpningsarealer og antall vinduer for naturlig ventilering er vist i tabell 15. Det ser ut som Amfiet med 6 prosjektert vinduer er nok for dette arealet, men beregningene viser at Utstillingen er underdimensjonert. Det trengs nesten 12 vinduer av samme dimensjon som tilsvarer 9,4 [m²] med åpningsarealer for Utstillingen. Det som er prosjektert er 3 vinduer med 2,34 [m²] åpningsarealer. Man kan tenke at det er to ekstra vinduer i Amfiet og siden det er åpne arealer og kryss ventilering så kan hjelpe Utstillingen, men enda så er det underdimensjonert med 7 vinduer og 7,06 [m²] åpningsarealer. Det er brukt en cd-faktor på 0,65, men om man bruker 1 for cd-faktoren så er enda ikke nok med åpninger i Utstillingen.

Tabell 15: Resultatene fra beregninger for åpningsarealer og antall vinduer

Lokaler	Bredde på vindu [m]	Høyde på vindu [m]	Effektive åpnings lengde [m]	Antall vinduer som prosjektert	Rom Areal [m ²]	cd	Effektive åpnings areal	A _{eff,nødv} [m ²]	A _{geo,nødv} [m ²]	A _{geo,per vindu} [m ²]	Totale åpnings-arealer prosjektert [m ²]	Antall nødvendig vinduer	Totale åpnings-arealer nødvendig [m ²]
Amfi	1,45	0,5	0,4	6	128,4	0,65	0,015	1,9	3,0	0,78	4,68	3,8	3,0
Utstilling	1,45	0,5	0,4	3	407	0,65	0,015	6,1	9,4	0,78	2,34	12,0	9,4

Mekaniskventilasjon

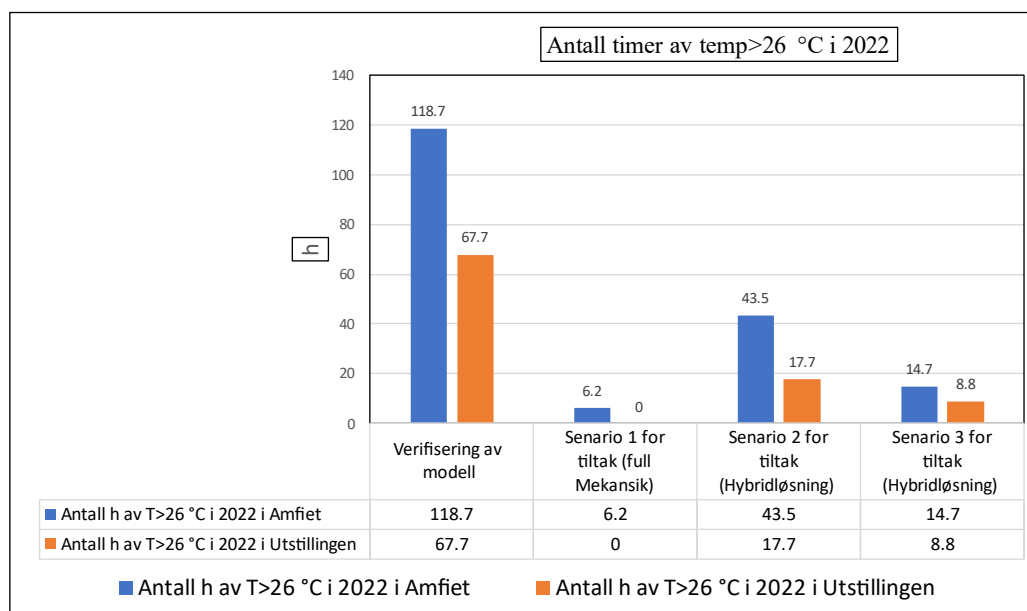
Resultatene i tabell 16 viser at for balansertventilasjon med 31 stykker personbelastning og maks luftmengde på 26 [m³/h.pers] samt min 2,5 [m³/h.m²] så trengs ca. 1085 og 1824 [m³/h] til hhv. Amfiet og Utstillingen. Mens det var kun døråpningen pluss infiltrasjon på bygget som tilført luftmengde under målingene. Det var heller ikke ventilasjonen på toalettkjernen under målinger. Det er vanskelig å si om det er blitt tilført nok av luftmengder med naturligventilering.

Tabell 16: beregnede luftmengder etter TEK 17

Romnavn	Areal	Antall pers.	Materialer Emisjons-belastning	Luftmengde areal A	Luftm. pers. B	Sum luftmengde A + B	Luftm. Prosess C	Sum forskrifts luftmengde (A+B) ↔ C
	[m ²]	[stk.]		[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]
Amfi	117,1	31	Lav emisjon	293	806	1099		1099
Utstilling	411,1	31	Lav emisjon	1028	806	1834		1834
Sum				1321				2933

5.3 Resultat av IDA-ICE Simuleringer

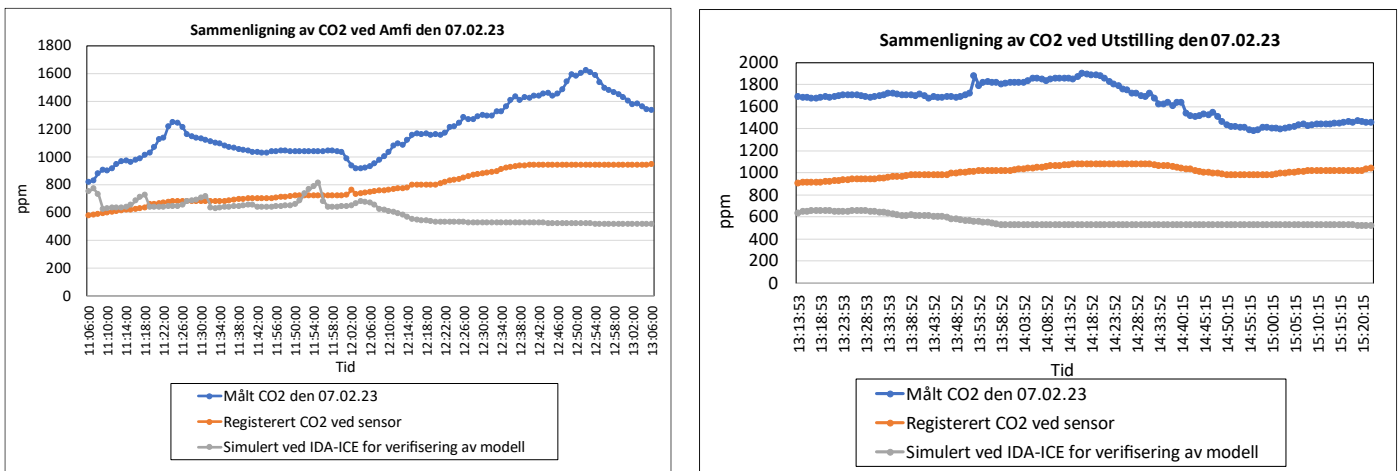
I figur 56 vises resultater fra simuleringene for antall timer som overstiger 26 [°C] i løpet av 2022. Alle tre tiltaksmodeller er optimalisert med tanke på å få antall timer under 50 i året. Scenario 1 for full mekaniskventilasjon kommer til å ha minst antall timer, men denne modellen er også kjørt med høyere luftmengder for å få antall timene med over 26 [°C] ned. Men den modellen for verifiseringsen er modellen fra dagens løsning på Klimahuset og det ser ut som de tillatte timene for begge arealene er over grensen som er 50 h i TEK 17 (Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning, 2021).



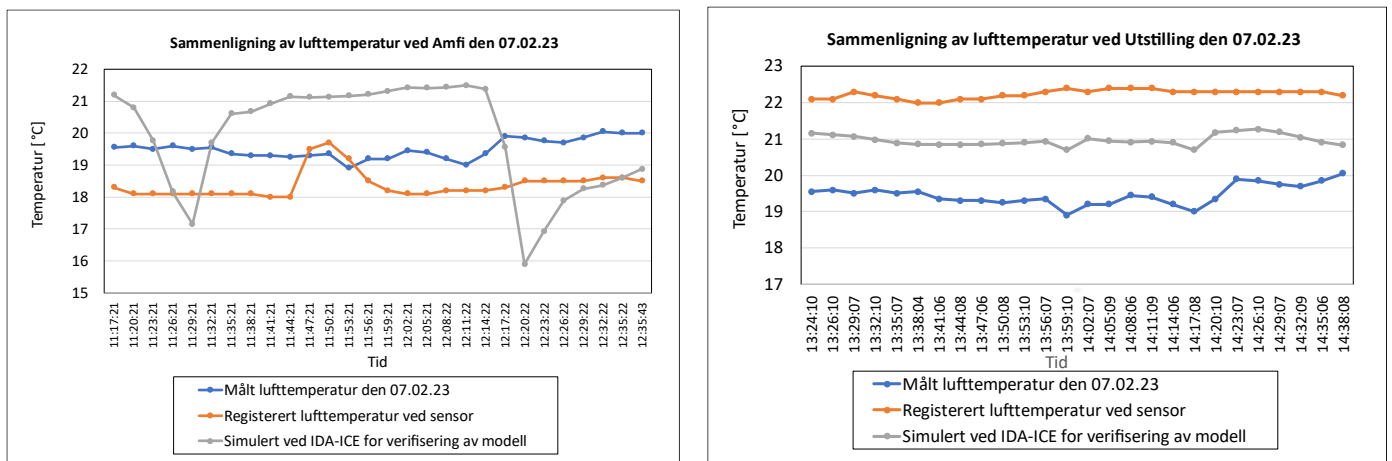
Figur 56: Antall timer over 26 [°C] i 2022 i begge lokalene

5.3.1 Verifisering av modellen

Resultatene fra CO₂- og temperatursimuleringene er sammenlignet med målte verdier og registrert verdi ved sensoren i lokalene for 07.02. Resultatene er vist i figur 57 og 58.



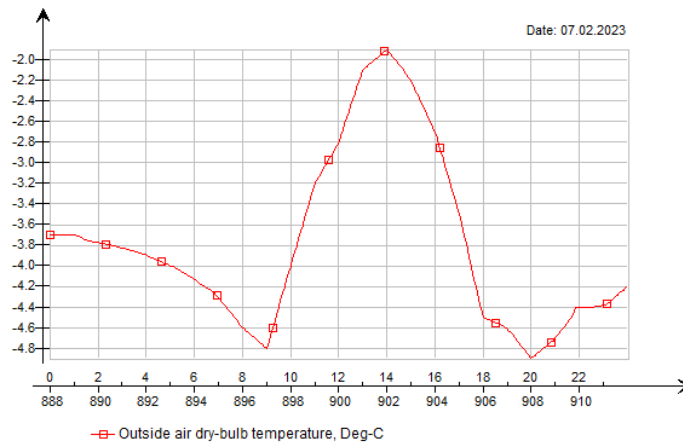
Figur 57: Verifisering av resultater for CO₂ i IDA-ICE for Amfi og Utstillingen



Figur 58: Verifisering av resultater for temperaturer i IDA-ICE for Amfi og Utstillingen

Resultatene viser at det er en del avvik mellom måltverdi og simulertverdi samt registrertverdi ved sensoren. Ut ifra resultatene ser det ut som at CO₂-ene burde være på mye lavere nivåer og lufttemperaturene burde være noe høyere enn det som er målt, hvis systemet hadde fungert som det skulle. Dvs. at systemet henger litt etter og har tregheter i styringsstrategien. Noe annet som er påvist ved målinger tidligere er at sensorene i lokalene måler feil. Lufttemperaturene på Amfiet har to kraftig fall ved simulertmodell, dette skyldes vindusåpning i rommet pga. CO₂-ene, hvis systemet hadde fungert riktig. Noe av trenden i CO₂-ene er gjenkjennbar, men noe er uforklarlig, dette gjør verifisering av modellen litt vanskeligere og kan skyldes en del usikkerheter, blant annet:

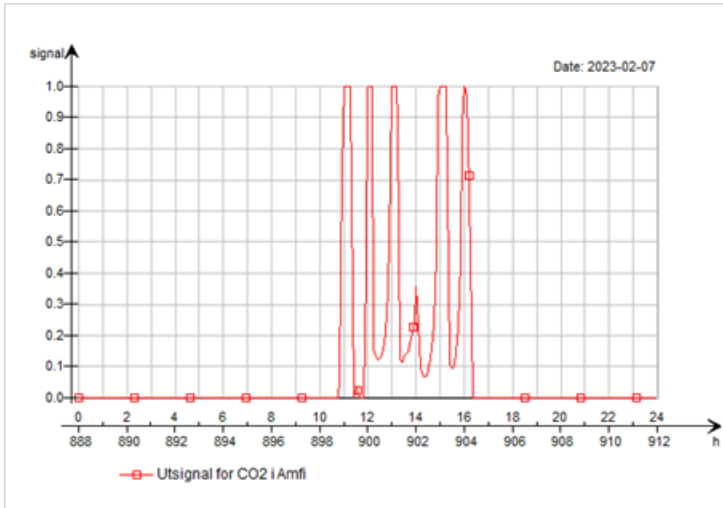
- Det er usikkerheter om personbelastninger. Personbelastninger er observert nøye måledagen. Men det er observert kun en lokal omgang og alle de tre lokalene er ikke observert samtidig, da jeg var alene. Dette kan medføre usikkerheter ang. personbelastninger som ikke er registrert eller endret.
- Klimafil i ICA-ICE medfører en del usikkerheter. For det er ikke alltid overstemmelse mellom virkelige temperaturer og det som er i klimafilen. Utetemperaturen for den dagen er glemt å måle, men det var kaldt og overskyet hel dagen. YR viser den laveste målte verdien for hele døgnet ligget på -2,3 [°C] (YR, 2023), mens klimafilen viser at det vært kaldere natt som -4,8 [°C], som er vist i figur 59. Dette medfører avvik for verifisering.



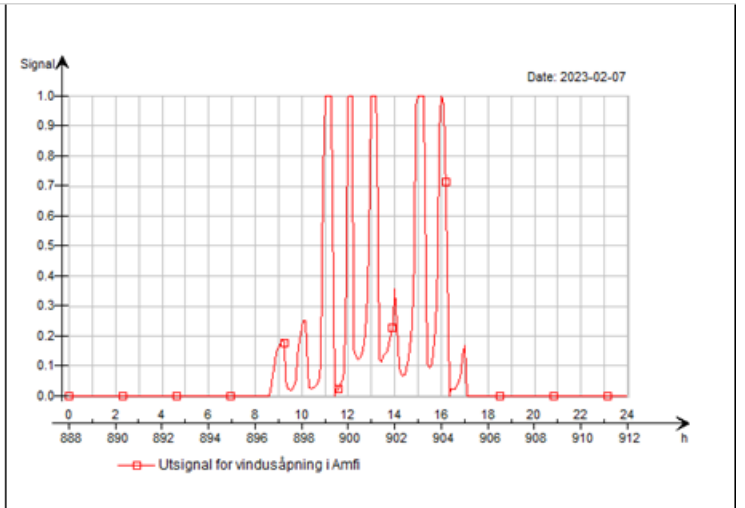
Figur 59: Utetemperaturen fra klimafilen for 07.02.23

- Feil ved sensorene
- Usikkerheter ved antatte belastninger blant annet, belysning, utstyr
- Usikkerheter ved antatte døråpninger og avviket fra reelle åpninger
- Tidsintervaller i diverse figurer variert litt, men prøvd så godt det lar seg å gjøre, å hente samme verdi i samme tidspunkt. Dette kan medføre en del lesefeil ved grafer i diverse databaser
- Bidraget fra solseller og grunnvarme er ikke med i IDA-ICE simuleringer
- Noe annet som kan skyldes er at IDA-ICE er et simuleringsverktøy som er veldig rask til både respons og virkningen selv om det er lagt inn tregheter i systemet der også, men i virkeligheten vil det av og til være noe tregheter i systemene og luftbevegelser. Dette er med på å skape annerledes grafer og verdier enn det som er målt.

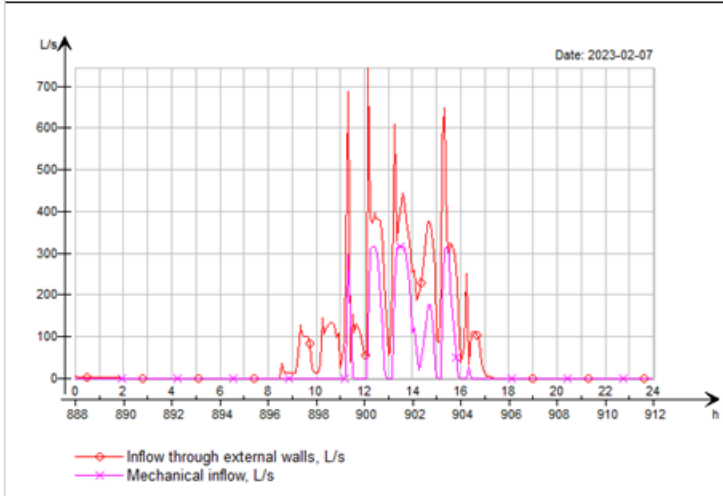
Systemet i IDA-ICE verifisert og fungerer riktig etter det som er levertløsning som er naturligventilering med hjelp av vinduslufting og mekaniskventilasjon. Det er lagd en makro for styring av vinduene, som ligger i vedlegg 27. Noen av grafene fra verifiseringsmodellen er samlet i figur 60. Som det er vist av graf b i figur 60, så er omtrent hele dagen vinduene er åpne og de begynne å åpne rett etter starten på driftstiden som er satt til 8:30, for å få nok luftmengder iht. den belastningen har for den dagen. Dette medfører temperaturfallene i graf e. Når CO₂-en stiger i graf d så slår ut CO₂- signalet i graf a og fra graf c ser vi at først er det åpnet vinduene også er det mekaniskventilasjonen som blir slått på når vindusåpningen ikke er tilfredsstillende. Men dette systemet er ikke bra, det ser ut som vinduene burde åpne seg noen ganger og dette hadde vært med på å forårsake kraftige fall på temperaturene inne.



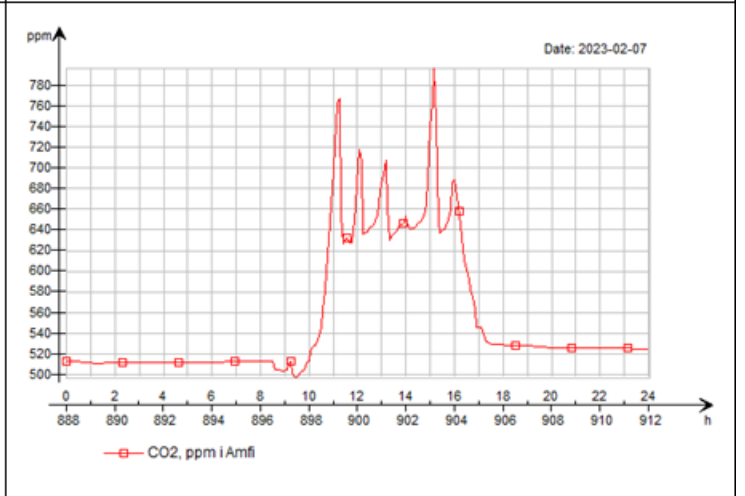
a) Utsignal for CO₂ i Amfiet



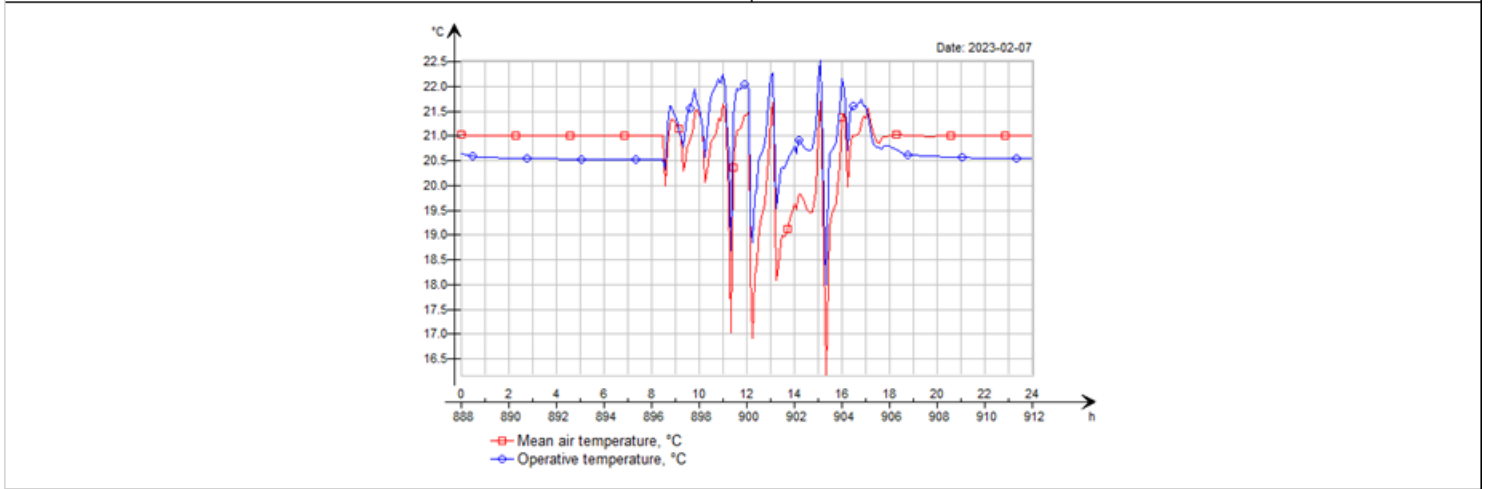
b) Utsignal for vindusåpning i Amfiet



c) Tilluft gjennom vinduet i veggen og tilluften på mekaniskventilasjon



d) CO₂ nivået i Amfiet



e) Temperaturer i Amfiet

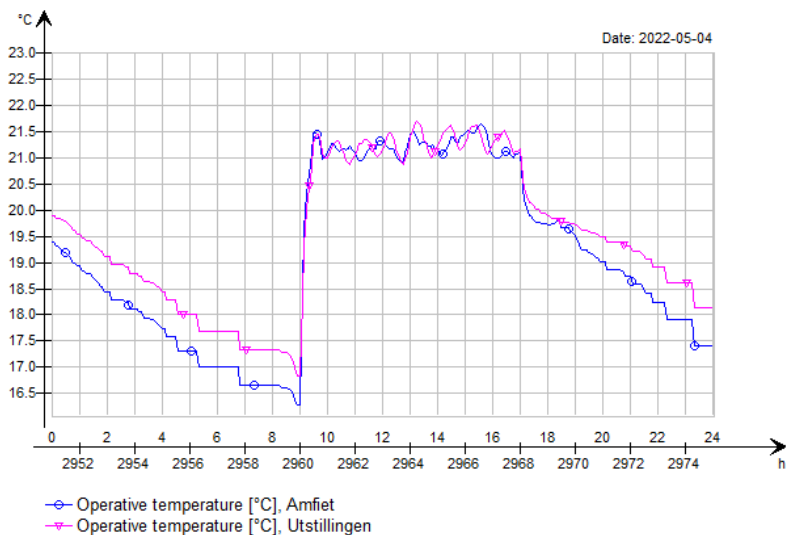
Figur 60: Utsignalene for naturligsystemet med bidrag fra vindusåpning og mekaniskventilasjon

5.3.2 Resultater fra tiltaksmodellene

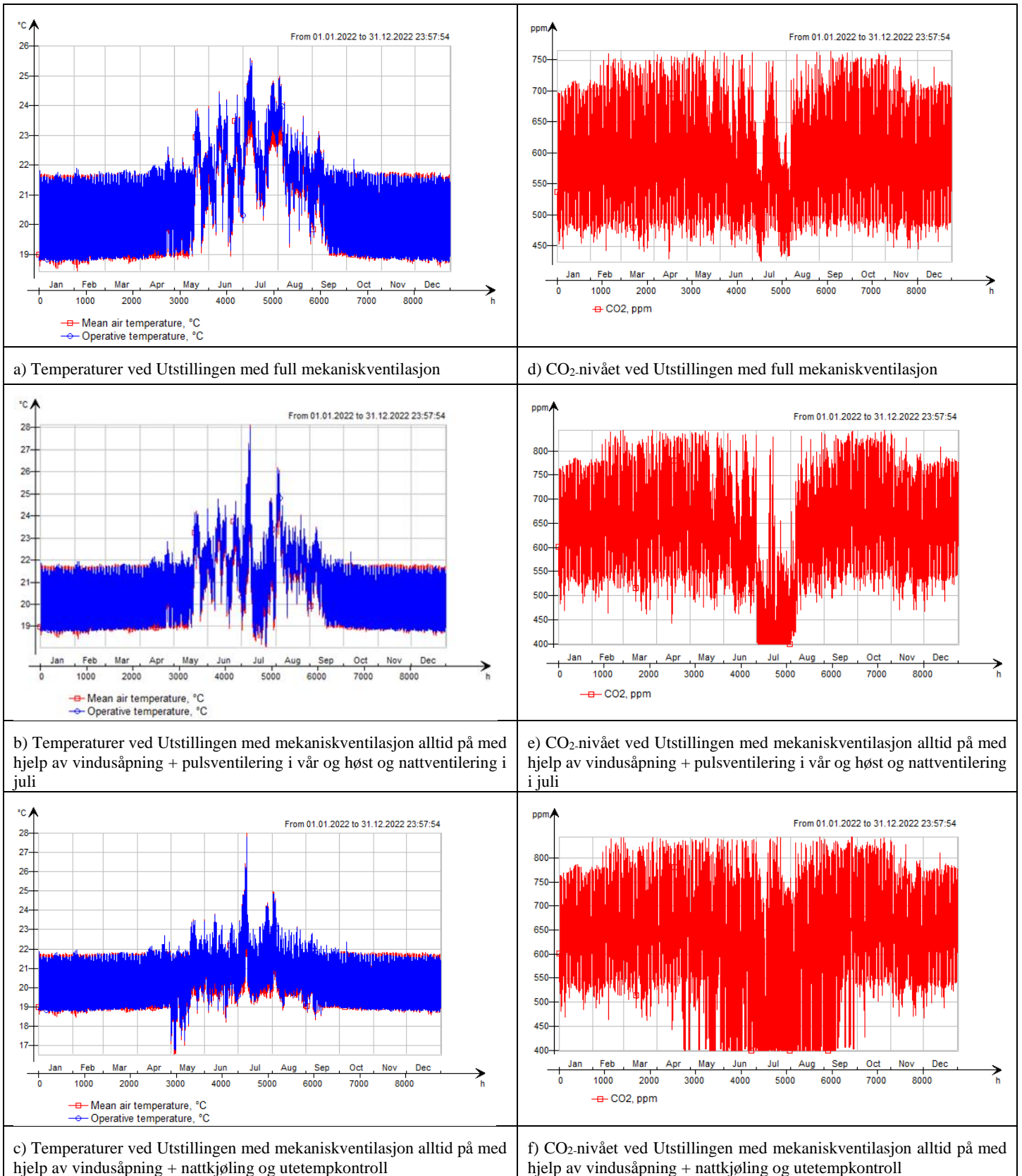
Disse tre tiltaksmodellene er optimalisert veldig mye med tanke på termisk inneklima, energi og antall timer over 26 [°C]. Det er simulert scenarioene for mange forskjellige settpunkter, temperaturer, tider, luftmengder osv. Disse resultatene som blir presentert i dette kapitlet er den siste og beste versjonen av hver modell med tanke på termisk inneklima, energi og antall timer over 26 [°C].

5.3.2.1 Temperatur og CO₂-nivåer

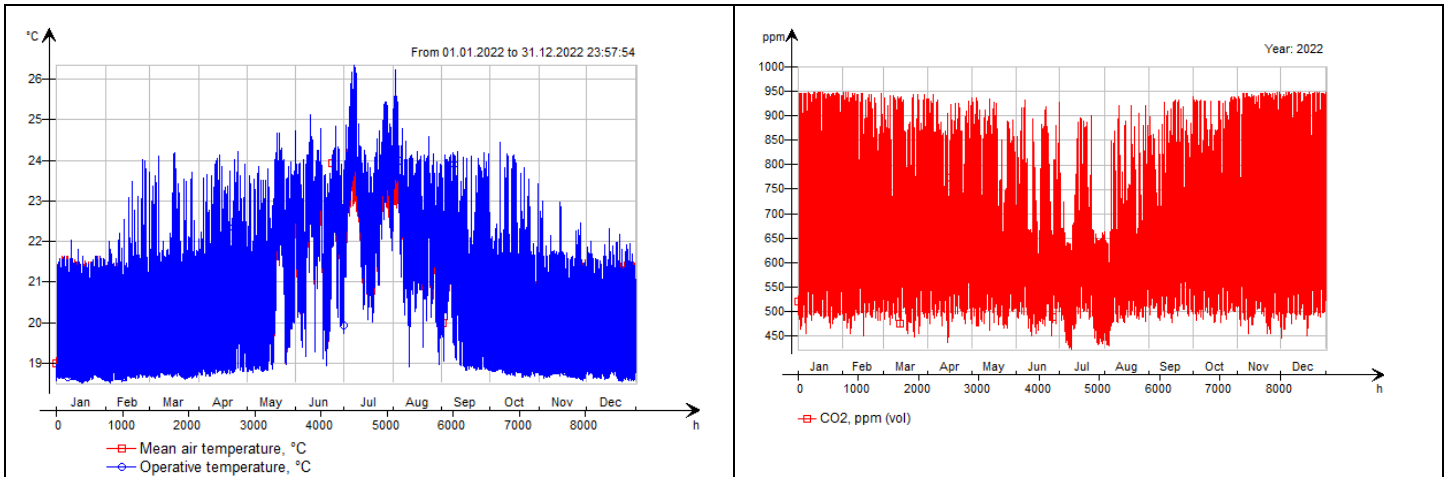
Resultatene fra simuleringer for et helt år i 2022 for temperaturer og CO₂-nivåer i Utstillingen er vist i figur 62. For samme resultater i Amfiet referer til figur 63. Resultatene for temperaturer er som forventet, de ligger på 19 [°C] i utenomdriftstiden og mellom 20-22 [°C] i driftstiden, fra midten av mai til midten av september, temperaturene er noe høyere og i juli er de på sitt høyeste. Den tredje senarioet med «mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + nattkjøling og utetempkontroll» gir den mest laveste og stabile temperaturer på sommersesongen, men den har et temperaturfall i starten av mai når vinduene begynner å åpne seg. Det er satt vindusåpning både i driftstiden og utenom driftstiden. Det er forskjellige settpunkter for de to styringene, så dette ble nærmere undersøkt for å se om de laveste temperaturene er i driftstiden eller utenomdriftstiden. Viser til figur 61 hvor det er sett på 04.mai og det viser seg at de temperaturfallene er i utenomdriftstiden, temperaturen stiger veldig raskt i driftstiden, så dette er helt ok da det ikke skjer i driftstiden.



Figur 61: Temperaturer med mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + nattkjøling og utetempkontroll den 04.05.2022

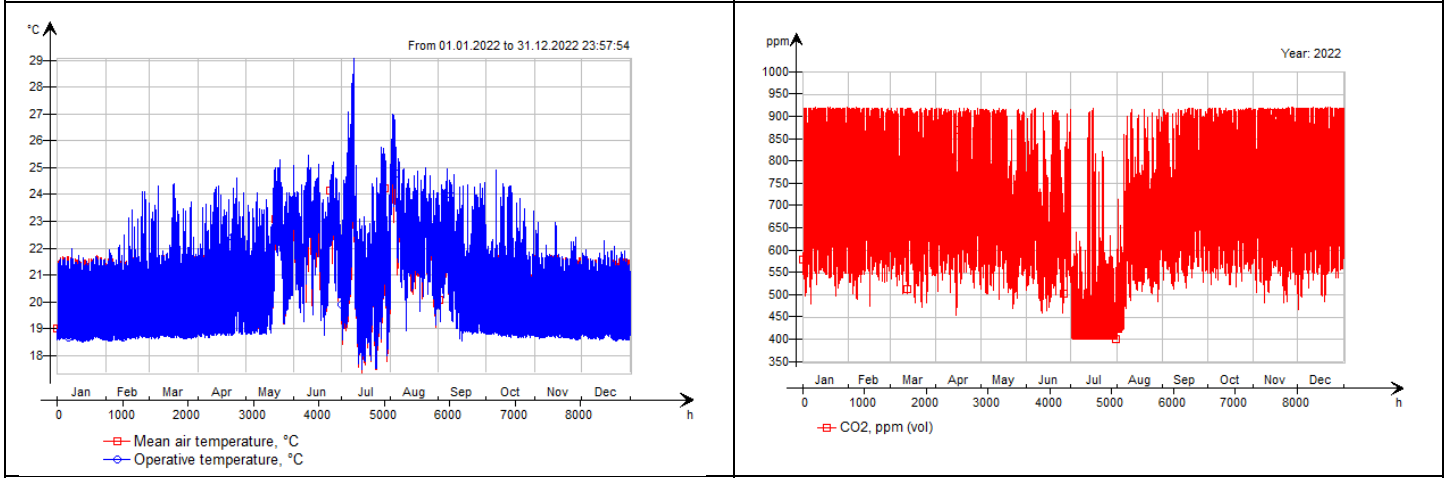


Figur 62: Temperaturer og CO₂ forhold for hele 2022 basert på de 3 tiltakssenarioene for Utstillingen



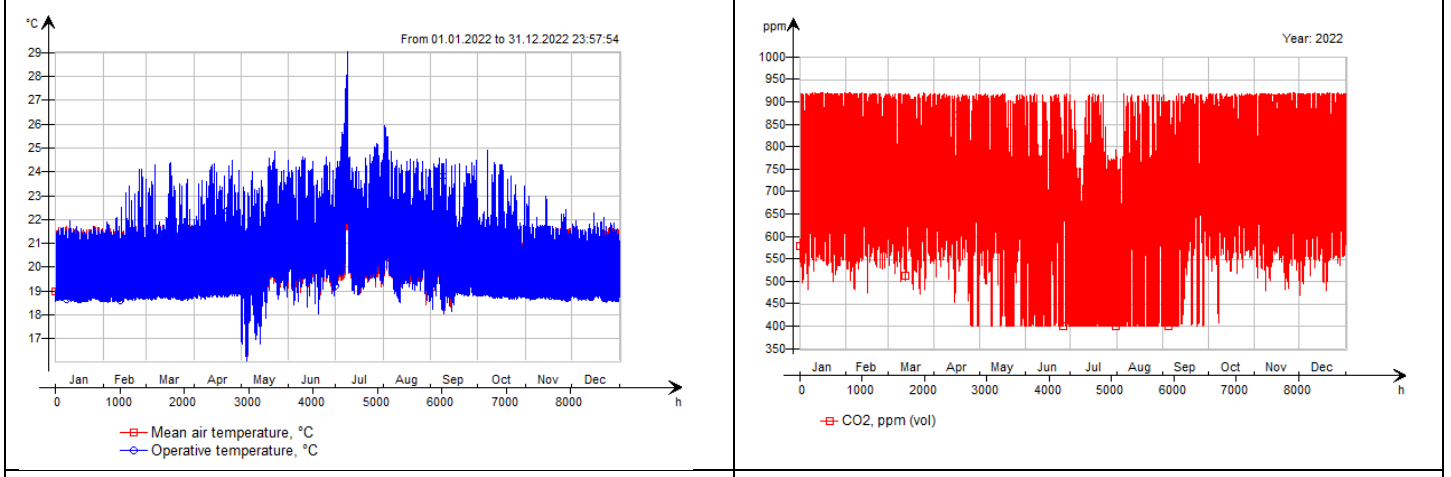
a) Temperaturer ved Amfiet med full mekaniskventilasjon

d) CO₂-nivået ved Amfiet med full mekaniskventilasjon



b) Temperaturer ved Amfiet med mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + pulsventilering i vår og høst og nattventilering i juli

e) CO₂-nivået ved Amfiet med mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + pulsventilering i vår og høst og nattventilering i juli

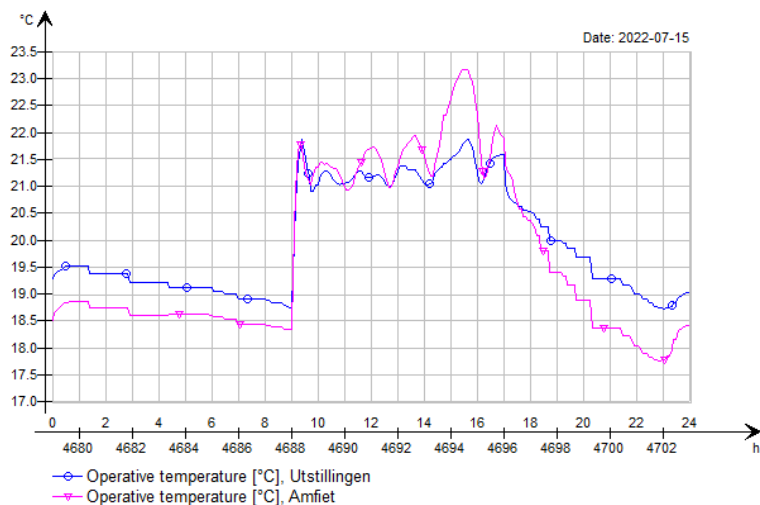


c) Temperaturer ved Amfiet med mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning, med nattkjøling og utetempkontroll

e) CO₂-nivået ved Amfiet med mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning, med nattkjøling og utetempkontroll

Figur 63: Temperaturer og CO₂ forhold for hele 2022 basert på de 3 tiltakssenarioene for Amfiet

En annen ting som kan ses, er at nattventileringen i juli i scenario to (graf b i figur 62 og 63) gir en god effekt på temperaturene. Dette gir muligheten til passivkjøling gjennom natten og gir gode temperaturer på halve dagen, temperaturene begynner å stige i løpet av dagen. Viser til figur 64 for temperaturer for 15.07.22. Temperaturer er helt fine, og det er ingen kraftige temperaturfall i driftstiden.



Figur 64: Temperaturer med mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + pulsventilering i vår og høst og nattventilering i juli den 15.07.2022

5.3.2.2 Dimensjonerende vinter- og sommerdøgn

Resultatene for dimensjonerende vinter- og sommerdøgn samt PPD-ene for Amfiet er vist i figur 65. For samme resultater for Utstillingen referer til figur 66. Disse 3 scenarioene gir veldig likt resultat på temperaturer for dimensjonerende vinterdøgn da vinduene er stengt på vinteren og det er kun mekaniskventilasjon på. Men det er forskjell på de for dimensjonerende sommerdøgn når vinduene er åpne. Fra graf b i figur 65 ser man at vindusåpningen gjennom natten gir mye bedre temperaturer for scenario 2 og 3, bygget får kjølt seg helt passiv gjennom natta og det vil hjelpe på temperaturene for halve dagen. Mekaniskventilasjon kommer dårligst ut her og det viser mye høyere temperaturer gjennom natten og starten på dagen. Utover dagen klarer den mekaniske ventilasjonen å stabilisere temperaturene en del, da det ikke blir tilført varmt luft gjennom vinduene.

CO₂-nivåene er helt fine, og det er vist tydelige effekter av vindusåpninger i sommersesongen. Men CO₂-nivåene for Amfiet ligger generelt noe høyere enn Utstillingen. Dette kan skyldes de forutsatte åpningsintervallene for mellomveggene mellom Amfiet og Utstillingen. De åpningsintervallene er veldig variert fra dag til dag i virkeligheten.

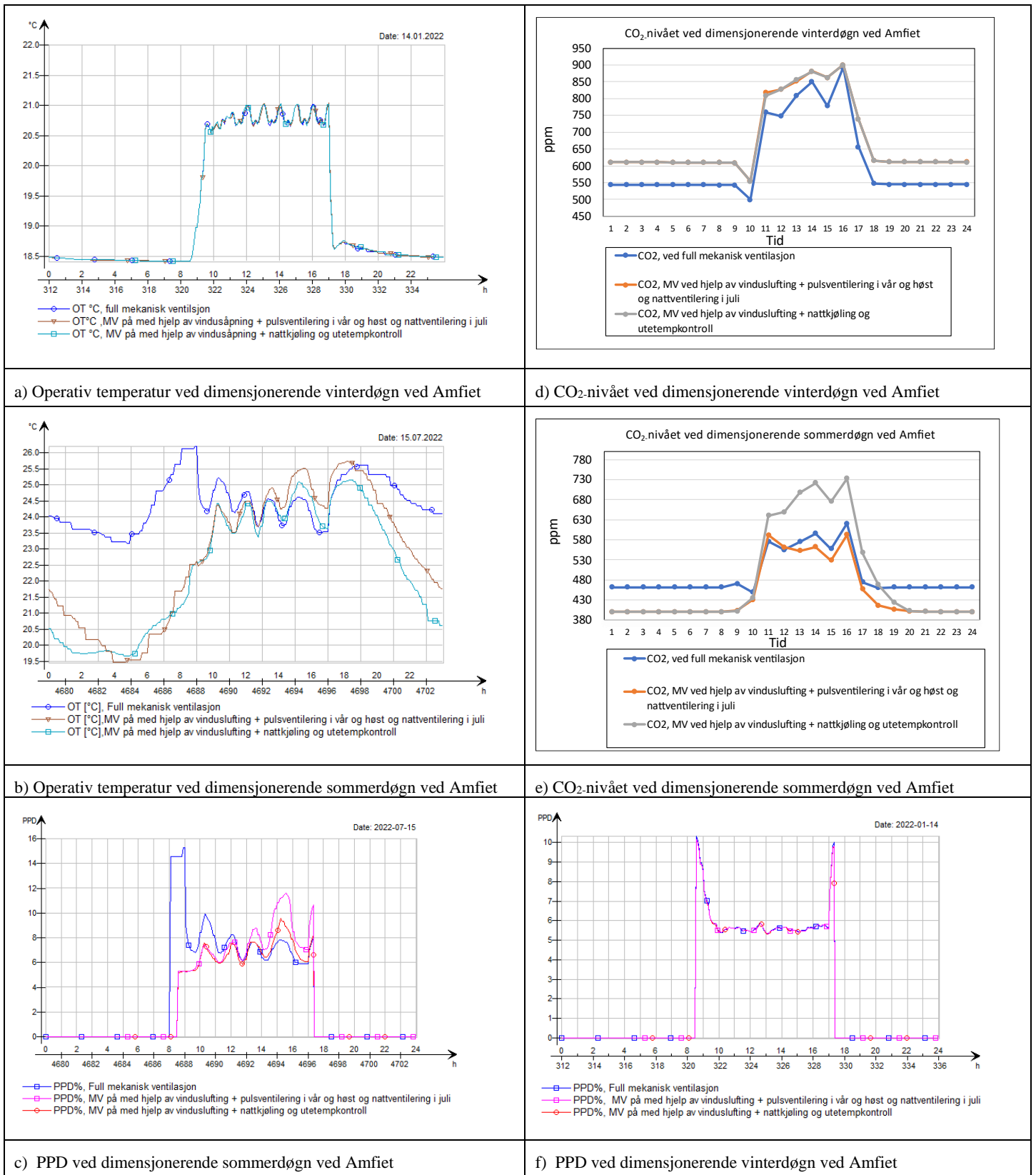
Det ser ut som uteCO₂-ene for dimensjonerende vinterdøgn er generelt noe høyere for begge scenario 2 og 3 samt er veldig lite forskjeller, nesten på mili ppm. Men det ser ut som full mekaniskventilasjon klarer å ligge lavest ved dimensjonerende vinterdøgn. Resultatene indikerer samme utslag i begge lokalene.

CO₂-ene er varierende for dimensjonerende sommerdøgn. Scenario 2 vil klare lavest nivå av CO₂-ene i begge lokalene, mens scenario 3 vil ha størst nivå av CO₂-ene, på midten ligger full mekaniskventilasjon. Dette vil si at det er mest luftskifte ved scenario 2 om sommeren og dette skyldes mye benyttelse av passivnattkjølingen ved hjelp av vinduslufting.

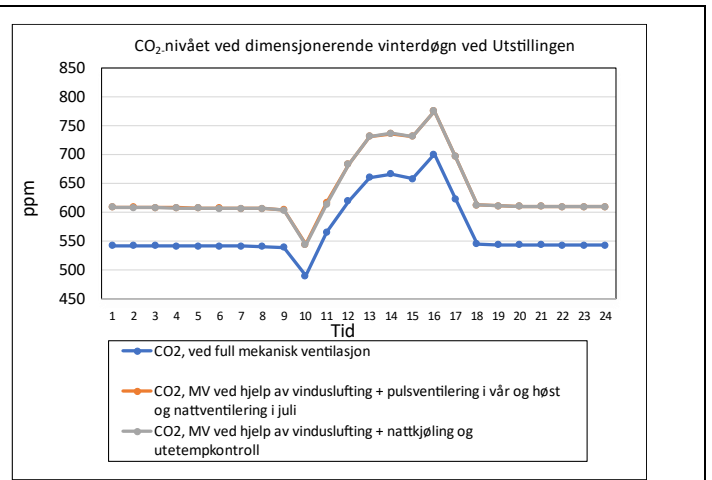
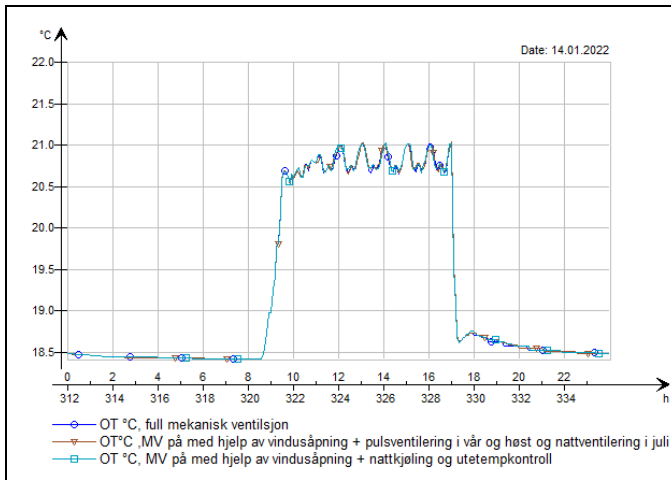
Men generelt ligger CO₂-ene under 1000 ppm i alle scenarioer for begge lokalene. Resultatene er så klart basert på de inndataene og forutsetningene som er satt for modellen, med tanke på belastninger, frekvenser for døråpninger osv. Dette kan avvike fra en reel belastning.

PPD-ene for sommerdøgn fra graf c i figur 65 gir like utslag for scenario 2 og 3 og de ligger begge lavere enn scenario 1. For full mekaniskventilasjon ligger PPD-en høyest med 1,5, andelen av misfornøyde dvs. PPD-ene for scenario 2 og 3 er lavere enn full mekaniskventilasjon.

PPD-ene for vinterdøgn for Amfiet er vist i graf f figur 65, det ser ut som PPD-er er helt lik for de tre tiltaksmodellene. Det ser ut som folk vil føle seg en del kaldere med full mekanisk ventilasjon enn de to andre senarioene. Dette resultatet gjelder for Utstillingen også, grafene for utstillingen ligger i figur 66.

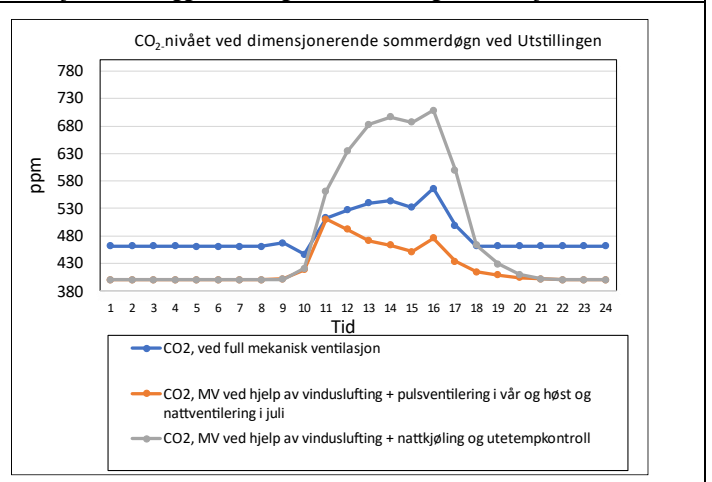
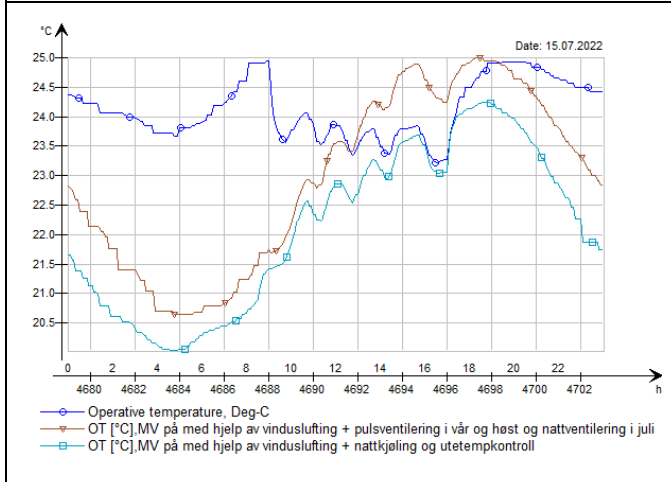


Figur 65: Temperaturer og CO₂ for dimensjonerende forhold samt PPD basert på de 3 tiltakssenarioene for Amfiet



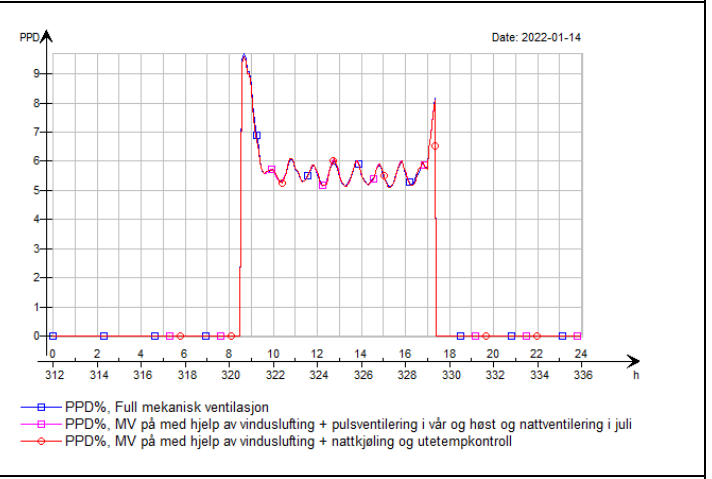
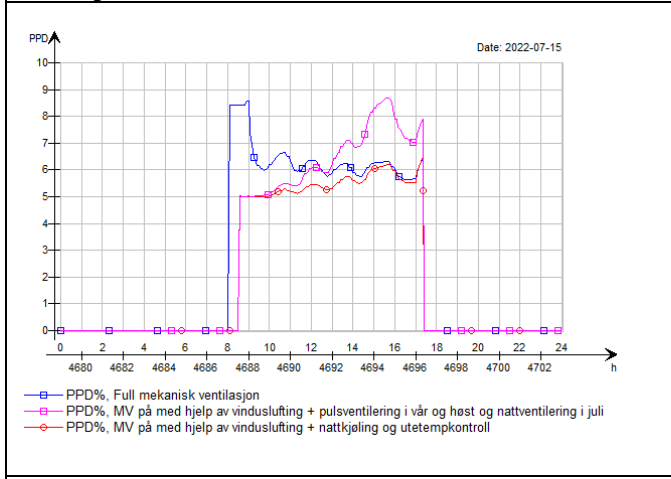
a) Operativ temperatur ved dimensjonerende vinterdøgn ved Utsillingen

d) CO₂-nivået ved dimensjonerende vinterdøgn ved Utsillingen. Den oransje kurven ligger under grå, det er veldig lite forskjell



b) Operativ temperatur ved dimensjonerende sommerdøgn ved Utsillingen

e) CO₂-nivået ved dimensjonerende sommerdøgn ved Utsillingen



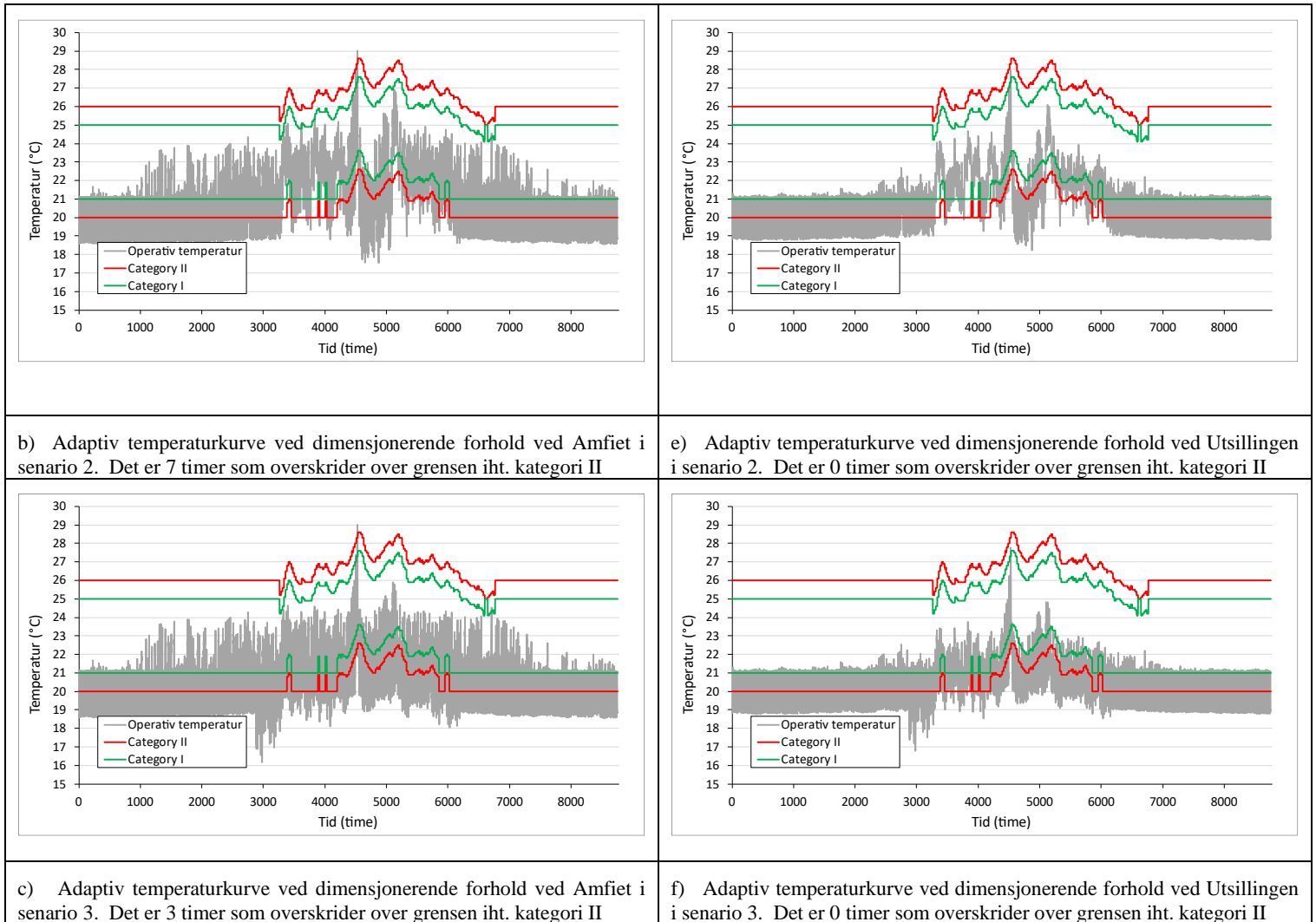
c) PPD ved dimensjonerende sommerdøgn ved Utsillingen

f) PPD ved dimensjonerende vinterdøgn ved Utsillingen

Figur 66: Temperaturer og CO₂ for dimensjonerende forhold samt PPD basert på de 3 tiltakssenarioene for Utsillingen

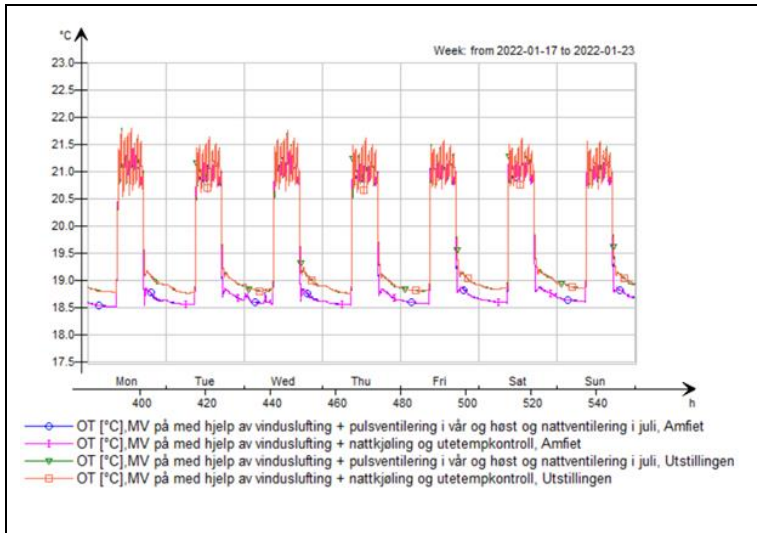
5.3.3 Adaptive temperaturer

Det er sett på adaptive temperaturkurver iht. operative temperaturer for kategori I og II fra NS-EN 15251 (Standard Norge, 2014b). Temperaturene er sammenlignet for lokalene med type skolebygning. Grafene for lokalene er vist i figur 67. Det er også registrert antall timer som overskrider over grensen iht. kategori II i standarden ved adaptiv metoden som er vist i tabellen under i grafene. Det ser ut som det er kun registret 7 og 3 timer som overskrider over grensen iht. kategori II i standarden, ved hhv. senario 2 og 3 ved Amfiet, ellers er resultatet 0 timer for senario 2 og 3 ved Utstillingen.

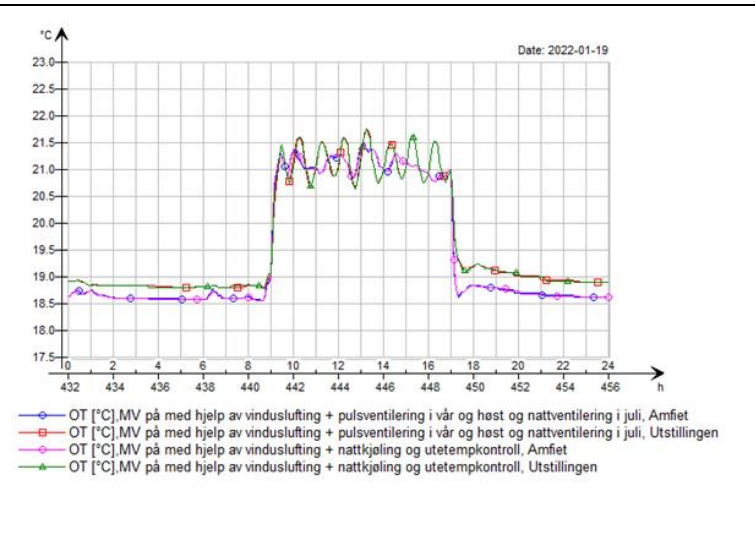


Figur 67: Adaptive temperaturer og antall timer som overskrider over grensen iht. kategori II i EN-15251 ved tiltaksmodellene (Standard Norge, 2014b)

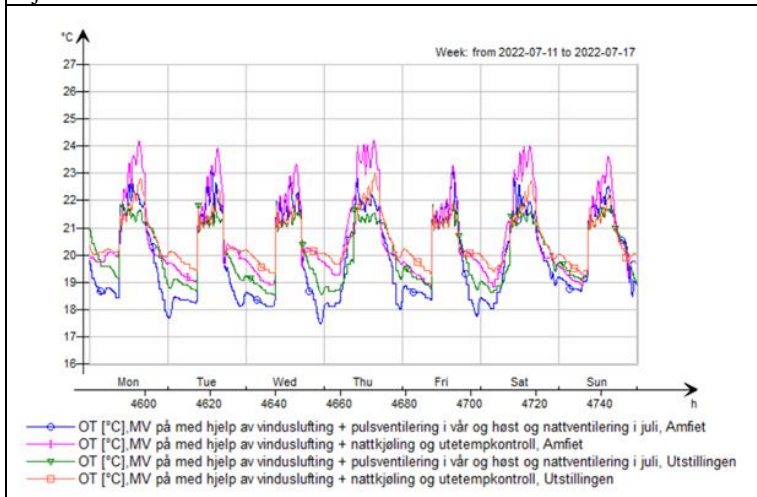
Som det er vist i grafene i figur 67 så er en del av temperaturene som ligger under nedre grensen for temperaturene i kategori I og II fra NS-EN 15251 (Standard Norge, 2014b). Dette er nærmere undersøkt for å se om det skjer i driftstiden eller utenomdriftstiden. Det er sett på en hel uke og en dag for vinterforhold i januar og en hel uke og en dag for sommerforhold i juli. Resultatene er vist i figur 68. Det ser ut som temperaturfallene både i vinter- og sommerforhold skjer i utenomdriftstiden, så derfor er det ingen fare for temperaturfall.



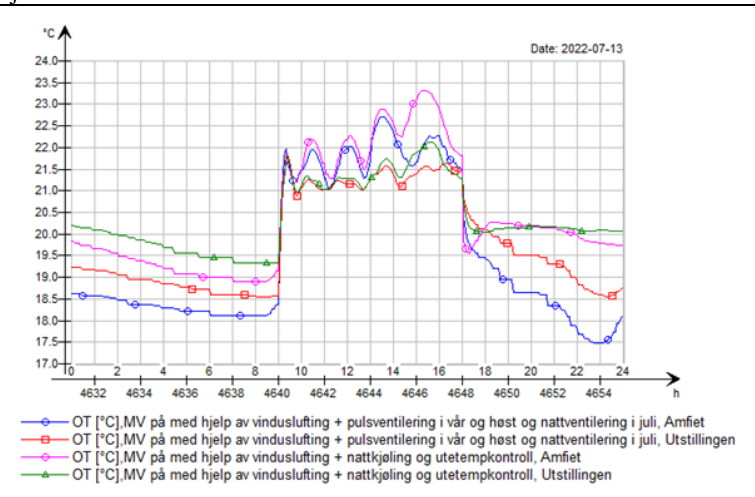
a) Operative temperaturer ved vinterforhold for scenario 2 og 3 i en hel uke i januar 2022



b) Operative temperaturer ved vinterforhold for scenario 2 og 3 i en dag i januar 2022



c) Operative temperaturer ved sommerforhold for scenario 2 og 3 i en hel uke i juli 2022



d) Operative temperaturer ved sommerforhold for scenario 2 og 3 i en dag i juli 2022

Figur 68: Operative temperaturer for en hel uke og en dag i sommer- og vinterforhold ved scenario 2 og 3

5.3.4 Energi

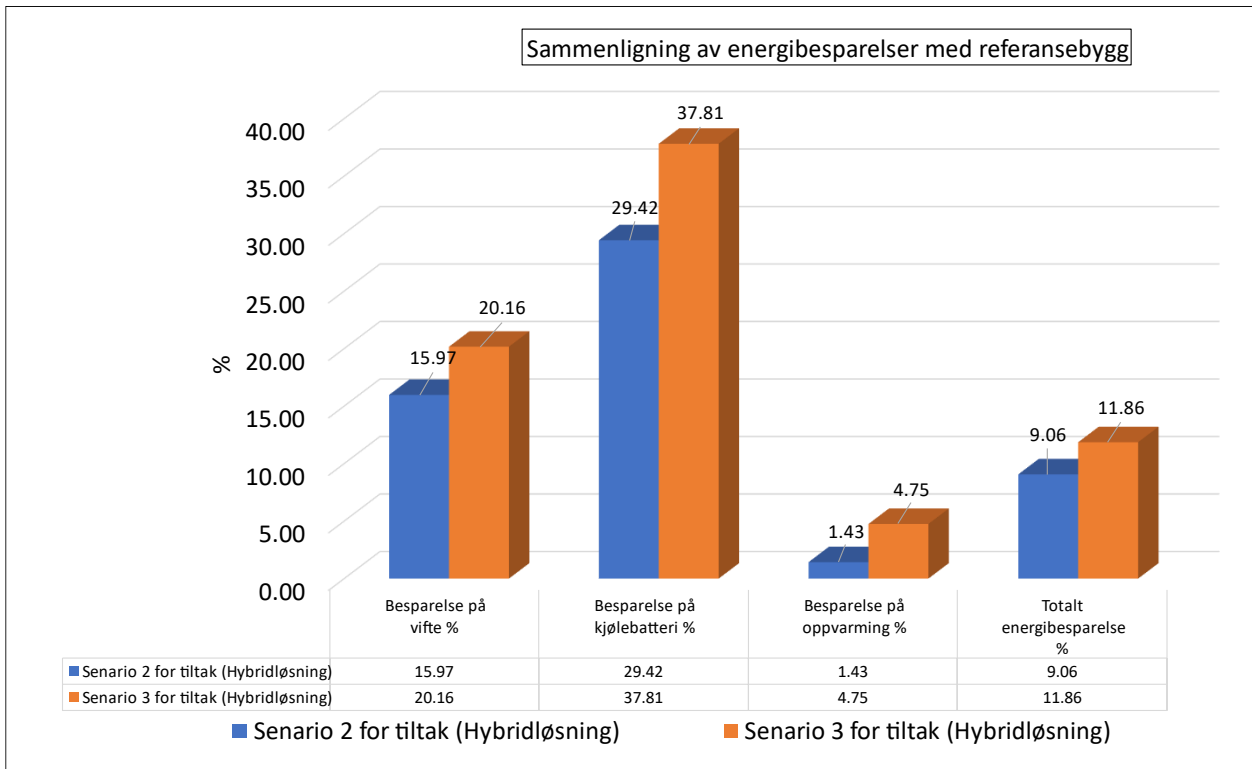
Det er sett på en del energiforbruk for modellene iht. simuleringene for å se på sammenhengen og forskjellen mellom tiltakene, og ikke minst for å se om det er mulig med noen besparelser innen energi for hybridløsninger. Energisimuleringer i IDA-ICE bruker klimafilen og det er heller ikke mulig å sammenligne med TEK eller noen NS-er, men det er mulig å sammenligne tiltaksmodellene med hverandre. Resultatene er vist i tabell 17 samt figur 69. Som tidligere nevnt, forventet produksjon av solseller er hentet fra kommunikasjon med Norconsult rådgiver som hadde et oppdrag ang. solsellene (Norconsult, personlig kommunikasjon, 24.04.23). Resultatene viser at scenario 3 bruker minst netto oppvarming energi, deretter scenario 2 og sist scenario 1, med andre ord full mekaniskventilasjon. Det er tydelig at det blir en del reduksjon i vifte og kjøleenergi med hybridløsninger, men den totale besparelsen dras ned igjen pga. oppvarmingen. Her var det ganske stramt styring og det trenger en veldig god styringsstrategi for at totalt sett skal hybridsystemet kunne bruke mindre energi kontra full mekaniskventilasjon.

Det er også vist at det er mulig med en besparelse på 9,06% på totalt energiforbruket til bygget kontra full mekaniskventilasjon (Referanse) for scenario 2, og 11,86% med besparelser kontra full mekaniskventilasjon for scenario 3. Besparelsen på vifter er på hhv. 15,97% og 20,16% for scenario 2 og 3. Besparelsene på kjølebatteriet er 29,42% og 37,81% på hhv. scenario 2 og 3. Samt besparelsene på oppvarming er på hhv. 1,43% og 4,75% for scenario 2 og 3. Men den totale besparelsen som inkluderer oppvarming, kjøling og vifter er nok mye lavere og dette skyldes at besparelsene på oppvarmingen er veldig lite. Det er også veldig positivt at det er fått til noen besparelser på oppvarming, for vanligvis får man ikke noen besparelser på den posten grunnet ekstra oppvarming av kalde tilluft gjennom vindusåpninger og fasader. Dette er en del besparelser totalt sett, men som sagt er behov for en detaljert og god styringsstrategi for at besparelsene skal oppnås.

Resultatene fra verifiseringsmodellen viser store summer for oppvarming og veldig lite kjøleenergi, dette skyldes naturligventilering per i dag og metoden bruker mye mer energi enn tiltaksmodellene. Denne modellen er ikke sammenlignet med tiltakene.

Tabell 17: Energi vurderinger i IDA-ICE modeller

Diverse scenarioer	Simulert i IDA-ICE for verifisert modell	Senario 1	Senario 2	Senario 3
		Simulert i IDA-ICE med full mekanisk	Mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + pulsventilering i vår og høst og nattventilering i juli	Mekaniskventilasjon alltid på med hjelp av vindusåpning + nattkjøling og utetempkontroll
Energi	Totalt energibehov	Totalt energibehov	Totalt energibehov	Totalt energibehov
Oppvarming [kWh/m ² /år]	115.12	44.899	45.060	44.792
Varmebatteri [kWh/m ² /år]	0.595	3.196	2.30	2.30
kjølebatteri [kWh/m ² /år]	2.447	5.80	4.09	3.61
Vifte [kWh/m ² /år]	0.3087	2.911	2.446	2.324
Varmtvann [kWh/m ² /år]	3.37	3.37	3.37	3.37
Sum kjøling [kWh/m ² /år]	0.31	5.80	4.09	3.61
Sum oppvarming [kWh/m ² /år]	119.08	51.47	50.73	50.46
Forventet produksjon av Solseller [kWh/m ² /år]	30.3	30.3	30.3	30.3
Netto Sum oppvarming [kWh/m ² /år]	88.8	21.2	20.4	20.2
Netto Sum oppvarming, kjøleenergi og vifte [kWh/m ² /år]	89.398	26.966	24.522	23.768
Besparelse på vifte %		Referanse	15.97	20.16
Besparelse på kjølebatteri %		Referanse	29.42	37.81
Besparelse på oppvarming %		Referanse	1.43	4.75
Totalt energibesparelse %		Referanse	9.06	11.86



Figur 69: Oversikt over energibesparelser sammenlignet med referansebygg

6 Diskusjon

I dette delkapittelet er det diskutert alt som helhet når alle brikkene faller på plass, får svarene fra alle resultatene, observasjoner under befaringer, målinger, spørreundersøkelse, kartlegging av bygget og studering/observering av SD-anlegget. Samt er det diskutert en del fordeler og ulemper med valgte løsninger.

6.1 Målinger

Resultatene fra vintermålingene viser veldig høye CO₂-konsentrasjoner, noe høye innetemperaturer. Det har ikke vært verken for høye lufthastigheter eller for høye temperaturgradienter, men det har heller ikke vært lufttilførsel heller. RH% ligget mellom 30-39% på vintertid, dette er innenfor anbefalte verdier. Det har vært for høye PMV og PPD ved Amfiet. DR% har vært borte litt over krav. PD% har vært innenfor krav.

Dette gjaldt vårmålingene også selv om sensorene var bytta og det var noe lavere CO₂-nivåer, men forsett en del for høye CO₂-konsentrasjoner ble målt. Temperaturene var fine, men det var en del for høye hastigheter grunnet vindusåpning. Noe for høye DR% og PPD% også grunnet vindusåpning.

Høye CO₂-konsentrasjoner medfører dårlig luftkvalitet, inneklime og helserisiko. Virusoverføring via luftbåren har vært i søkelys etter COVID-19 pandemien og blant annet REHVA i sin COVID-19 veileder versjon 4.1 angir en god ventilasjon for inntil 2 [L/(s.m²)] for å være innen 800 ppm og foreslått å endre settpunktet til CO₂ til 550 ppm ved behovstyrt ventilasjon (REHVA, 2021). Selv om COVID-19 er avsluttet har ventilasjonen stor betydning for å hindre annen smittespredning. Det blir vanskelig å tilfredsstille kravene og ikke minst få god luftkvalitet med naturligventilasjon.

Vi kan tenke oss en situasjon som det er vist med naturligventilering i vinterdrift med så høye CO₂-konsentrasjonsnivåer og dårlig inneluftkvalitet. Dette er ikke en bra løsning med tanke på luftbårensmitte i samfunnet. Vi vet heller ikke når en smittesituasjon oppstår. Men igjen dette er en vurderingssak som aktorene og prosjekterende må vurdere sammen med byggherren.

6.2 Simuleringer

Resultatene fra simuleringer viser at dette systemet som de har per i dag, dvs. naturligventilasjon i grunn og hjelp av vinduslufting og mekaniskventilasjon er ikke noe bra løsning. Dette vil medføre dårlig inneklime, temperaturfall i arealene, ikke noe kontroll på luftmengder osv.

3 scenarier for tiltak er optimalisert og bearbeidet. Ut ifra simuleringsresultatene så ut som vindusåpningen ved lavere utetemperaturer enn 15 [°C] ville det medårsaka temperaturfall og trekk inne i lokalene, men ved høyere utetemperaturer enn 15 [°C] klarte å innfri inneklime kravene. Alle disse 3 tiltakene vil omdanne et godt inneklime og innen kravene fra myndighetene, men intensjonen for å spare energi lå i grunn for optimalisering av modellene. Det er også påvist at nattventilering er svært effektiv for passivkjøling. Det er mulig å spare en del energi på hybride løsninger, men det trenger en ganske god og planlagt styringsstrategi for å utnytte de passive løsningene mest gunstig og i riktig tid og for at det blir noen besparelser i det hele tatt.

6.3 Oppsummering av årsaker

Utfordringene til Klimahuset er kartlagt og fordelt til 2 årsaksgrupper.

- 1) Fysiske årsaker
- 2) Undervurdering/dimensjonering av passive løsninger

Fysiske årsaker

- Innvendige solavskjerminger i Amfiet er montert feil ved vinduene som kan åpnes, siden de solskjermingene er montert helt fra taket og ned. Akkurat ved disse åpenbare vinduene burde solskjermingen henges under vinduet da dette skjermingen blokkerer for luftbevegelser.

- UiO og driftspersonellet måtte montere netting på alle vinduene, etter at de har hatt inntrengning av ekorn inni huset i fjor. Dette er så klart en ulempe med hybridløsning og vinduslufting generelt. Det kan komme inn både små dyr og insekter inni huset. De nettingene er bra for å blokkere dyr og insekter, men er så klart en ulempe for tilluftmengder og påvirker naturligventileringen lite. De nettingene virker som en sperre som reduserer trykket og effekten av vind, men ved veldig høye vindhastigheter kan være bra for å blokkere en del av den høye lufthastigheten.
- Eller innbrudd er en annen ulempe ved vinduslufting. Her på Klimahuset har de satt åpningene høyt nettopp som en del av den grunnen ifølge funksjonsbeskrivelsen laget av Window Master. Det kan være en ulempe for å hindre at den friske lufta kan komme inn ved lavere åpninger/vinduer, men det kan også medføre trekk ved lave utetemperaturer.
- Korte tidsintervaller for automatisklukking av vinduene kan være utfordrende og kan ha negativ effekt, samt gradvis åpning av vinduene kan være en ulempe. I fjor sommer måtte de ansatte tvangsåpne vinduene selv veldig ofte da det har vært varmt inne. Dette betyr at arealet ikke rekker mange nok luftskifter. På juli burde åpningene være på sitt maksimale rask for å rekke nok luftskifter når det er behov.
- Kortslutning for tilluften. Det er kort avstand mellom tilluft og avtrekk i Utstillingen. De er på hver side av veggen på tekniskrom i andre etasjen, for et stort areal som Utstillingen. En del av tillufta kan kortsluttes.
- Plassering av sensorer. Sensoren på Utstillingen er plassert i en høyde på ca. 1,6 m og rett under tilluftsveggen. Sensoren kan lese feil, siden det kan blåse og kastes en del friskluft på den. En annen ideal plass for sensoren kunne vært midten av rommet for eks. På samme måte er sensoren til Amfiet plassert i et hjørne hvor igjen er ikke en optimal plassering og det er rett bak tilluften.
- Feil ved sensorene: Det er avdekket feil ved sensorene i rommene. Sensorene registrerer under halvparten av reelle verdier. Så de trenger en kalibrering fra leverandøren eller de bør byttes ut. Men selv om de er byttet ut til runde nr. 2 målingen, men resultatene var ikke noe særlig bedre. Det ser ut som sensorene har veldig dårlig oppløsning. Men det er ikke sikker hva kan være årsaken til det. Om det er noe med type sensor å gjøre eller andre fysiske årsaker er ikke mer undersøkt i denne oppgaven.
- Det er to skyvevegg plassert mellom Amfiet og resten av arealet som separerer arealet som et eget rom. De skyveveggene bør ikke være lukket hele tiden, for at lufta skal bevege seg fra Amfiet til Utstillingsrommet. Det opplevde at de skyvedørene var lukket veldig ofte, spesielt når det var samlinger i Amfiet og det er naturlig ved arrangementer. Dette kan være en ulempe da løsningen er basert på en naturlig drift i de lokalene og ikke minst når sentralavtrekket ligger i Utstillingen. Det er en hindring for at den brukte og forurensede lufta kan bevege seg mot avtrekksluken.

Undervurdering/dimensjonering av passive løsninger

- Nattventilering har aldri vært på i Klimahuset, ut ifra undersøkelser ved SD-anlegget. Det ble undersøkt hele 2022. Men ser at vinduene har kun vært åpne i drifts tiden. Ifølge de ansatte så lukkes alle vinduene automatisk når de slår av systemene og slutter for dagen, dette stemmer nok med kurvene for åpningsgradene på vinduene fra SD-anlegget. Nattventilering er vist å være en svært effektiv, det er en passivløsning til å kjøle ned konstruksjonen med termiske masser om sommeren og sparer en del kjøleenergi på dette. Dette er også bevist i simuleringresultatene.
- Resultatene fra beregninger viser at åpningsarealene ved vinduene er underdimensjonert for naturligventilering ved Utstillingen. I tillegg så er det montert netting ved vinduene som enda reduserer på trykkforskjellen. Det er en generell utfordring ved naturligventilering at det er for lite kontroll på luftmengder. Åpningsarealene/fasadeåpninger burde være større på Utstillingen.

7 Konklusjon

Klimahuset hadde en del utfordringer i anlegget som gjorde at det var vanskeligere å finne ut av den konkrete problemstillingen med hybridløsningen. Men istedenfor er det undersøkt et bygg med naturligventilering i grunn som bruker hybridventilasjon i kombinasjon med vinduslufting og mekaniskventilering. Dette var veldig interessant å se på og kanskje enda mer spennende enn tradisjonelle løsninger.

Konklusjonen er basert på de metodene som er brukt, spørreundersøkelser, intervju, termisk inneklimate og CO₂-amålinger for vår og vinter, studering ved SD-anlegget og IDA-ICE simuleringer.

Det er påvist at det kommer til å bli en del høye hastigheter og trekk ved vindusåpninger. Det er også bevist at naturligventilasjon har vanskeligheter med å tilfredsstille god luftkvalitet, det er målt veldig høye CO₂-konsentrasjoner ved naturligventilasjon. Dette kan medføre helserisiko.

Det er konkludert at å kjøre hybridløsninger med vindusåpninger ved lavere utetemperaturer enn 15 [°C] ville det forårsake kraftige temperaturfall og trekk inne i lokalene uten forvarming av tillufta, dermed en del mer oppvarmingsbehov. Det er også påvist at nattventilering er svært effektiv for passivkjøling. Dermed er lagt noen styringsstrategier for vindusåpninger for tiltaksmodellene som vil bidra til en energibesparelse på totalt energiforbruket på hhv. 9,06% og 11,86%, for scenario 2 og 3 med hybride løsninger kontra et fullt mekaniskventilasjonsanlegg.

Det er også mulig å spare en del energi på hybridløsninger, men det trenger en ganske god og planlagt styringsstrategi for å utnytte de passive løsningene mest gunstig og i riktig tid, men i fravær av en god strategi vil systemet ikke fungere som det skal og medårsaker mer energibruk. Hybridløsninger bør også veies mot termiske ulemper, ufiltrert luft, pollen/allergi, støy samt å designe bygg, rådgivning, avanserte fasadematerialer og vedlikeholdskostnader.

7.1 Forslag til videre arbeid

- Foreslår ved en videre arbeid å undersøke forvarming av tilluften samt energien for forvarming av tilluften kontra besparelsen på kjøleenergien.
- Sammenligne varmegjenvinning kontra besparelsen på kjøleenergien.
- Kjøre CFD-simuleringer for luftbevegelser for en vindusåpning og finne optimaliserte åpningshøyder, bredder
- Det hadde vært veldig interessant å se effekten av hybride løsninger på luftbåret smitte med tanke på virus, pollen osv.
- Energibesparelser med nye metoder innen hybridventilasjon
- Se på effekter/ulemper av ufiltrert luft på mennesker
- Kostands vurderinger ved hybride løsninger kontra tradisjonelle løsninger
- Se på hybride løsninger iht. global oppvarming, klimafilere og varmere klima

Referanser

- Algrøy, M. (2014). *Energibruk og inn klima i skoler og barnehager med mixed-mode ventilasjon* [Master, NTNU]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/257765>
- Allergiforbundet, A.-o. (2019). *Verdens Helseorganisasjons definisjon på inn klima (WHO)*. https://www.naaf.no/fokusomrader/inneklima/skolerBarnehager/prosjekter/ungeInneklima/forskere/skoler_paa_vent322/
- Alonsoa, M. J., Mathisenb, H. M. & Collins, R. (2015). Ventilative cooling as a solution for highly insulated buildings in cold climate. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.707>
- Arbeidstilsynet. (u.å.). *Inneklima og luftkvalitet på arbeidsplassen*. Hentet 14.03.2023 fra <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/inneklima/>
- Axley, J. W. (2001). *Application of natural ventilation for U.S. commercial buildings-climate suitability design strategies & methods modeling studies*. National Institute of Standards and Technology.
- Bakke, J. V. (2014). *Samfunnskostnader ved dårlig inn klima i Norge (20/14)*. Helsebiblioteket.no. https://www.helsedirektoratet.no/rapporter/helseradet-spesialnummer-om-inneklima/Helser%C3%A5det%20nr%2020-14%20%E2%80%93%20spesialnummer%20om%20inneklima.pdf/_attachment/inline/6e0ec654-244f-4b1a-9852-1639aafed8f3:2f0d018f7b1423161312edc6443c1437e926a365/Helser%C3%A5det%20nr%2020-14%20%E2%80%93%20spesialnummer%20om%20inneklima.pdf
- Bekkeli, L. T. T. (2021). *Ventilasjonsprinsipp og effekten på inn klima, energibruk og klimagassutslipp* [Master, OsloMet - storbyuniversitetet]. <https://oda.oslomet.no/oda-xmlui/handle/11250/2772500>
- Bjørnli, A. (2016). *Flere prestisjebygg med hybridventilasjon har endt med en ombygging*. ITBaktuellet. <https://www.itbaktuellet.no/2016/05/19/flere-prestisjebygg-med-hybridventilasjon-har-endt-med-en-ombygging/>
- Brager, G. S. & de Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83-96. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4)
- Bryn, I. (2000). *Balansert mekanisk og hybrid ventilasjon med varmegjenvinning* (Erichsen og Horgen).
- Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. (2020). <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/ii/13-4/>
- Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. (2021). <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-1/>
- Chenari, B., Dias Carrilho, J. & Gameiro da Silva, M. (2016). Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1426-1447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.074>
- Cho, H., Cabrera, D., Sardy, S., Kilchherr, R., Yilmaz, S. & Patel, M. K. (2021). Evaluation of performance of energy efficient hybrid ventilation system and analysis of occupants' behavior to control windows. *Building and Environment*, 188, 107434. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107434>

- Cron, F., Inard, C. & Belarbi, R. (2003). Numerical analysis of hybrid ventilation performance depending on climate characteristics. *International Journal of Ventilation*, 1(4), 41-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/14733315.2003.11683643>
- De Dear, R. & Brager, G. S. (2001). The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. *International journal of biometeorology*, 45(2), 100-108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s004840100093>
- DELSANTE, A. & VIK, T. A. (2002). *Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings*. https://scholar.google.com/scholar?hl=no&as_sdt=0%2C5&q=Hybrid+Ventilation+in+New+and+Retrofitted+Office+Buildings&btnG=
- Dokka, T. H., Mysen, M., Schild, P. G. & Tjelflaat, P. O. (2003). *Bygningsintergrert ventilasjonen veileder*. Økobygg. https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2016093048069
- Dokka, T. H. & Vik, T. A. (2001). *Hybrid ventilasjon (Muligheter og barrierer-Eksempler-Kontrollstrategier-Prosjekteringsverktøy)*. SINTEF. sintef.no.
- Fabbri, M., Groote, M. D. & Rapf, O. (2016). *Building renovation passports: customised roadmaps towards deep renovation and better homes*. Buildings Performance Institute Europe. <https://apo.org.au/node/190146>
- Gomis, L. L., Fiorentini, M. & Daly, D. (2021). Potential and practical management of hybrid ventilation in buildings. *Energy and Buildings*, 231, 110597. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110597>
- Halderaker, I. D. (2016). *Design and Energy Analysis of Natural and Hybrid Ventilation Strategies for Norwegian Office Buildings* [Master, NTNU]. <http://hdl.handle.net/11250/2410778>
- Halstadtrø, E. (2011). *Skolebygninger - inn klima og effektiv energibruk* [Master, NTNU]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/234366>
- Hansen, O. S. H., Kjerulf-Jensen, P. & Stampe, O. B. (2013). *Varme-og klimateknikk, (Danvak) grundbog* (4. utg.).
- Haukland, K. D. (2010). *Vurdering av energibruk og inn klima i verneverdige skolebygninger som renoveres* [Master, NTNU]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/233877>
- Heiselberg, P. (2000). Design Principles for Hybrid Ventilation. R0039(1395-7953). <https://vbn.aau.dk/en/publications/design-principles-for-hybrid-ventilation>
- Heiselberg, P. (2006). *Design of Natural and Hybrid Ventilation*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. <https://vbn.aau.dk/en/publications/design-of-natural-and-hybrid-ventilation>
- Ingebrigtsen, S. (2015). *Ventilasjonteknikk del 1*. Skarland Press AS.
- Jagpal, R. (2006). *Control Strategies for Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office and Education Buildings(HyBVENT)*. https://scholar.google.com/scholar?hl=no&as_sdt=0%2C5&q=Control+Strategies+for+Hybrid+Ventilation+in+New+and+Retrofitted+Office+and+Education+Buildings%28HyBVENT%29&btnG=
- Jerkø, S., Mysen, M., Homb, A., Nersveen, J., Nilsen, S., Blom, P. & Christophersen, J. (2006). *Skolemiljø for læring–veiledning for skoleiere. Om inn klima og helhetlig fysisk miljø*. Norges byggforskingsinstitutt. https://scholar.google.com/scholar?hl=no&as_sdt=0%2C5&q=Skolemiljø%20for+for+1

[%C3%A6ring%E2%80%93veiledning+for+skoleeiere.+Om+inneklima+og+helhetlig+fysisk+milj%C3%B8&btnG=](#)

Karlsen, L. R., Nikolaisen, K. F., Hansen, E. & Marini, A. (2021). *RIF-Veileder - TERMISK INNEKLIMA Bransjeveileder*. RIF.

Kim, J. & Dear, R. D. (2021). Is mixed-mode ventilation a comfortable low-energy solution? A literature review. *Building and Environment*, 205, 108215.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108215>

Kleiven, T. (2003). *Natural ventilation in buildings: architectural concepts, consequences and possibilities* [Doctoral thesis, NTNU]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/231090>

Lie, M. (2015). *Hybrid ventilasjon i moderne bygninger* [Master, NTNU].
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2359297>

Liu, W., Gunay, B. H. & Ouf, M. M. (2021). Modeling window and thermostat use behavior to inform sequences of operation in mixed-mode ventilation buildings. *Science and Technology for the Built Environment*, 27(9), 1204-1220.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/23744731.2021.1936629>

Liu, W., Gunay, H. B. & Ouf, M. M. (2022). Regulating window operations using HVAC terminal devices' control sequences: a simulation-based investigation. *Journal of Building Performance Simulation*, 15(2), 194-214.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/19401493.2021.2019309>

Martinsen, H. M. (2020). *Natural entilation modeling in ZEB Lab* [Mater, NTNU].
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2779642>

Mathisen, H. M., Stang, H. G. J., Kleiven, T. & Tjelflaat, P. O. (2004). *Valg mellom naturlig, hybrid og mekanisk ventilasjon*. S. E. AS. <https://hdl.handle.net/11250/2834947>

Mital, A. (2020). *Natural Ventilation Modeling in ZEB Lab* [Master NTNU].
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2779642>

Novakovic, V., Hansen, S. O., Thue, J. V., Wangensteen, I. & Gjerstad, F. O. (2014). *Enøk i bygninger, effektiv energibrk* (3 utgave, 2. opplag 2014. utg.).

Novakovic, V., Hanssen, S. O., Thue, J. V., Wangensteen, I. & Gjerstad, F. O. (2007). *Enøk i bygninger, effektiv energibruk* (3. utg.).

NRK. (2016). *Mange er sykmeldt på grunn av pollenallergi*. NRK.
<https://www.nrk.no/trondelag/mange-er-sykmeldt-pa-grunn-av-pollenallergi-1.12937831>

Olsen, J. (2022). *Overdimensjonering av kjøleanlegg i næringsbygg* [Master, Oslo Met - storbyuniversitetet]. <https://oda.oslomet.no/oda-xmlui/handle/11250/3023503>

PÁLSSON, D. S. (2014). *Hybrid Ventilation: Simulation of Natural Airflow in a Hybrid Ventilation System* [Master, KTH School of Architecture and the Built Environment].
<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A725266&dswid=1191>

Petersen, A. J. (2020). *KLIMAHUSET*. <https://www.erichsen-horgen.no/prosjekter/kulturbygg/klimahuset/>

REHVA. (2021). *REHVA COVID19 GUIDANCE* (How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces). <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance/rehva-covid-19-guidance>

- Ren, C., Cao, S.-J. & Haghghat, F. (2022). A practical approach for preventing dispersion of infection disease in naturally ventilated room. *Journal of Building Engineering*, 48, 103921. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103921>
- Roetzel, A., Tsangrassoulis, A., Dietrich, U. & Busching, S. (2010). Renewable and Sustainable Energy Reviews. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.005>
- Santamouris, M. & Wouters, P. (2006). *Building ventilasjon The state of the art*. Earthscan. https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=0aCOAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=Building+ventilation+The+state+of+the+art&ots=97Sx8ioEhw&sig=xYGYTyvt0IXXU6E44u3UQ6CVYHo&redir_esc=y#v=onepage&q=Building%20ventilation%20The%20state%20of%20the%20art&f=false
- Schild, P. G. (2002). *Nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varmegjenvinning* (8253607830). (Prosjektrapport 341). Byggforsk. <https://byggebolig.no/imageoriginals/b211dab5c72c3cb7a04f86f546ef3a2596af4501.pdf>
- Schild, P. G. (2014). *EPW climate files*. Building Research Design Guides.
- SINTEF. (1999). *471.111- Beregningsmetode for å unngå kondens eller muggvekst på innvendige overflater* (Byggforskserien). https://www.byggforsk.no/dokument/2758/beregningsmetode_for_aa_unngaa_kondens_eller_muggvekst_paa_innvendige_overflater
- SINTEF. (2016). *421.510- Godt inneklime i nye boliger* (Byggforskserien). https://www.byggforsk.no/dokument/197/godt_inneklime_i_nye_boliger?gclid=Cj0KCQiAn4SeBhCwARIsANeF9DIOMSVLVcOK_wnJXtf5BYYI5JLvlbN2fS37oItdJY_2x9LsUCQ9fAaAjGgEALw_wcB
- SINTEF. (2017a). *421.501- Termisk inneklime. Betingelser, tilrettelegging og målinger* (Byggforskserien). https://www.byggforsk.no/dokument/193/termisk_inneklime_betingelser_tilrettelegging_og_maalinger
- SINTEF. (2017b). *421.503- Luftmengder i ventilasjonsanlegg. Krav og anbefalinger* (Byggforskserien). https://www.byggforsk.no/dokument/2753/luftmengder_i_ventilasjonsanlegg_krav_og_anbefalinger
- Standard Norge. (2005). *Ergonomi i termisk miljø - Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende ved kalkulerings av PMV- og PPD indeks og lokal termisk komfort* (NS-EN ISO 7730:2005). Standard Norge. <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+ISO+7730%3a2005&subscr=1>
- Standard Norge. (2014a). *Beregning av bygningers energiytelse Metode og data* (NS 3031 :2014). Standard Norge.
- Standard Norge. (2014b). *Inneklimeparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk* (NS-EN 15251:2007+NA:2014). Standard Norge,.
- Standard Norge. (2019). *Bygningers energiytelse - Ventilasjon i bygninger - Del 1: Inneklimeparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk (Modul M1-6)* (NS-EN 16798-1:2019). Standard Norge. <https://www-standard-no.ezproxy.oslomet.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+16798-1%3a2019>

- Stasi, R., Ruggiero, F. & Berardi, U. (2022). The efficiency of hybrid ventilation on cooling energy savings in NZEBs. *Journal of Building Engineering*, 53, 104401. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104401>
- Statistisk sentralbyrå. (2020). 07809: Fysisk og kjemisk arbeidsmiljø, etter arbeidstidsordning (prosent) 1989 - 2019. I *Arbeidsmiljø, levekårsundersøkelsen*. SSB. <https://www.ssb.no/statbank/table/07809/tableViewLayout1/>
- Tran, T. (2013). *Optimization of Natural Ventilation Design in Hot and Humid Climates Using Building Energy Simulation* [Doctoral thesis, School of Architecture University of Hawai'i]. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/items/9ce6f1ea-91a9-414d-b52c-115f73202778>
- Trøndelag Fylkeskommune. (2020). *Beregning av klimagassutslipp og energibruk* (NOTAT – ZEB O).
- Wahlström, Å., Quicklund, H. & Ruud, S. (2006). Demand-controlled hybrid ventilation-an alternative? <http://ri.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A969437&dswid=2561>
- Wigenstad, T., Schild, P. G., Klinski, M. & Simonsen, I. (2012). *Ventilasjons-og varmeløsninger i boliger med lavt energibehov* (8253613172). (Prosjektrapport 110). SINTEF. https://www.sintefbok.no/book/index/944/ventilasjons_og_varmeloesninger_i_boliger_med_lavt_energiebehov
- Window Master. (u.å.). WindowMaster A/S. Hentet 14.02.2023 fra <https://www.windowmaster.dk/ressourcer/beregnere/projekteringsvaerktoj-til-naturlig-ventilation/metrisk/>
- Wouters, P., Heijmans, N., Delmotte, C. & Vandaele, L. (1999). Classification of hybrid ventilation concepts. *Proceedings 21st AIVC Annual Conference, "Innovations in Ventilation Technology, 26-29 September 2000, paper 3, 35(2)*. https://scholar.google.com/scholar?hl=no&as_sdt=0%2C5&q=Classification+of+hybrid+ventilation+concepts&btnG=
- Wouters, P., Heijmans, N., Delmotte, C. & Vandaele, L. (2000). Typology of hybrid ventilation systems and practical examples. *Proceedings 21st AIVC Annual Conference, "Innovations in Ventilation Technology, 26-29 September 2000, paper 3, 26, 29*. https://scholar.google.com/scholar?hl=no&as_sdt=0%2C5&q=Typology+of+hybrid+ventilation+systems+and+practical+examples&btnG=
- YR. (2023). *Oslo (Blindern)*. [https://www.yr.no/nb/historikk/graf/5-18700/Norge/Oslo/Oslo/Oslo%20\(Blindern\)?q=2023-02-07](https://www.yr.no/nb/historikk/graf/5-18700/Norge/Oslo/Oslo/Oslo%20(Blindern)?q=2023-02-07)
- Zhao, Y. (2007). *A decision-support framework for design of natural ventilation in non-residential buildings* [Doctoral, Virginia Tech]. <http://hdl.handle.net/10919/27061>
- Øgård, Y. G. (2014). *Ventilative cooling for schools and kindergartens* [Master, NTNU]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2353757>
- Ørnes, I. R. (2008). *Analyse av energibruk og termisk inn klima i næringsbygg med kjøling* [Master, NTNU]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/233777>
- Aamodt, A., Chaudhuri, A., Madessa, H. & Vik, T. A. (2021). On the energy performance of micro-encapsulated phase change material enhanced spackling with night ventilation. *Applied Sciences*, 11, 1472. <https://doi.org/10.3390/app11041472>

Vedlegg

Vedlegg 1: Avtale mellom OsloMet og Multiconsult



AVTALE OM MASTEROPPGAVE
OsloMet – storbyuniversitetet
Fakultet for teknologi, kunst og design, enhet Energi og miljø
masterstudium i energi og miljø i bygg
undervisningsåret 2022/ 2023

Ved OsloMet – storbyuniversitetet (OsloMet¹), Fakultet for teknologi, kunst og design (TKD), enhet Energi og miljø (EM), heretter kalt institusjonen, avsluttes masterstudiet i energi og miljø i bygg med en master oppgave. Den utføres som et prosjekt med et omfang på 30 studiepoeng. Arbeidsmengden tilsvarer ca. 37 timer/uke for en student i ett semester. Prosjektperioden er vanligvis fra begynnelsen av januar til slutten av mai. Resultatet presenteres normalt i en rapport, unntaksvis forekommer i tillegg et sluttresultat i form av et produkt.

Prosjektet utføres ofte i samarbeid med ekstern bedrift, bransjeorganisasjon, offentlig institusjon o.l, heretter kalt **samarbeidspartner**. Denne avtalen definerer plikter og rettigheter i forbindelse med masteroppgaven for OsloMet-TDK-EM og samarbeidspartner.

1. SAMARBEIDSPARTNER

Multiconsult AS

2. TITTEL PÅ PROSJEKTET

Effekten av vindusåpning som hybridventilasjonsteknologi på termisk inn klima og energibruk på Klimahuset

Prosjektet er beskrevet i vedlagte dokument, totalt sider

¹ OsloMet – storbyuniversitetet var tidligere Høgskolen i Oslo og Akershus, HiOA. Per november 2018 er fortsatt en rekke dokument og nettsider relatert til og/eller merket HiOA, men de er like relevant for OsloMet

3. STUDENT

Prosjektet utføres normalt av én student. Arbeidet med prosjektet er en del av utdanningen, og studenten er derfor underlagt institusjonen og dens reglement under prosjektarbeidet. Det forventes at studenten arbeider med prosjektet etter beste evne.

Navn på studenten	Epost	Telefon	Studium
Zolykha Ahmadi	s195833@oslomet.no	41420570	EM

4. KONTAKTPERSONER

Kontaktpersoner institusjonen	ved	Epost	Telefon	Enhet
Mehrdad Rabani		mehrab@oslomet.no	92553619	EM
Kontaktpersoner samarbeidspartner	hos	Epost	Telefon	Enhet
Ida Bryn		Ida.Bryn@multiconsult.no	91137649	Multiconsult AS

UNDERTEGNING

Avtalen er undertegnet i tre eksemplarer hvorav OsloMet, samarbeidspartner og studenten har hvert sitt eksemplar.

Oslo, den 02.01.2023

For OsloMet

For samarbeidspartnerne

_____Mehrdad Rabani_____

_____Ida Bryn_____

.....

.....

5. RETTIGHETER

Det er studenten selv som eier resultatene i forskningsprosjekter eller prosjektoppgaver, med mindre annet er avtalt med institusjonene eller samarbeidspartner, les mer om [rettighetspolitikk for studenter ved OsloMet](#). Andres (herunder institusjonens og samarbeidspartners) rettigheter må avklares og nedfelles i en avtale før oppstart av forskningsprosjektet eller prosjektoppgaven, gjerne i form av en [overdragelseserklæring](#). Studentene må selv innhente rettigheter til bruk av bilder og annet materiale som inngår i sluttproduktet.

6. TAUSHETSPLIKT

Både OsloMet og studenten har taushetsplikt med hensyn på all informasjon de måtte få hos samarbeidspartner i forbindelse med prosjektarbeidet og som samarbeidspartner krever hemmeligholdt.

Eventuelle krav om dokumentasjon for slik fortrolighet underskrives separat av studenten og OsloMets veileder overfor eksternt kontaktperson.

7. VEILEDNING/EVALUERING

Samarbeidspartner skal til enhver tid ha minst en veileder/kontaktperson for studenten. Vedkommende skal hjelpe studenten med tilrettelegging og med alle nødvendige avgrensninger, presiseringer og krav til prosjektets resultater.

OsloMet oppnevner en av sine ansatte som intern veileder for studenten.

En person hos samarbeidspartner kan bli bedt om å evaluere oppgaven som sensor, der dette er hensiktsmessig for OsloMet.

8. UTSTYR

Alt utstyr og all programvare som OsloMet disponerer og som er tilgjengelig for dette bruket, stilles til studentens disposisjon. Dersom OsloMets programvare inngår i en løsning som skal brukes senere, må samarbeidspartner skaffe sin egen versjon av programvaren.

Alt spesialutstyr og all spesialprogramvare som OsloMet ikke disponerer og som er nødvendig for å løse prosjektet, må av samarbeidspartner stilles til studentenes disposisjon i tide.

Nødvendig kontorplass må stilles til disposisjon hvis prosjektet krever regelmessig tilstedeværelse hos samarbeidspartner. Utstyr som lånes av samarbeidspartner, må samarbeidspartner selv sørge for er dekket med nødvendige forsikringer. Det forutsettes at alt utstyr er tilfredsstillende merket, slik at det tydelig framgår hvilket utstyr som tilhører OsloMet og hvilket utstyr som tilhører samarbeidspartner.



Al bruk av OsloMets utstyr, som er tilgjengelig for dette bruket, skjer vederlagsfritt. Samarbeidspartner dekker selv sine utgifter i forbindelse med prosjektet. Eventuelle utgifter ut over dette og utgiftenes fordeling, må avtales.

9. ANSVAR

Samarbeidspartner er klar over at masteroppgaven er et ledd i studentens utdanning. OsloMet og studenten har derfor ikke ansvar for prosjektets resultat. OsloMet har heller ikke ansvar for eventuelle skader som måtte påføres samarbeidspartners utstyr. Samarbeidspartner sørger for nødvendige forsikringer, også for studenten for det tidsrom de arbeider på prosjektet i samarbeidspartners lokaler.

Samarbeidspartner er innforstått med at OsloMet som statsinstitusjon er selvassurandør.

10. ENDRINGER

Eventuelle endringer/tillegg til denne standardavtalen må dokumenteres i eget vedlegg.

*Vedlegg
Prosjektbeskrivelse*

Vedlegg 2: Referat

Referat fra intervju med Jens L. Mathiasen (jlm.no@windowmaster.com) fra Window Master

Gjest: Jens L. Mathiasen

Student: Zolykha Ahmadi

Bakgrunn: Bakgrunnen for intervjuet er en masteroppgave fra OsloMet og Multiconsult om hybridventilasjon våren 2023

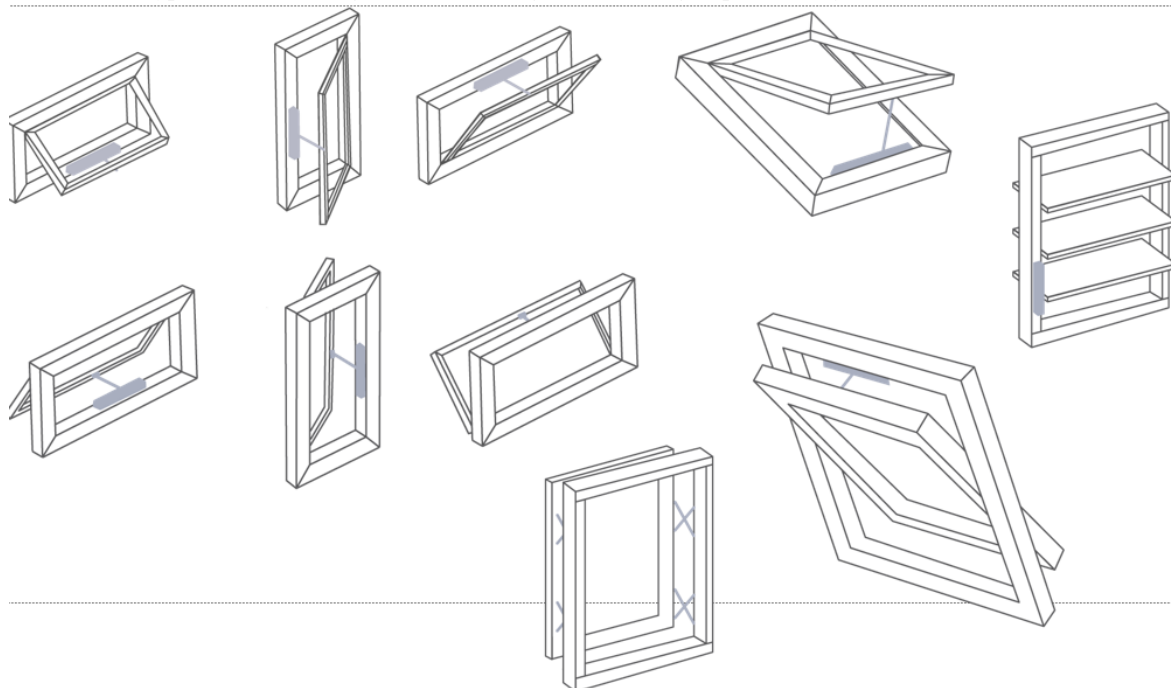
Dato:25.01.2023, Sted: Digitalt på teams

Spørsmålene:

1. Hvem er du, hva er din rolle i WM samt hvor lenge har du jobbet i WM?
"Jeg heter Jens L. Mathiasen og er dansk. Jeg har jobbet i Window Master siden 2006. Fra 2006 til 2012 har jeg jobbet i København. I 2012 har vi etablert avdeling i Norge og jeg startet her og vært med siden da. Jobber som Business Development Manager i Window Master og driver med alt fra å presentere løsninger, være med prosjekter helt fra tidlig fase og selge produkter".
2. Hvor har Window master etablert seg?
"Window Master er en dansk bedrift som er etablert i 1990 og de har utviklet motorer til vinduer. Vi har etablert oss i 6 land og har store deler av produksjonen vår i Tyskland og noe i UK, med ca. 140 ansatte".
3. Hvor mange prosjekter har dere hatt i Norge?
"Vi har levert ca. 100 prosjekter i utlandet og 50 prosjekter i Norge".
4. Leverer dere kun vinduene eller automatikken til det også?
"Vi leverer motorer til vinduer, automatikk og software/PC pakker til drifting. Vi leverer ca. 50% hybrid løsninger og 50% på brann ventilering".
5. Er det mange nye prosjekter eller mest rehab prosjekter dere leverer til?
"Vi Leverer både til nye og rehab-prosjekter. Kanskje 1/3 av markedet i Oslo er rehab. Men rehab-prosjekter har sine begrensninger med vindustyper, dimensjoner tilgjengelighet, design osv".
6. Hva med nye prosjekter?
"For nye prosjekter er det veldig viktig at vi er involvert fra tidlig fase. Vi samarbeider veldig tett med ARK for å designe byggene så tilrettelagt så mulig for å få mest mulig effekt av hybride og naturlige løsning".
7. Hva slags type prosjekter leverer dere mest til?
"Vi levert mest til skoler og barnehager i Norge".
8. Hva slags løsninger er det dere leverer?
"Vi leverer motorer til forskjellige type vinduer, referer til figuren under. Det kartlegges for andelen av vinduslufting og mekaniskventilasjon ut ifra prosjektets situasjon, basert på husets beliggenhet, vind, utetemperatur, vindhastighet og vindretning. Samtidig systemet medfølger sensurer i rommet som måler innetemperaturer og CO₂-nivå. Basert på innetemperatur og CO₂-nivå inne så åpnes vinduene automatisk i intervaller og lukkes automatisk. Det bør legge sinn settpunkter for inne forhold som man ønsker. Vi bruker også samtidighet. Nattkjøling med vinduslufting er en type løsning som blir brukt.

Vi har også levert noe som heter lønnsomhet, hvor man får beskjed for at nå er det lønnsom å åpne vinduet og da kan man overstyre vinduene manuelt”.

Type vinduer som finnes motorer for, bilde er fra presentasjonen til Window Master med



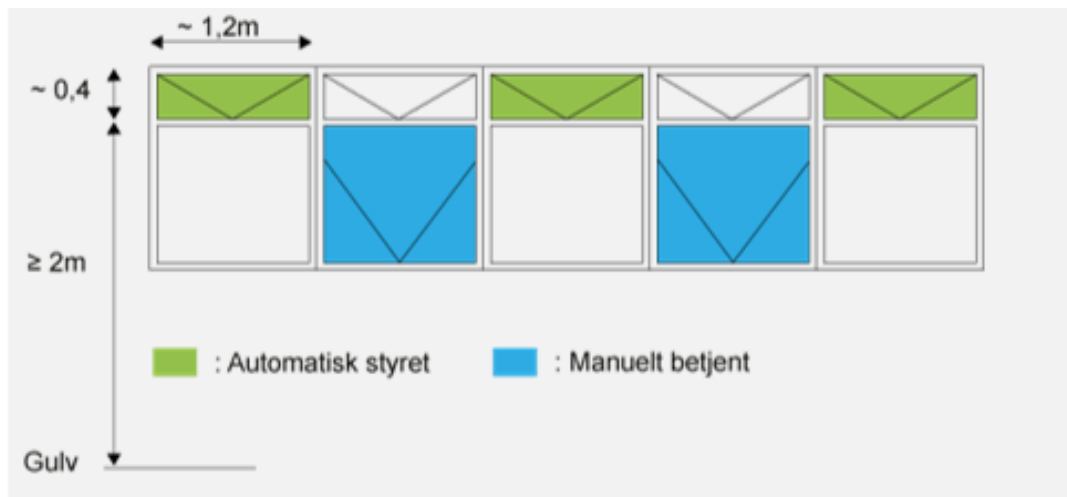
tillatelse fra dem. (Window Master, personlig kommunikasjon, 01.februar.2023)

9. Kjører dere beregninger, CFD beregninger eller IDA-ICE beregninger for byggene?

” Vi kjører CFD-beregninger hvis vi får betalt for det, men ikke energiberegninger nei. Men det er for eksempel pilot prosjekter som har vært på masteroppgaver og vi er også involvert i Hybridene som er et tverrfaglig forskningsprosjekt i markedet og dere fra Multiconsult er en del av det prosjektet. Det kommer det en del pilot prosjekter etter hvert”.

10. Hva er anbefalte vindushøyder og vindusåpninger hos dere?

” Vi anbefaler en høyde fra golv til åpning på minst 2 meter, 0,4 m høyde på det vinduet som skal åpnes og 1,2 m bredde på vinduet. Det er for å ha kontroll på det såkalte «geometriske arealet» for vindusåpningen og unngå trekk i oppholdssonen”. Referer til figur under.



Typisk størrelse for høyder på vindu anbefalt fra Window Master, bilde er fra presentasjonen til Window Master med tillatelse fra dem. (Window Master, personlig kommunikasjon, 01.februar.2023)

11. Sesonger?

" På vinterstid skjer det veldig lite av vindusluftingen. Det blir ofte trekk pga. veldig lave utetemperaturer. Men for eks. vi har pulsventilering. I noen tilfeller så åpnes vinduet kanskje 3 minutter i løpet av en time på vinterstid. Dette for å bidra litt til mekaniskventilasjon med friskluftmengder. Men det brukes mest av vinduslufting på sommer, vår og høst da det er høyere utetemperaturer. I de sesongene kjøres det tettere og oftere intervaller med mest mulig åpningsgrader. Vi har en beregningsverktøy på hjemmesida vår for å beregne åpningsgraden på vinduet, men den sier ikke noe om hvor lenge skal være åpen. I aller fleste tilfeller så startes med en lav åpningsgrad kanskje 20/30% også logges det temperatur eller CO₂ inne for å se resultatet også gires på gradvis hvis det er ikke nok".

12. Har dere forvarming av utelufta ved vinduslufting?

" Nei det har vi ikke levert".

13. Har dere erfaringer med resultater på energibruken på prosjekter etter at dere har levert løsninger?

" Vi har referanseprosjekter, men kjører ikke energisimuleringer selv. Vi kan tilby optimaliseringsperioder. Det vi erfarer at prosjektene sparer mye på mekaniskkjøling på sommertid, med andre ord vi flytter VAV-en til vinduet på sommer. Og naturlig nok ikke så mye besparelser på vinter, men på vinter varmegjenvinningen kjøres. Vi anbefaler å ta i bruk vinduslufting når temperaturer er på minst 10/12 [°C] ute".

14. Har dere studert prosjektene med tanke på termisk inneklima?

" Nei, men vi har logging av temperaturer og CO₂ og kan hente grafer om vi vil, ellers er systemet koblet mot SD anlegget og settpunktene våre er iht. arbeidstilsynetskrav «Inneklima og luftkvalitet på arbeidsplassen» f.eks. ".

15. Tilfredsstiller generelt løsningene deres tekniske krav?

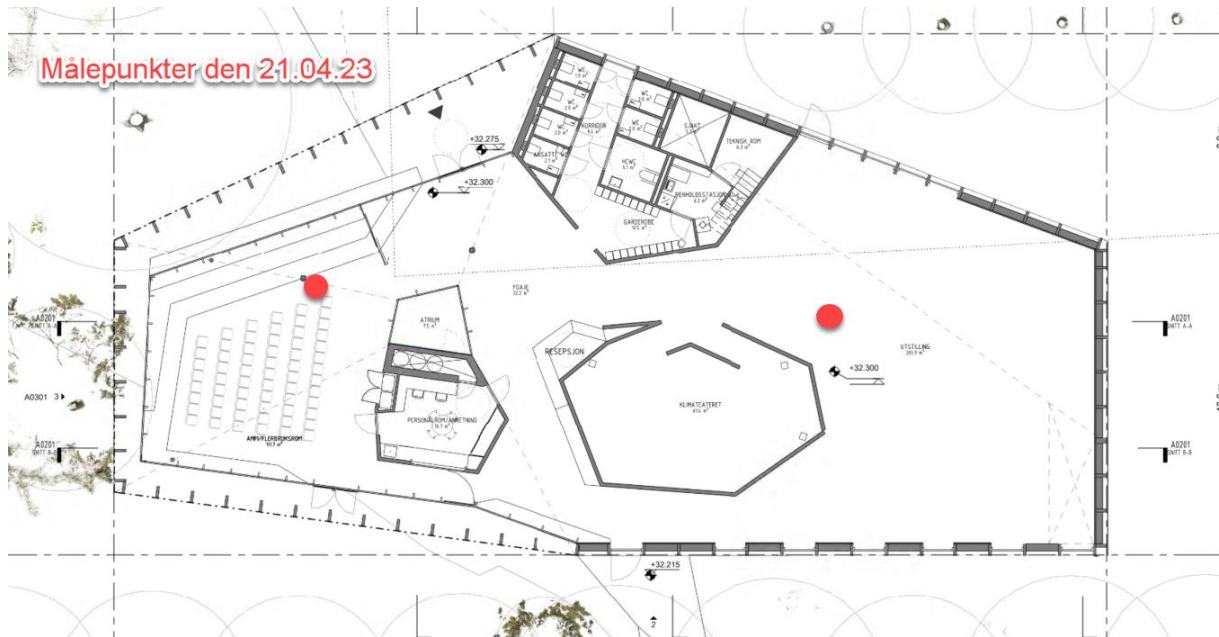
" Det har levert løsninger for 1.5 millioner på Masterfjellskole. Der kjører dem en besparelse på 50% med luftmengder. Gullhaugtorg på Nydalen er en av prosjektene som vi har levert og

er under bygging nå, plan 1 og 2 er hybrid mens plan 3-7 er full naturligventilasjon. Samt Steiner skole på Gjøvik er levert med hybrid løsning av oss.

Bamble VGS, Kimahuset på tøyen, Kjølberggata 21 er også andre prosjekter som er levert av oss”.

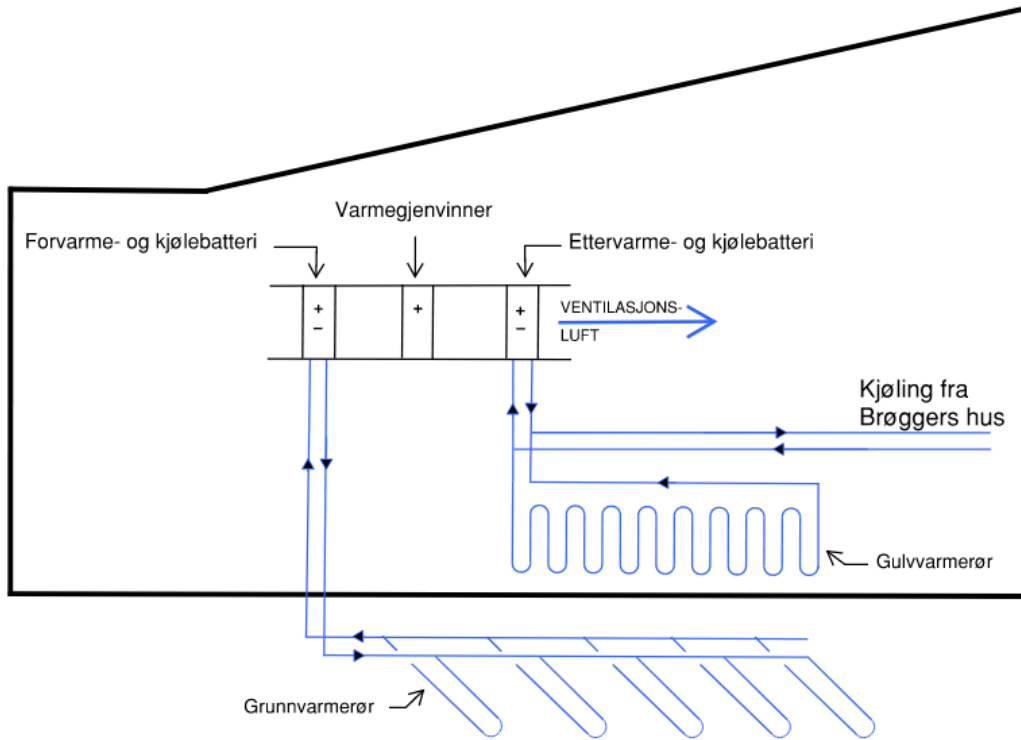
” Vi leverer applikasjoner til styring om det bestilles. Leverer også serviceavtaler”.

Vedlegg 3: Målepunkter for den 21.04.23

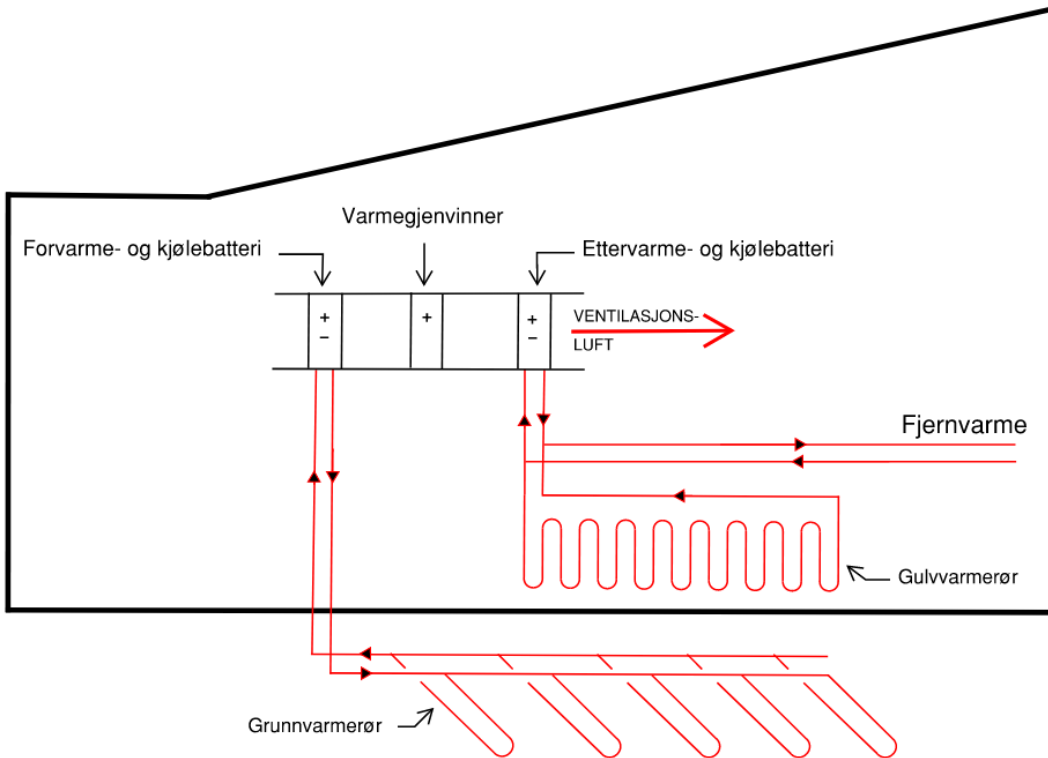


Vedlegg 5: Prinsippskjema for varme- og kjølemodus

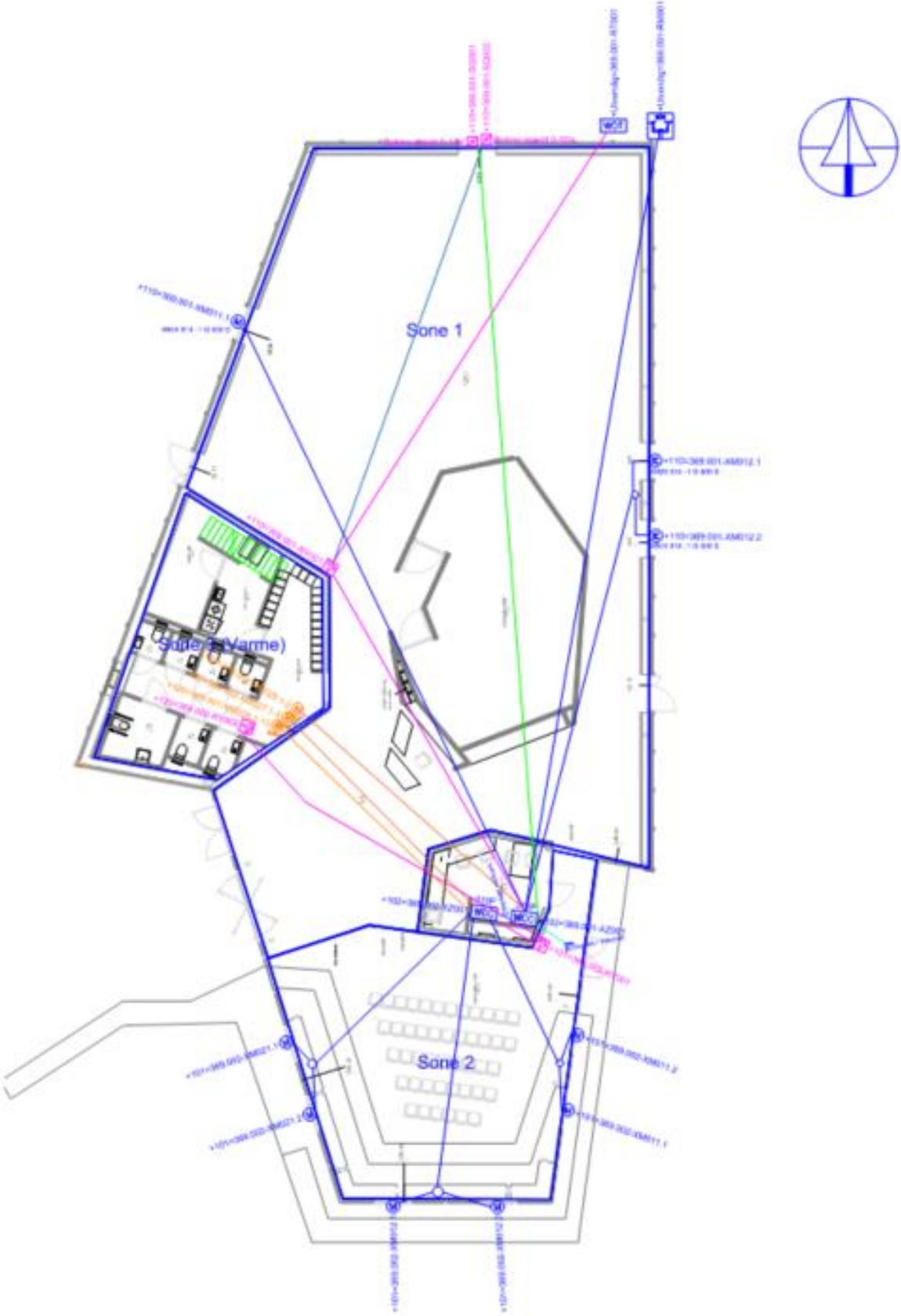
Kjøle Modus



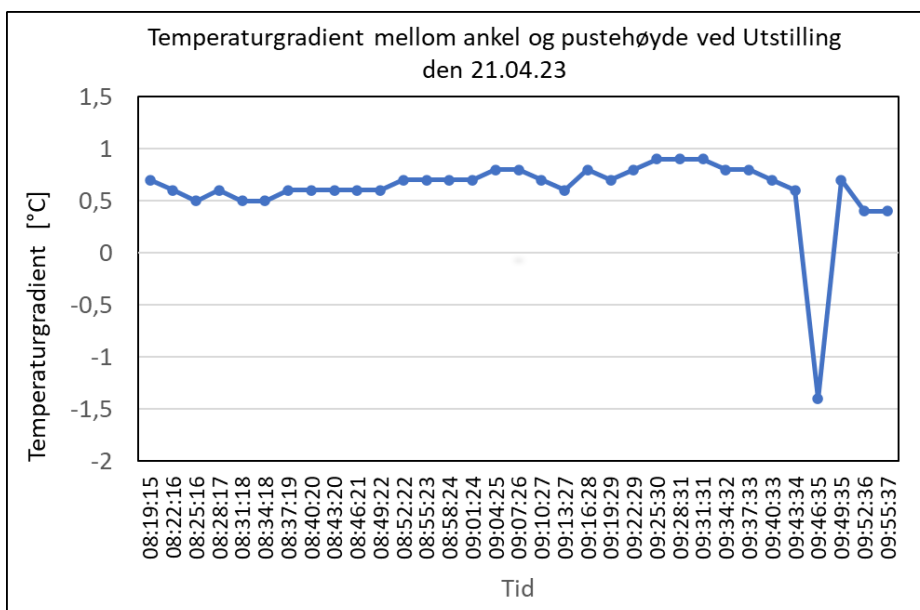
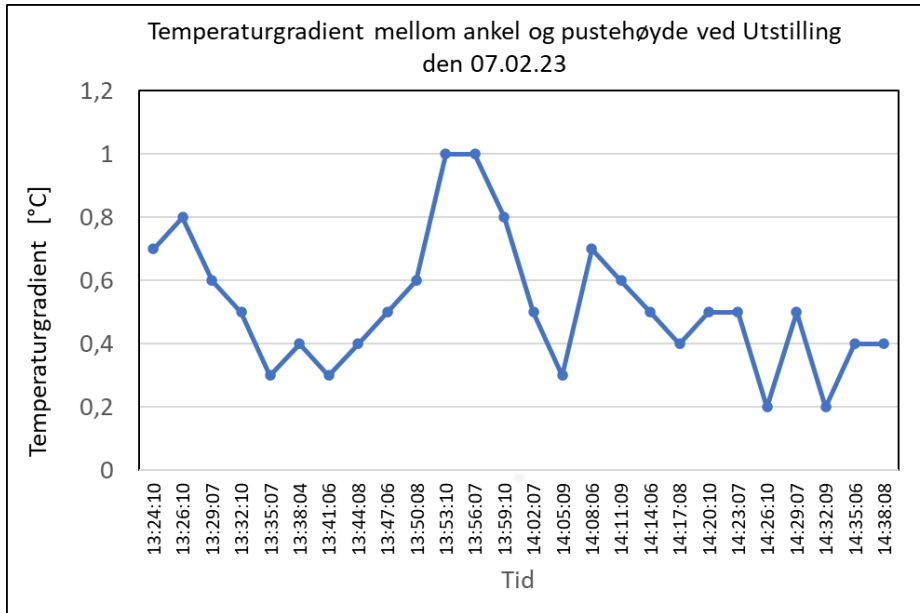
Varme Modus



Vedlegg 6: Systemtegning for hybridventilasjon fra Window Master



Vedlegg 7: Temperaturgradient ved Utstillingen

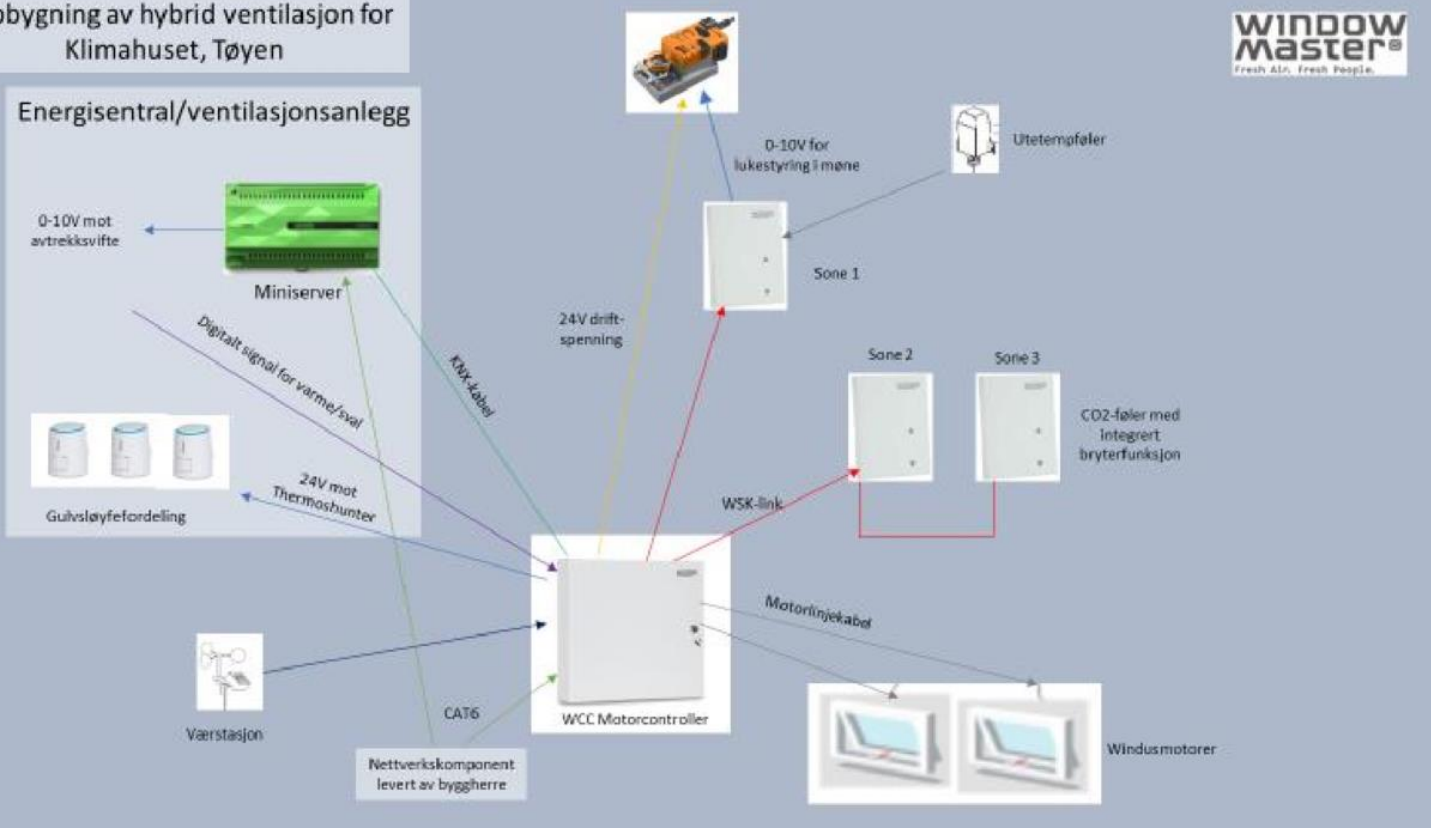


Vedlegg 8: Oppbygning av hybridventilasjon fra Window Master



Oppbygning av hybrid ventilasjon for Klimahuset, Tøyen

Energisentral/ventilasjonsanlegg

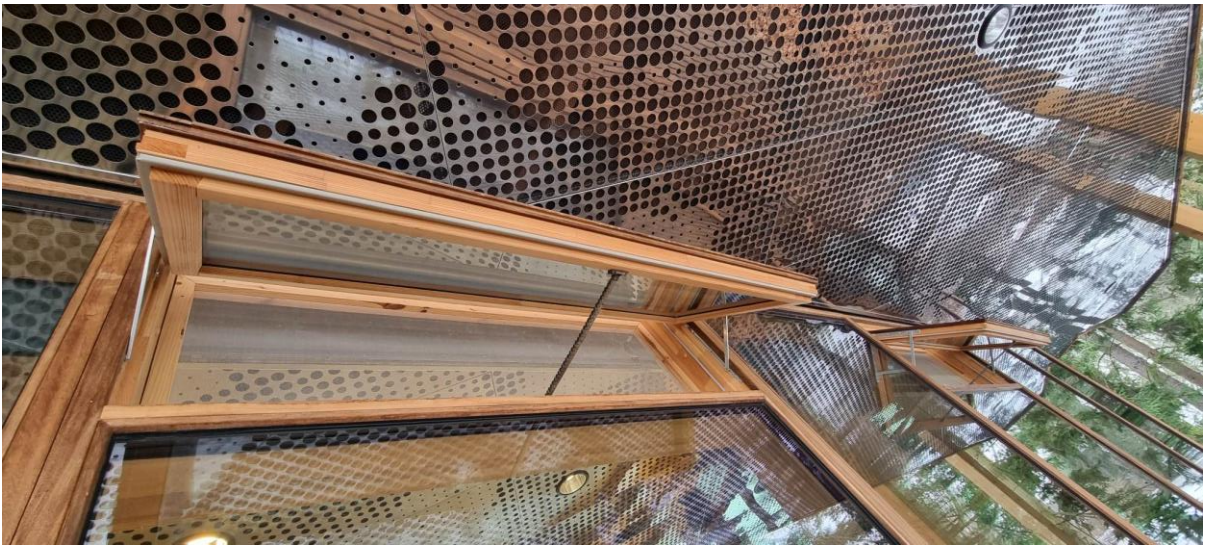


Vedlegg 9: Bilder for tillufter og avtrekk







Øverste bilde er tillufter og bilde nr. 2 er avtrekk samt de andre bildene er vegggrister for tillufter






Vedlegg 10: Bilde av motorstyrte vinduer med innvendige solskjerminger



Vedlegg 11: Instrumentliste

Instrumentliste							
Måletype	inv.nr.	Instrument	Modell	Serienr.	Nøyaktighet og usikkerhet	Måleområde	Bilde
CO2 logger	IKLO 13	TSI Q-Trak + multiprobe	7565-X	7565X	+/-3% eller ± 50 ppm (CO2) +/- 3% (RH%)	0-5000 ppm CO2 5% to 95% (RH%)	
Lufthastighet+luf ttemperatur	IKLO 16	Swema 3000	764202	676039	$\pm 0,3$ °C ved 20 °C $\pm 1,0$ °C ved -20...+80°C ca. $\pm 0,3\%$ leseverdige, min ± 1 l/s 0,1...1,33 m/s $\pm 0,04$ m/s ved 20 °C 1,33...30 m/s $\pm 0,3\%$ m/s ved 20 °C 0,1...1,10 m/s $\pm 0,05$ m/s ved endrer °C 1,10...30 m/s $\pm 4,5\%$ m/s ved endrer °C	-10...+50°C 0,1...30 m/s	
Lufthastighet+luf ttemperatur	IKLO 34	Swema 3000	764202	700589	$\pm 0,3$ °C ved 20 °C $\pm 1,0$ °C ved -20...+80°C ca. $\pm 0,3\%$ leseverdige, min ± 1 l/s 0,1...1,33 m/s $\pm 0,04$ m/s ved 20 °C 1,33...30 m/s $\pm 0,3\%$ m/s ved 20 °C 0,1...1,10 m/s $\pm 0,05$ m/s ved endrer °C 1,10...30 m/s $\pm 4,5\%$ m/s ved endrer °C	-10...+50°C 0,1...30 m/s	
Lufthastighet+luf ttemperatur	IKLO 17	Swema 3000	764202	675879	$\pm 0,3$ °C ved 20 °C $\pm 1,0$ °C ved -20...+80°C ca. $\pm 0,3\%$ leseverdige, min ± 1 l/s 0,1...1,33 m/s $\pm 0,04$ m/s ved 20 °C 1,33...30 m/s $\pm 0,3\%$ m/s ved 20 °C 0,1...1,10 m/s $\pm 0,05$ m/s ved endrer °C 1,10...30 m/s $\pm 4,5\%$ m/s ved endrer °C	-10...+50°C 0,1...30 m/s	
Lufthastighet+luf ttemperatur	IKLO 28	Swema 3000	764202	675879	$\pm 0,3$ °C ved 20 °C $\pm 1,0$ °C ved -20...+80°C ca. $\pm 0,3\%$ leseverdige, min ± 1 l/s 0,1...1,33 m/s $\pm 0,04$ m/s ved 20 °C 1,33...30 m/s $\pm 0,3\%$ m/s ved 20 °C 0,1...1,10 m/s $\pm 0,05$ m/s ved endrer °C 1,10...30 m/s $\pm 4,5\%$ m/s ved endrer °C	-10...+50°C 0,1...30 m/s	
Overflatetempere turmåler	-	PC-logger 31000-BT	-	-	10V område: 100ppm + 2 skaladeler, 1000mV område: 200ppm + 2 skaladeler, 100mV område: 300ppm + 2 skaladeler, 50mV område: 400ppm + 2 skaladeler, 20mA område: 300ppm + 2	Under drift - 20°C. +50°C Lagring -30°C.. +55°C	

					skaladeler, Cold junction: 0,5°		
Stråletemperatur	-	Globe termometer	150 mm Ø	-	Ved 22 °C ±1 digit	0 ... +120°C	
Lufthastighet+luf ttemperatur	-	Swema 03 Anemometer- Draught	-	-	Ved 20 ...25°C ±0.03 m/s ved 0.05 ...1.0 m/s ±3% lest verdi ved 1.0 ...3.0 m/s at 15...30°C ±0.04 m/s ved 0.05...1.00 m/s ±4% lest verdig ved 1.00...3.00 m/s Temperatur ±0.1°C	0.05- 3.00 m/s ved 15 ...30°C 10 ...40°C 600 ... 1200 hPa	
Lufthastighet+luf ttemperatur+LUF tmengder	-	Probe SWA 31	Ø8-10 mm, 66...116cm lang	-	Ved 23°C ± 3°C ±0,03m/s at 0,1...0,4 m/s ±0,04m/s at 0,4...1,33 m/s ±3% read value at 1,33...30 m/s Ved full range +10...+45°C ±4,5% read value at 1,10...30m/s Ved full range -20...+80°C ±0,3°C at 23°C, ±1,0°C at - 20...+80°C	0,1...10m/s -20...80°C 2 ...900 l/s	

Vedlegg 12: Oppsummerte svar fra spørreundersøkelsen for gutter

Spørreundersøkelse for inneklima i Klimahuset				
Kjønn				
Mann	6			
Kvinne				
Alder				
Under 20	5			
20-40 År	1			
41-65 År				
over 65				
Status				
	Ja	Nei		
Ansatt	1			
Besøkende	5			
Har du vært plaget med noen av følgende faktorer i dag?				
	Ja ofte	Ja blant	Nei	Aldri
Trekk		2	2	1
For Varm			4	2
For kaldt		1	4	1
Akkurat passende temperatur	4	1		1
Innestengt og dårlig luft	1	2	2	1
Ubehagelig lukt		1	4	1
Tørr luft		2	3	1
Tørrhet i halsen			5	1
Tørr eller irritert hud	1		4	1
Tungt i hode	2	1	2	1
Hodepine		1	4	1
Tretthet	1	2	3	
Var dere fornøyd temperaturene i dag	2	2	2	
Hvordan opplever dere inneklima på høst og våren?				
	Ja ofte	Ja blant	Nei	Aldri
Trekk		1		
For Varm				1
For kaldt	1			
Akkurat passende temperatur		1		
Innestengt og dårlig luft	1			
Ubehagelig lukt			1	
Tørr luft	1			
Tørrhet i halsen			1	
Tørr eller irritert hud			1	
Tungt i hode	1			
Hodepine		1		

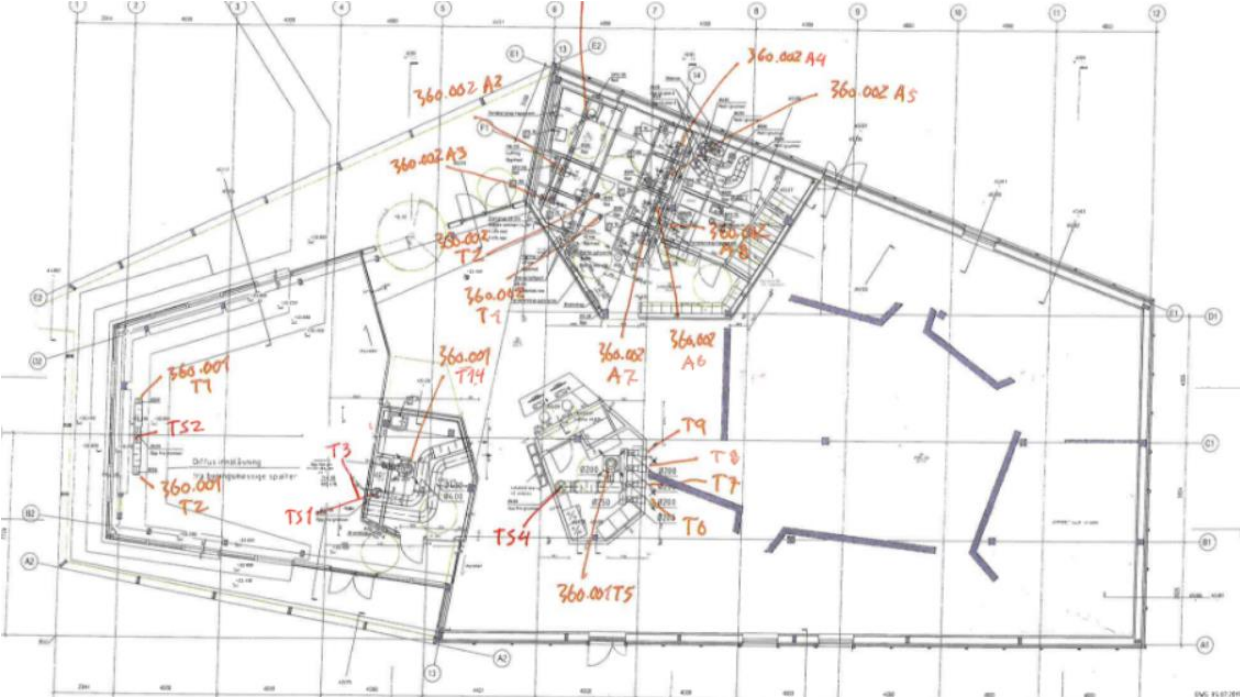
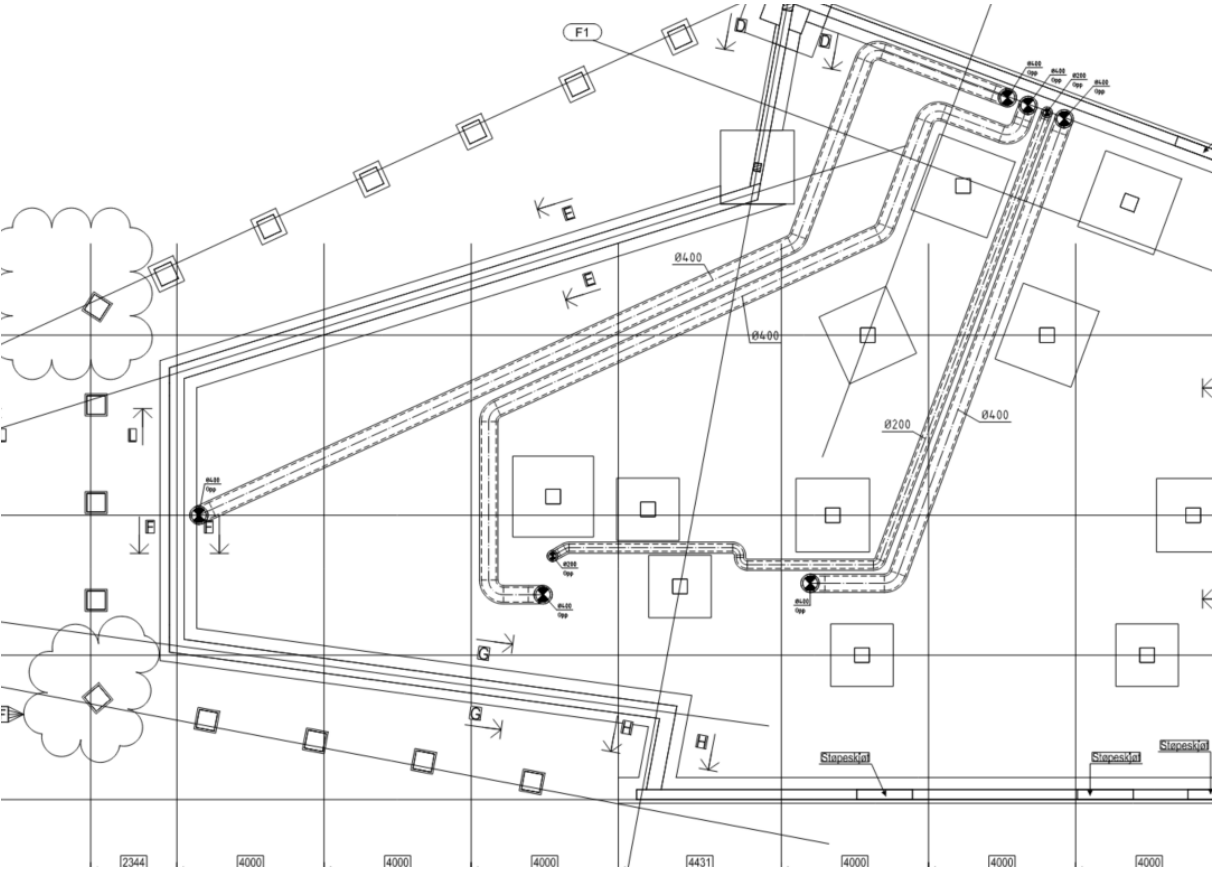
Tretthet		1		
Hvordan opplever dere inneklima på sommer?				
	Ja ofte	Ja blant	Nei	Aldri
Trekk		1		
Før Varm				
Før kaldt				
Akkurat passende temperatur				
Innestengt og dårlig luft				
Ubehagelig lukt				
Tørr luft				
Tørrhet i halsen				
Tørr eller irritert hud				
Tungt i hode				
Hodepine				
Tretthet				

Vedlegg 13: Oppsummerte svar fra spørreundersøkelsen for jenter

Spørreundersøkelse for inneklima i Klimahuset				
Kjønn				
Mann				
Kvinne	17			
Alder				
Under 20	17			
20-40 År				
41-65 År				
over 65				
Status				
Ansatt	Ja		Nei	
Besøkende	17			
Har du vært plaget med noen av følgende faktorer i dag?				
	Ja ofte	Ja blant	Nei	Aldri
Trekk		4	13	
For Varm			17	
For kaldt		4	13	
Akkurat passende temperatur	9	8		
Innestengt og dårlig luft		2	15	
Ubehagelig lukt			17	
Tørr luft		1	16	
Tørrhet i halsen		4	12	1
Tørr eller irritert hud	1		16	
Tungt i hode	1	6	10	
Hodepine	1	5	11	
Tretthet	2	6	9	
Var dere fornøyd temperaturene i dag	12	4	1	
Hvordan opplever dere inneklima på høst og våren?				
	Ja ofte	Ja blant	Nei	Aldri
Trekk	1	4	1	
For Varm			5	1
For kaldt	1	4	1	
Akkurat passende temperatur	2	4		
Innestengt og dårlig luft		2	4	
Ubehagelig lukt		3	3	
Tørr luft		1	4	
Tørrhet i halsen		2	2	
Tørr eller irritert hud	1	2	1	
Tungt i hode	1	2	1	
Hodepine	1	3		

Tretthet	2	1	1	
Hvordan opplever dere inneklima på sommer?				
	Ja ofte	Ja blant	Nei	Aldri
Trekk			1	
Før Varm				
Før kaldt				
Akkurat passende temperatur				
Innestengt og dårlig luft				
Ubehagelig lukt				
Tørr luft				
Tørrhet i halsen				
Tørr eller irritert hud				
Tungt i hode				
Hodepine				
Tretthet				

Vedlegg 14: Ventilasjonstegning ved Amfi



Vedlegg 16: Målte og beregnede verdier for Amfi den.07.02.23

Amfi, 07.02.2023												
Dato	Klokkeslett	Målt Globetemperatur	Målt Lufttemperatur	Målt Lufttemperatur	Beregnet gjennomsnittlig Lufttemperatur	Temperaturgradient	Beregnet gjennomsnittlig stråletemperatur	Operativ temperatur	Målt luftfuktighet fra fuktighetsmåler	Målt Lufthastighet	Målt Lufthastighet	Beregnet gjennomsnittlig Lufthastighet
-	-	t _g [°C]	t _{L ved 0,1 m} [°C]	t _{L ved 1,6 m} [°C]	t _e [°C]	Delta t _L [°C]	t _{fm} [°C]	t _{op} [°C]	RH%	V _{0,1} [m/s]	V _{1,6} [m/s]	V _e [m/s]
07.02.2023	11:17:21	20,002	19,7	19,4	19,55	0,3	20,377	19,96	38,0	0,028	0,142	0,085
07.02.2023	11:20:21	19,888	19,7	19,5	19,6	0,2	20,077	19,84	38,0	0,017	0,09	0,053
07.02.2023	11:23:21	19,802	19,7	19,3	19,5	0,4	20,031	19,77	37,0	0,148	0,12	0,134
07.02.2023	11:26:21	19,792	19,6	19,6	19,6	0	19,940	19,77	36,4	0,024	0,12	0,073
07.02.2023	11:29:21	19,779	19,6	19,4	19,5	0,2	19,868	19,68	36,8	0,022	0,02	0,022
07.02.2023	11:32:21	19,804	19,7	19,4	19,55	0,3	19,958	19,75	36,0	0,034	0,08	0,055
07.02.2023	11:35:21	19,811	19,6	19,1	19,35	0,5	20,101	19,73	36,2	0,058	0,08	0,070
07.02.2023	11:38:21	19,768	19,5	19,1	19,3	0,4	20,176	19,74	36,5	0,04	0,16	0,099
07.02.2023	11:41:21	19,714	19,4	19,2	19,3	0,2	19,714	19,51	37,0	0,023	-	0,012
07.02.2023	11:44:21	19,656	19,3	19,2	19,25	0,1	19,825	19,54	37,0	0,058	0,04	0,047
07.02.2023	11:47:21	19,611	19,3	19,3	19,3	0	19,833	19,57	36,7	0,017	0,11	0,061
07.02.2023	11:50:21	19,556	19,4	19,3	19,35	0,1	19,652	19,50	35,3	0,041	0,05	0,043
07.02.2023	11:53:21	19,263	18,6	19,2	18,9	-0,6	19,401	19,15	35,8	0,138	0,03	0,084
07.02.2023	11:56:21	19,241	19,2	19,2	19,2	0	19,258	19,23	36,3	0,054	0,04	0,046
07.02.2023	11:59:21	19,465	19,4	19	19,2	0,4	19,641	19,42	36,0	0,051	0,09	0,071
07.02.2023	12:02:21	19,738	19,9	19	19,45	0,9	19,825	19,64	36,4	0,083	0,02	0,051
07.02.2023	12:05:21	19,82	19,7	19,1	19,4	0,6	19,925	19,66	37,1	0,046	0,01	0,030
07.02.2023	12:08:22	19,892	19,7	18,7	19,2	1	20,785	19,99	36,3	0,017	0,34	0,181
07.02.2023	12:11:22	20,025	19,9	18,1	19	1,8	20,591	19,80	36,0	0,032	0,06	0,048
07.02.2023	12:14:22	20,132	20	18,7	19,35	1,3	20,564	19,96	36,9	0,058	0,06	0,061
07.02.2023	12:17:22	20,207	20,2	19,6	19,9	0,6	20,255	20,08	37,4	0,033	0,01	0,019
07.02.2023	12:20:22	20,22	20,3	19,4	19,85	0,9	20,700	20,27	38,1	0,067	0,35	0,207
07.02.2023	12:23:22	20,235	20,3	19,2	19,75	1,1	20,621	20,19	38,4	0,055	0,13	0,093
07.02.2023	12:26:22	20,242	20,3	19,1	19,7	1,2	20,569	20,13	38,3	0,053	0,08	0,064
07.02.2023	12:29:22	20,275	20,4	19,3	19,85	1,1	20,559	20,20	38,9	0,031	0,09	0,062
07.02.2023	12:32:22	20,305	20,4	19,7	20,05	0,7	20,433	20,24	39,0	0,095	0,05	0,074
07.02.2023	12:35:22	20,373	20,4	19,6	20	0,8	20,643	20,32	38,9	0,055	0,11	0,082
07.02.2023	12:35:43	20,417	20,4	19,6	20	0,8	20,717	20,36	40,7	0,019	0,11	0,063

Beregnet PMV, PPD, DR og PD for Amfiet

Amfiet, 07.02.2023										
Dato	Klokkeslett	Temperaturgradient	Beregnet gjennomsnittslige Lufttemperatur	Beregnet gjennomsnittlig stråletemperatur	Beregnet gjennomsnittslige Lufthastighet	Målt luftfuktighet fra Q-Trak	Beregnet PMV	Beregnet PPD	DR	Vertikal lufttemperatur differanse PD
-	-	Delta t _L [°C]	t _{luft} [°C]	t _{fm} [°C]	V _e [m/s]	RH%		%	%	%
07.02.2023	11:17:21	0,3	19,55	20,412	0,170	38,0	-0,75	16,93	12,28	0,4
07.02.2023	11:20:21	0,2	19,6	20,094	0,106	38,0	-0,62	12,94	7,61	0,4
07.02.2023	11:23:21	0,4	19,5	20,145	0,267	37,0	-0,96	24,48	17,88	0,4
07.02.2023	11:26:21	0	19,6	19,953	0,146	36,4	-0,75	16,69	10,65	0,3
07.02.2023	11:29:21	0,2	19,5	19,906	0,043	36,8	-0,63	13,26	0,00	0,4
07.02.2023	11:32:21	0,3	19,55	19,989	0,110	36,0	-0,65	13,99	7,97	0,4
07.02.2023	11:35:21	0,5	19,35	20,190	0,140	36,2	-0,74	16,54	10,41	0,5
07.02.2023	11:38:21	0,4	19,3	20,225	0,197	36,5	-0,87	20,92	14,19	0,4
07.02.2023	11:41:21	0,2	19,3	19,852	0,023	37,0	-0,66	14,10	0,00	0,4
07.02.2023	11:44:21	0,1	19,25	19,930	0,094	37,0	-0,66	14,08	6,71	0,3
07.02.2023	11:47:21	0	19,3	19,850	0,122	36,7	-0,73	16,23	9,08	0,3
07.02.2023	11:50:21	0,1	19,35	19,689	0,086	35,3	-0,68	14,61	5,88	0,3
07.02.2023	11:53:21	-0,6	18,9	19,590	0,168	35,8	-0,95	23,20	12,70	0,2
07.02.2023	11:56:21	0	19,2	19,268	0,091	36,3	-0,73	16,29	6,44	0,3
07.02.2023	11:59:21	0,4	19,2	19,685	0,142	36,0	-0,82	19,05	10,66	0,4
07.02.2023	12:02:21	0,9	19,45	19,940	0,102	36,4	-0,64	13,68	7,34	0,7
07.02.2023	12:05:21	0,6	19,4	20,044	0,059	37,1	-0,63	13,21	2,48	0,5
07.02.2023	12:08:22	1	19,2	20,807	0,361	36,3	-1,08	29,59	22,91	0,7
07.02.2023	12:11:22	1,8	19	20,720	0,095	36,0	-0,62	13,02	6,92	1,4
07.02.2023	12:14:22	1,3	19,35	20,730	0,121	36,9	-0,63	13,34	8,97	0,9
07.02.2023	12:17:22	0,6	19,9	20,339	0,038	37,4	-0,53	10,83	0,00	0,5
07.02.2023	12:20:22	0,9	19,85	20,744	0,414	38,1	-1,02	26,94	24,21	0,7
07.02.2023	12:23:22	1,1	19,75	20,695	0,186	38,4	-0,73	16,15	13,10	0,8
07.02.2023	12:26:22	1,2	19,7	20,669	0,128	38,3	-0,61	12,68	9,29	0,9
07.02.2023	12:29:22	1,1	19,85	20,603	0,123	38,9	-0,58	11,96	8,82	0,8
07.02.2023	12:32:22	0,7	20,05	20,520	0,147	39,0	-0,62	13,01	10,38	0,6
07.02.2023	12:35:22	0,8	20	20,704	0,163	38,9	-0,64	13,67	11,46	0,6
07.02.2023	12:35:43	0,8	20	20,743	0,126	40,7	-0,54	11,14	8,95	0,6

Vedlegg 17: Målte og beregnede verdier for Utstilling den.07.02.23

Utstilling, 07.02.2023												
Dato	Klokkeslett	Målt Globetemperatur	Målt Lufttemperatur	Målt Lufttemperatur	Beregnet gjennomsnittlig Lufttemperatur	Temperaturgradient t	Beregnet gjennomsnittlig stråletemperatur	Operativ temperatur	Målt luftfuktighet fra fuktighetsmåler	Målt Lufthastighet	Målt Lufthastighet	Beregnet gjennomsnittlig Lufthastighet
-	-	t _g [°C]	t _{L ved 0,1 m} [°C]	t _{L ved 1,6 m} [°C]	t _g [°C]	Delta t _L [°C]	t _{fm} [°C]	t _{op} [°C]	RH%	V _{0,1} [m/s]	V _{1,6} [m/s]	V _g [m/s]
07.02.2023	13:24:10	23,12	22,9	22,2	22,55	0,7	23,395	22,97	38,0	0,051	0,048	0,050
07.02.2023	13:26:10	23,12	22,9	22,1	22,5	0,8	23,481	22,99	38,0	0,019	0,07	0,045
07.02.2023	13:29:07	23,12	22,9	22,3	22,6	0,6	23,440	23,02	37,0	0,026	0,078	0,052
07.02.2023	13:32:10	23,11	22,8	22,3	22,55	0,5	23,469	23,01	36,4	0,045	0,085	0,065
07.02.2023	13:35:07	23,12	22,6	22,3	22,45	0,3	23,496	22,97	36,8	0,021	0,065	0,043
07.02.2023	13:38:04	23,12	22,7	22,3	22,5	0,4	23,318	22,91	36,0	0,022	0,021	0,022
07.02.2023	13:41:06	23,12	22,6	22,3	22,45	0,3	23,469	22,96	36,2	0,043	0,056	0,050
07.02.2023	13:44:08	23,12	22,8	22,4	22,6	0,4	23,476	23,04	36,5	0,227	0,097	0,162
07.02.2023	13:47:06	23,11	22,9	22,4	22,65	0,5	23,341	23,00	37,0	0,019	0,052	0,036
07.02.2023	13:50:08	23,12	22,8	22,2	22,5	0,6	23,434	22,97	37,0	0,052	0,053	0,053
07.02.2023	13:53:10	23,11	22,8	21,8	22,3	1	23,696	23,00	36,7	0,178	0,108	0,143
07.02.2023	13:56:07	23,11	22,8	21,8	22,3	1	23,679	22,99	35,3	0,075	0,102	0,089
07.02.2023	13:59:10	23,1	22,8	22	22,4	0,8	23,662	23,03	35,8	0,036	0,133	0,085
07.02.2023	14:02:07	23,1	22,9	22,4	22,65	0,5	23,443	23,05	36,3	0,131	0,12	0,126
07.02.2023	14:05:09	23,11	22,9	22,6	22,75	0,3	23,313	23,03	36,0	0,089	0,066	0,078
07.02.2023	14:08:06	23,11	23,1	22,4	22,75	0,7	23,412	23,08	36,4	0,078	0,145	0,112
07.02.2023	14:11:09	23,11	22,9	22,3	22,6	0,6	23,389	22,99	37,1	0,051	0,062	0,057
07.02.2023	14:14:06	23,1	22,9	22,4	22,65	0,5	23,443	23,05	36,3	0,118	0,12	0,119
07.02.2023	14:17:08	23,1	22,8	22,4	22,6	0,4	23,450	23,02	36,0	0,062	0,101	0,082
07.02.2023	14:20:10	23,1	22,9	22,4	22,65	0,5	23,382	23,02	36,9	0,021	0,081	0,051
07.02.2023	14:23:07	23,1	23,1	22,6	22,85	0,5	23,258	23,05	37,4	0,033	0,083	0,058
07.02.2023	14:26:10	23,1	22,9	22,7	22,8	0,2	23,237	23,02	38,1	0,053	0,043	0,048
07.02.2023	14:29:07	23,11	22,9	22,4	22,65	0,5	23,382	23,02	38,4	0,078	0,072	0,075
07.02.2023	14:32:09	23,11	22,8	22,6	22,7	0,2	23,180	22,94	38,3	0,043	0,006	0,025
07.02.2023	14:35:06	23,1	22,8	22,4	22,6	0,4	23,369	22,98	38,9	0,031	0,06	0,046
07.02.2023	14:38:08	23,11	22,8	22,4	22,6	0,4	23,465	23,03	39,0	0,12	0,1	0,110

Beregnet PMV, PPD, DR og PD for Utstillingen

Utstilling, 07.02.2023											
Dato	Klokkeslett	Temperaturgradient	Beregnet gjennomsnittlige Lufttemperatur	Beregnet gjennomsnittlig stråletemperatur	Beregnet gjennomsnittlige Lufthastighet	Målt luftfuktighet fra Q-Trak	Beregnet PMV	Beregnet PPD	DR	Vertikal lufttemperatur differanse PD	
-	-	Delta t _L [°C]	t _{luft} [°C]	t _{fm} [°C]	V _g [m/s]	RH%		%	%	%	
07.02.2023	13:24:10	2,5	20,95	24,622	0,099	38,0	0,05	5,05	6,35	2,6	
07.02.2023	13:26:10	2,4	20,9	24,577	0,089	38,0	0,04	5,03	5,53	2,4	
07.02.2023	13:29:07	2,6	21	24,624	0,104	37,0	0,04	5,03	6,72	2,8	
07.02.2023	13:32:10	2,7	20,95	24,823	0,130	36,4	-0,03	5,02	8,61	3,1	
07.02.2023	13:35:07	2,7	20,95	24,520	0,086	36,8	0,03	5,02	5,24	3,1	
07.02.2023	13:38:04	2,6	21	24,087	0,043	36,0	-0,01	5,00	0,00	2,8	
07.02.2023	13:41:06	2,7	20,95	24,622	0,099	36,2	0,04	5,03	6,35	3,1	
07.02.2023	13:44:08	2,9	20,95	25,837	0,324	36,5	-0,29	6,77	18,64	3,6	
07.02.2023	13:47:06	3	20,9	24,406	0,071	37,0	0,01	5,00	3,76	3,9	
07.02.2023	13:50:08	2,9	20,75	24,810	0,105	37,0	0,02	5,01	6,92	3,6	
07.02.2023	13:53:10	2,5	20,55	26,122	0,286	36,7	-0,27	6,57	17,49	2,6	
07.02.2023	13:56:07	2,4	20,6	25,433	0,177	35,3	-0,14	5,39	11,80	2,4	
07.02.2023	13:59:10	3,4	20,3	25,632	0,169	35,8	-0,14	5,39	11,59	5,5	
07.02.2023	14:02:07	3,2	20,8	25,635	0,251	36,3	-0,23	6,07	15,51	4,6	
07.02.2023	14:05:09	3,2	21	24,938	0,155	36,0	-0,08	5,13	10,17	4,6	
07.02.2023	14:08:06	2,5	21,15	25,146	0,223	36,4	-0,17	5,62	13,74	2,6	
07.02.2023	14:11:09	2,6	21	24,670	0,113	37,1	0,01	5,00	7,39	2,8	
07.02.2023	14:14:06	2,7	21,05	25,300	0,238	36,3	-0,20	5,82	14,59	3,1	
07.02.2023	14:17:08	2,5	21,15	24,832	0,163	36,0	-0,10	5,20	10,52	2,6	
07.02.2023	14:20:10	2,4	21,2	24,435	0,102	36,9	0,04	5,04	6,46	2,4	
07.02.2023	14:23:07	2,4	21,4	24,374	0,116	37,4	0,02	5,01	7,38	2,4	
07.02.2023	14:26:10	2,4	21,5	24,191	0,096	38,1	0,08	5,12	5,84	2,4	
07.02.2023	14:29:07	2,1	21,35	24,610	0,150	38,4	-0,04	5,03	9,60	1,9	
07.02.2023	14:32:09	2,3	21,45	23,918	0,049	38,3	0,04	5,04	0,00	2,2	
07.02.2023	14:35:06	2	21,4	24,228	0,091	38,9	0,07	5,11	5,48	1,7	
07.02.2023	14:38:08	2	21,4	24,875	0,220	39,0	-0,14	5,42	13,32	1,7	

Vedlegg 18: Oppsummering av litteratursøk

Resten av tabellen er på neste side

Prosjekter eller artikler	Hybrid/naturlig ventilasjon	CO ₂ -konsentrasjoner	Innetemperaturer	Trekk	Energibruk/besparelse	Verktøy	År	Sted
Masterfjellskole	Mekanisk balansert ventilasjon med vinduslufing. Bumbengte motorstyrte vinduer i soner som styres ut fra inn klima og uteklima og er høytplassert i fasadene. Vinduene åpnes korvang til definerede tider, 50% mindre luftmengde fra mekanisk ventilasjon. Stylingen av vinduene skjer på bakgrunn av vindtrykkoffisienter for 16 forskjellige vindretninger. Automatisk vindusåpningstyring med Mekanisk balansert ventilasjon. Windowmaster styring. 4 av 6 vinduer i klasserommene styres automatisk. En tilleggs oppheng på vinduene som er montert øverst på vinduet dvs topphengt. Ventilasjonen styres etter eget ønske. Vinduene åpnes og lukkes på bakgrunn av brukernes fastsatte ønskeverdig for temp og CO ₂ samt utendørs målinger.	Høye konsentrasjoner	Høye temperaturer	Trekk ved vindu	15,70 %	IDAICE simuleringer+Målinger	2015	Norge Larvik
Brunli ungdomsskole	Automatisk vindusåpningstyring med Mekanisk balansert ventilasjon. mixed-mode ventilasjonssystem. store åpninger høyt over dørene sånn at lufta beveger seg i mellom rommene. Dobbelte takhøyde og vinduene som er 2 vinduer, en fast i normal høyde og en høytplassert. Så lufta kommer inn på laveste vindu og går ut på den øverste vindu og fungerer som en skorstein.	Høye konsentrasjoner	Tilfredsstillt krav	Ikke målt trekk men klager om trekk ved brukere	105 [KWh/m ²] kontra 109,5	IDAICE simuleringer+Målinger	2014	Norge Larvik
Solistad barnehage	Automatisk vindusåpningstyring med Mekanisk balansert ventilasjon. mixed-mode ventilasjonssystem. store åpninger høyt over dørene sånn at lufta beveger seg i mellom rommene. Dobbelte takhøyde og vinduene som er 2 vinduer, en fast i normal høyde og en høytplassert. Så lufta kommer inn på laveste vindu og går ut på den øverste vindu og fungerer som en skorstein.	Noe høye konsentrasjoner	Høye temperaturer om varmeste dager	-	14 %	IDAICE simuleringer	2014	Norge Larvik
Larvik og Oslo skoler	Der det er brukt vindusåpning som hybrid ventilasjon, er brukt en sidig ventilasjon men vinduer fra WindowMaster som automatisk styrt basert på målinger inne og ute. Vinduene har en spalte helt øverst som brukes opphengt. Avtrekkspløid i veggen som ført resterende luft via artekke og ut i gangen.	Høye konsentrasjoner	Tilfredsstillt krav	Fare for Trekk ved vindu om vinteren	Ikke vurdert	Målinger	2011	Norge Larvik, Oslo
Analyse av energibruk og termisk inn klima i næringsbygg med kjøling	Behovsstyrt vinduslufing (driftstiden og tidsstyrt vindusåpning om natten og ventilasjonskjøling). Tidsstyrt vinduslufing om natten har vært beste alternativet for rom og ventilasjonskjøling i sommer.	Tilfredsstillt krav	Tilfredsstillt krav	-	Ventilasjonkjøling ga Lavere energibruk ved ikke tilfredsstillt ønsket temp ved sommer	IDAICE simuleringer	2008	Norge Oslo
Signalbygg på Nydalen i Oslo	100% naturlig ventilasjon med luke åpninger i vinduene. Både ved toppen av vinduet og sidene ved vinduet med kryss ventilering. Avtrekksventiler på kjeller og toaletter. Øverste delen er akostyrt hele året med sidelukkene er manuelt og åpnes mellom april og september.	Hybrid ventilasjon med luke åpninger kunne redusere faren for dårlig inn klima spesielt for de varmeste og kaldste dagene i året, kontra full naturlig ventilasjon	Hybrid ventilasjon med luke åpninger kunne redusere faren for dårlig inn klima spesielt for de varmeste og kaldste dagene i året, kontra full naturlig ventilasjon	Hybrid ventilasjon med luke åpninger kunne redusere faren for dårlig inn klima spesielt for de varmeste og kaldste dagene i året, kontra full naturlig ventilasjon	Lavere energibruk kontra full mekanisk	IDAICE simuleringer	2021	Norge Oslo
Ventilative cooling as a solution for highly insulated buildings in cold climate	Mekanisk balansert ventilasjon med vindusåpning. Kun med avtrekksvifte og et annet tilfelle med naturlig ventilasjon uten vifte. Begge systemene styres med vinduslufing og har forskjellige styre perioder i sommer, vinter, natt. Når vinduene er lukket bruker kun avtrekksystemet for å ventilisere, systemet uten vifte er avhengig av lekkasjer og åpninger. Ikke drift av vinduslufing om vinter og kaldt, vindusåpning skjer når mekanisk ventilasjon ikke er tilstrekkelig for CO ₂ -konsentrasjonen	Inn klima ikke tilfredsstillt ved varmeste dager	Inn klima ikke tilfredsstillt ved varmeste dager	-	-	IDAICE simuleringer	2015	Norge Trondheim
Valg mellom naturlig, hybrid og mekanisk ventilasjon	Tet er sammenlignet både kulvert løsning og Tiluft gjennom fasader med avtrekksvifter	Ikke vurdert	Vindus åpning har variasjoner med å tilfredsstillt krav pga. lav temperatur og trekk om vinteren. Men andre metoder som for eks. kulvert løsning er det muligst for tilfredsstillt inn klima krav pga. lav temperatur og trekk. Men andre metoder som for eks. kulvert løsning er det muligst for tilfredsstillt inn klima kravene.	Har hatt variasjoner med å tilfredsstillt krav pga. lav temperatur og trekk. Men andre metoder som for eks. kulvert løsning er det muligst for tilfredsstillt inn klima kravene.	Større energiforbruk pga lavere glømming	-	2004	Norge
Natural Ventilation Modeling in ZEB Lab	Naturlig ventilasjon, vindus/døråpning	-	Generelt komfort kravene har vært tilfredsstillt, brukerne har følt lite litt kaldt men generelt tilfredsstillt. Og har vært tilfredsstillt luftmengder	Generelt komfort kravene har vært tilfredsstillt, brukerne har følt lite litt kaldt men generelt tilfredsstillt. Og har vært tilfredsstillt luftmengder	-	Designbuilder	2020	Norge Trondheim
Design of Natural and Hybrid Ventilation	Mekanisk balansert ventilasjon med naturlig ventilasjon	-	-	-	Store energibesparelser	-	2006	Danmark
Design and Energy Analysis of Natural and Hybrid Ventilation Strategies for Norwegian Office Buildings	Naturlig og hybrid ventilasjon via automatisk vindu i samspill med en tung termisk konstruksjon. Ventilasjonsstrategiene er inspirert av bygget «2226» i Østernike av Baunschlager Eberle. En manuell vindusløsning ved hjelp av en «bruker-app» ble utviklet for å modellere stokastisk brukeropførsel.	Tilfredsstillt krav	Tilfredsstillt temperatur om våren, sommeren og høsten. Kombinasjonen av nattekjøling sammen med eksponert termisk masse forhindrer problemer med overoppletting om sommeren	-	Lavere energibruk med hybrid ventilasjon	IDAICE simuleringer	2016	Modellering som er inspirert av bygget «2226» i Østernike

The Liberty Tower of Meiji University Tokyo	Hybrid ventilasjon. Automatiske vindus åpninger om natten og vindgulv til av uttak av naturlige prinsipp det er brukt vindgulvintegert i konstruksjoen og åpninger i kjernen.	Tifredstilt krav	Tifredstilt krav	Tifredstilt krav	Beboerne følt på trekk bite litt der åpninger ligger for nært	Målinger	2002	Japan Tokyo
B&O Headquarters Danmark	Inntaket for lufta er plassert i form av lave vinduer. Inntakslufta forvarmes med ribberør for å forbedre termisk komfort og forberede ventilasjons effektiviteten. Lufta strømmer gjennom bruksarealer og dras ut til toppen av trappesjakter, med hjelp av plasserte vifter	Tifredstilt krav	Tifredstilt krav	Tifredstilt krav	Beboerne har vært veldig lav og utgjort bare 3% av den elektriske energibruken	Målinger	2002	Danmark
Wilkinson Building Sydney	bruker hybrid ventilasjon, vinduslufting som naturlig ventilasjon i kombinasjon med mekanisk ventilasjon. Naturlig ventilasjon er hovedsakelig drevet av vind og mulighet for krysgjennomstrømming gjennom korridorer	Opplever bedre termisk komfort	Opplever bedre termisk komfort	Opplever bedre termisk komfort	En gjennomsnittlig energibruk for 4 år av bygget har vært en fjerdedel av typisk bygg med mekanisk ventilasjon, varme og kjøle	Målinger	1997	Australia Sydney
Tjänga skole Sverige	Vindusåpning og døråpninger samt solskjermingen styres manuelt. Luftfordeling i rommet skjer via blandedrøppet	Opplever bedre termisk komfort	Opplever bedre termisk komfort	Opplever bedre termisk komfort	Det har vært store prosenter med energi besparelser	Målinger	1997	Sverige
Berthol-Brecht-Gymnasium (Dresden, Tyskland)	Tre stykker luft inntak er plassert under vinduer i hvert rom og forvarmes med konvektorer, det assisteres med vifter. Lufttilførselskjer via blandedrøppet. Lufta evakueres via vertikale ventilasjons kanaler og trekkes ut under taket. Det er montert en passiv stabel på 6 m og en solstein på taket med en assisterende vifte på taket samt sentralsplid montert parallelt	CO2 konsentrasjoner har vært storsett på rundt 1000 PPM eller lavere med bare korte perioder over 1500 PPM	CO2 konsentrasjoner har vært storsett på rundt 1000 PPM eller lavere med bare korte perioder over 1500 PPM	CO2 konsentrasjoner har vært storsett på rundt 1000 PPM eller lavere med bare korte perioder over 1500 PPM	Beboerne har vært veldig fornøyd med manuelt styring og opplevd godt inneklma	Målinger	1995	Tyskland
BRES miljøvennlige kontorbygg (Watford, England)	Naturlig ventilasjon med mekanisk ventilering. Atrienne mellom de 2 flyetene brukes for klimatiseringen. Om sommeren brukes atriene som skorsteineffekt med naturlig ventilasjon. Det brukes samme system til nattkjøling også. Om vinteren brukes det tilført luft fra atriet men det er forvarmet og brukes vifter til luftbevegelsen.	Bygget rapportert tilfredsillene med noe optimaliserings potensialer	Bygget rapportert tilfredsillene med noe optimaliserings potensialer	Bygget rapportert tilfredsillene med noe optimaliserings potensialer	Bygget rapportert tilfredsillene med noe optimaliserings potensialer	Målinger	1997	England Watford
The PROBE building Belgia	Hybrid ventilasjon, en kombinasjon av mange type ventilering med ensidig, kryssventilering, olskorstein effekt, forvarming og tilføring av tiluft gjennom hull i himling, assisterende hjelpevifte ved behov, Automatisk styring av vinduer, åpninger, luker og nattkjøling	Ikke vurdert	Ikke vurdert	Ikke vurdert	Ikke vurdert	Målinger	1999	Belgia
IVEG building Belgia	Renovert kontorbygg med både mekanisk ventilasjon og naturlig ventilasjon	Ikke vurdert	Ikke vurdert	Ikke vurdert	Ikke vurdert	Målinger	1999	Belgia
Artikkel: Evaluation of performance of energy efficient hybrid ventilation system and analysis of occupants' behavior to control windows	Systemene er ikke kombinert, naturlig ventilasjon er brukt om sommeren og mekanisk om vinteren. Tiluft til kontorer basert på tilstedeværelses detektor og avtrekkes via toalett kjerner	Ikke vurdert	Ikke vurdert	Ikke vurdert	Ikke vurdert	Målinger	2021	Østerrike
Hybrid Ventilation: Simulation of Natural Airflow in a Hybrid Ventilation System Stockholm	Nattkjøling om sommeren med rister som er plassert på hver side av vinduene	Oppfylt termisk komfort for beboere	Oppfylt termisk komfort for beboere	Oppfylt termisk komfort for beboere	Risiko for trekk ved veldig lave tillufter	Kun Simuleringer	2014	Sverige Stockholm
Is mixed-mode ventilation a comfortable low-energy solution? A literature review	Hybrid ventilasjon men bruk av mekanisk ventilasjon og naturlig nattkjøling. Naturlig nattkjøling skjer ved inntak av luft i fasadene via lammeller og avtrekk via 2 store skorstein, brygge er automatisk kontrollert. Bygget bruker Aktiv kjøling også og ved behov kombineres systemene.	Oppfylt termisk komfort for beboere	Oppfylt termisk komfort for beboere	Oppfylt termisk komfort for beboere	Komfortsonen til brukere av Mixed-mode bygg er estimert til å være bedre enn bygg med klima anlegg	Modellering av beboernes adferd av vindusåpning	2021	Literatur studiet
Modeling window and thermostat use behavior to inform sequences of operation in mixed-mode ventilation buildings	Gjennom dette studiet modellerte de beboernes adferd av vindusåpning og så på effekten av den til energi forbruk og inneklmaparametere ved fuktighetsfølsomme hybrid ventilasjonssystem	Oppfylt termisk komfort for beboere	Oppfylt termisk komfort for beboere	Oppfylt termisk komfort for beboere	Det er potensialet	Data analyse	2021	Canada, Ottawa

Vedlegg 19: Kalibreringsbevis for Q-Trak

KALIBRERINGSBEVIS

Certificate of calibration

Kunde: OsloMet - Storbyuniversitetet

Dato: 06.02.2023

Instrument kalibrert:

Fabrikat/type: TSI 7565-X + Probe

Serie nr: 7564X0843005

Sertifikat nr: 251619-1

Anbefalt neste kalibrering: 06.02.2024

Måleresultater

CO₂

Ref.verdi	Avlest verdi	Avvik
CO ₂ 405 ppm	418	-13
CO ₂ 2023 ppm	2022	1

Ref: Praxair CO2 2000ppm (sert. nr.: 79618114-01-K-522537) / 400 ppm (sert. No.: 79618114-02-K-248809) Zero Calibration Bag - Merck Natronkalk lot K22508439 836

Fukt [%rF]

Ref. verdi	Avlest Verdi	Differanse
80,5	81,3	-0,8
42,5	42,6	-0,1
27,1	27,6	-0,5

Temperatur [°C]

Ref. verdi	Avlest Verdi	Differanse
10,3	10,1	0,2
25,5	25,3	0,2
40,4	40,3	0,1

Referanse: Kimo HD110 Serier. 1D220400754 Sertifikat nr. N°X5MO2209091V01

Kalibrert og kontrollert av:



Erlend Elvnes
Servicetekniker

Instrumentcompaniet AS
Tlf: 23 30 21 00
Fax: 23 30 21 01
www.instrumentcompaniet.no
E-post: ic@instrumentcompaniet.no

Vedlegg 20: Målte og beregnede verdier for Amfi den 21.04.23

Amfi, 21.04.2023												
Dato	Klokkeslett	Målt Globetemperatur	Målt Lufttemperatur	Målt Lufttemperatur	Beregnet gjennomsnittlig Lufttemperatur	Temperaturgra dient	Beregnet gjennomsnittlig stråletemperatur	Operativ temperatur	Målt Luftfartshastighet	Målt Luftfartshastighet	Beregnet gjennomsnittlig Luftfartshastighet	
-	-	t _g [°C]	t _{ved 0,1 m} [°C]	t _{ved 1,6 m} [°C]	t _g [°C]	Delta t _g [°C]	t _{lm} [°C]	t _{op} [°C]	V _{0,1} [m/s]	V _{1,6} [m/s]	V _g [m/s]	
22.04.2023	10:05:54	21,64	19,6	20,8	20,2	1,2	22,867	21,53	0,215	0,15	0,183	
22.04.2023	10:08:55	21,62	19,6	20,6	20,1	1	22,656	21,38	0,19	0,096	0,143	
22.04.2023	10:11:55	21,61	18,9	20,7	19,8	1,8	22,602	21,20	0,422	0,062	0,242	
22.04.2023	10:14:56	21,61	18,8	21	19,9	2,2	22,272	21,09	0,435	0,031	0,233	
22.04.2023	10:17:57	21,6	18,8	20,9	19,85	2,1	22,702	21,28	0,281	0,082	0,182	
22.04.2023	10:20:57	21,59	19,6	21,3	20,45	1,7	22,234	21,34	0,169	0,066	0,118	
22.04.2023	10:23:58	21,58	20,3	21,6	20,95	1,3	22,052	21,50	0,142	0,116	0,129	
22.04.2023	10:26:59	21,55	20,1	21,7	20,9	1,6	22,000	21,45	0,234	0,099	0,167	
22.04.2023	10:30:00	21,54	19,3	21,7	20,5	2,4	22,316	21,41	0,347	0,115	0,231	
22.04.2023	10:33:00	21,53	19,3	21,5	20,4	2,2	22,288	21,34	0,274	0,093	0,184	
22.04.2023	10:36:01	21,5	19,4	21,4	20,4	2	22,386	21,39	0,211	0,134	0,173	
22.04.2023	10:39:02	21,51	19,4	21,3	20,35	1,9	22,258	21,30	0,289	0,086	0,188	
22.04.2023	10:42:02	21,46	19,2	21,2	20,2	2	22,188	21,19	0,408	0,069	0,239	
22.04.2023	10:45:03	21,41	18,9	21,1	20	2,2	22,151	21,08	0,329	0,057	0,193	
22.04.2023	10:48:04	21,37	19,7	21,1	20,4	1,4	21,992	21,20	0,214	0,085	0,150	
22.04.2023	10:51:04	21,34	20,2	21,2	20,7	1	21,699	21,20	0,383	0,065	0,224	
22.04.2023	10:54:05	21,31	20,2	21,3	20,75	1,1	21,562	21,16	0,158	0,042	0,100	
22.04.2023	10:57:06	21,3	20,3	21	20,65	0,7	21,593	21,12	0,115	0,042	0,079	
22.04.2023	11:00:07	21,28	20,3	20,8	20,55	0,5	21,734	21,14	0,197	0,08	0,139	
22.04.2023	11:03:07	21,28	20,1	20,9	20,5	0,8	21,619	21,06	0,23	0,039	0,135	
22.04.2023	11:06:08	21,29	20,1	21,1	20,6	1	21,692	21,15	0,209	0,07	0,140	
22.04.2023	11:09:09	21,3	20,3	21,1	20,7	0,8	21,621	21,16	0,121	0,059	0,090	
22.04.2023	11:12:09	21,32	20,3	20,7	20,5	0,4	22,026	21,26	0,154	0,153	0,154	
22.04.2023	11:15:10	21,34	20,3	21,1	20,7	0,8	21,592	21,15	0,145	0,032	0,089	
22.04.2023	11:18:11	21,35	20,2	21,2	20,7	1	21,709	21,20	0,132	0,063	0,098	
22.04.2023	11:21:11	21,36	20,3	21,2	20,75	0,9	21,666	21,21	0,082	0,052	0,067	
22.04.2023	11:24:12	21,37	20,4	20,8	20,6	0,4	21,985	21,29	0,147	0,132	0,140	
22.04.2023	11:27:13	21,39	20,5	21,1	20,8	0,6	21,743	21,27	0,101	0,074	0,088	
22.04.2023	11:30:14	21,42	20,2	20,9	20,55	0,7	21,930	21,24	0,177	0,071	0,124	
22.04.2023	11:33:14	21,64	20,3	20,8	20,55	0,5	22,297	21,42	0,127	0,075	0,101	
22.04.2023	11:36:15	21,62	20,3	20,8	20,55	0,5	22,229	21,39	0,192	0,067	0,130	
22.04.2023	11:39:16	21,61	20,2	20,9	20,55	0,7	22,261	21,41	0,21	0,078	0,144	
22.04.2023	11:42:16	21,61	20,3	21	20,65	0,7	22,105	21,38	0,193	0,055	0,124	
22.04.2023	11:45:17	21,6	20,2	21,3	20,75	1,1	22,066	21,41	0,22	0,062	0,141	
22.04.2023	11:48:18	21,59	20,3	21,3	20,8	1	21,955	21,38	0,123	0,044	0,084	
22.04.2023	11:51:18	21,58	20,5	21,3	20,9	0,8	21,897	21,40	0,102	0,045	0,074	
22.04.2023	11:54:19	21,55	20,6	21,2	20,9	0,6	22,022	21,46	0,156	0,109	0,133	
22.04.2023	11:57:20	21,54	20,7	21,3	21	0,6	21,898	21,45	0,113	0,091	0,102	
22.04.2023	12:00:21	21,53	20,7	21,1	20,9	0,4	22,049	21,47	0,128	0,14	0,134	
22.04.2023	12:03:21	21,5	20,6	20,8	20,7	0,2	22,177	21,44	0,148	0,148	0,148	
22.04.2023	12:06:22	21,51	20,4	20,9	20,65	0,5	22,065	21,36	0,173	0,086	0,130	
22.04.2023	12:09:23	21,46	20,5	21,2	20,85	0,7	21,858	21,35	0,087	0,088	0,088	
22.04.2023	12:12:23	21,41	20,4	21,4	20,9	1	21,748	21,32	0,145	0,091	0,118	
22.04.2023	12:15:24	21,37	20,7	21,6	21,15	0,9	21,493	21,32	0,121	0,065	0,093	
22.04.2023	12:21:30	21,34	21	21,8	21,4	0,8	21,302	21,35	0,103	0,085	0,094	
22.04.2023	12:24:31	21,31	21,2	21,7	21,45	0,5	21,233	21,34	0,135	0,063	0,099	
22.04.2023	12:27:31	21,3	21,2	22	21,6	0,8	21,166	21,38	0,196	0,041	0,119	
22.04.2023	12:30:32	21,28	21,4	22,1	21,75	0,7	21,053	21,40	0,141	0,048	0,095	
22.04.2023	12:33:33	21,28	21,2	22	21,6	0,8	21,098	21,35	0,088	0,067	0,078	
22.04.2023	12:36:33	21,29	21,4	22,1	21,75	0,7	21,036	21,39	0,078	0,063	0,071	
22.04.2023	12:39:34	21,3	21,6	22,1	21,85	0,5	21,021	21,44	0,058	0,053	0,056	
22.04.2023	12:42:35	21,32	21,6	22,2	21,9	0,6	21,110	21,51	0,065	0,027	0,046	
22.04.2023	12:45:35	22,22	21,6	22,3	21,95	0,7	22,319	22,13	0,111	0,028	0,070	
22.04.2023	12:48:36	22,23	21,6	22,4	22	0,8	22,371	22,19	0,419	0,078	0,249	
22.04.2023	12:51:37	22,22	21,7	22,6	22,15	0,9	22,269	22,21	0,059	0,1	0,080	
22.04.2023	12:54:37	22,22	21,7	22,6	22,15	0,9	22,245	22,20	0,06	0,026	0,043	
22.04.2023	12:57:38	22,23	21,76	22,7	22,23	0,94	22,230	22,23	0,143	0,017	0,080	
22.04.2023	13:00:39	22,26	21,5	22,7	22,1	1,2	22,323	22,21	0,242	0,032	0,137	
22.04.2023	13:03:39	22,24	20,9	22,7	21,8	1,8	22,410	22,11	0,182	0,031	0,107	
22.04.2023	13:06:40	22,26	21,5	22,6	22,05	1,1	22,329	22,19	0,042	0,022	0,032	
22.04.2023	13:09:41	22,26	21,7	22,6	22,15	0,9	22,306	22,23	0,079	0,036	0,058	
22.04.2023	13:12:42	22,27	21,8	22,4	22,1	0,6	22,369	22,23	0,071	0,07	0,071	
22.04.2023	13:15:42	22,27	21,8	22,5	22,15	0,7	22,316	22,23	0,075	0,03	0,053	
22.04.2023	13:18:43	22,29	21,8	22,6	22,2	0,8	22,326	22,26	0,081	0,033	0,057	
22.04.2023	13:21:44	22,31	21,7	22,4	22,05	0,7	22,492	22,27	0,098	0,101	0,100	
22.04.2023	13:24:44	22,33	21,8	22,4	22,1	0,6	22,454	22,28	0,076	0,06	0,068	
22.04.2023	13:27:45	22,34	21,8	22,4	22,1	0,6	22,474	22,29	0,054	0,064	0,059	
22.04.2023	13:30:46	22,36	21,8	22,3	22,05	0,5	22,542	22,30	0,099	0,071	0,085	
22.04.2023	13:33:46	22,36	21,8	22,4	22,1	0,6	22,505	22,30	0,068	0,064	0,066	
22.04.2023	13:36:47	22,37	21,8	22,6	22,2	0,8	22,478	22,34	0,092	0,084	0,088	
22.04.2023	13:39:48	21,83	21,8	22,6	22,2	0,8	21,643	21,92	0,083	0,053	0,068	
22.04.2023	13:42:49	21,84	21,8	22,5	22,15	0,7	21,617	21,88	0,086	0,107	0,097	
22.04.2023	13:45:49	21,87	22	22,6	22,3	0,6	21,634	21,97	0,095	0,062	0,079	
22.04.2023	13:48:50	21,9	21,9	22,5	22,2	0,6	21,698	21,95	0,097	0,094	0,096	
22.04.2023	13:51:51	21,93	22	22,5	22,25	0,5	21,737	21,99	0,096	0,075	0,086	
22.04.2023	13:54:51	21,95	22,1	22,4	22,25	0,3	21,778	22,01	0,083	0,068	0,076	
22.04.2023	13:57:52	21,99	22,1	22,4	22,25	0,3	21,819	22,03	0,087	0,089	0,093	
22.04.2023	14:00:53	22,01	21,9	22,4	22,15	0,5	21,931	22,04	0,118	0,066	0,092	
22.04.2023	14:03:53	22,04	21,9	22,4	22,15	0,5	21,985	22,07	0,102	0,052	0,077	
22.04.2023	14:06:54	22,05	21,9	22,4	22,15	0,5	21,983	22,07	0,076	0,092	0,084	
22.04.2023	14:09:55	22,08	21,9	22,1	22	0,2	22,148	22,07	0,451	0,151	0,301	
22.04.2023	14:12:56	22,08	21,9	22,1	22	0,2	22,139	22,07	0,068	0,113	0,091	

Vedlegg 21: Beregnet PMV, PPD, DR og PD verdier for Amfiet den 21.04.23

Amfiet, 21.04.2023												
Dato	Klokkeslett	Temperatur- gradient	Beregnet gjennomsnittlige Lufttemperatur		Beregnet gjennomsnittlig stråletemperatur		Beregnet gjennomsnittlige Luftfuktighet		Beregnet PMV	Beregnet PPD	DR	Vertikal lufttemperatur differanse PD
			Delta t _a [°C]	t _{luft} [°C]	t _{str} [°C]	v _g [m/s]	RH%	%				
22.04.2023	10:05:54	1,2	20,2	23,554	0,365	25,4	-0,76	17,11	21,54	0,9		
22.04.2023	10:08:55	1	20,1	23,408	0,286	27	-0,65	13,85	18,07	0,7		
22.04.2023	10:11:55	1,8	19,8	24,380	0,484	26,9	-0,85	20,35	27,18	1,4		
22.04.2023	10:14:56	2,2	19,9	24,178	0,466	26,8	-0,83	19,69	26,27	2,0		
22.04.2023	10:17:57	2,1	19,85	23,920	0,363	26,8	-0,74	16,81	0,00	1,9		
22.04.2023	10:20:57	1,7	20,45	22,806	0,235	27,2	-0,57	11,84	15,11	1,3		
22.04.2023	10:23:58	1,3	20,95	22,284	0,258	27,5	-0,58	11,99	15,67	0,9		
22.04.2023	10:26:59	1,6	20,9	22,375	0,333	27,3	-0,67	14,49	19,10	1,2		
22.04.2023	10:30:00	2,4	20,5	23,095	0,462	27,2	-0,66	14,10	0,00	2,4		
22.04.2023	10:33:00	2,2	20,4	23,036	0,367	27,1	-0,74	16,43	21,31	2,0		
22.04.2023	10:36:01	2	20,4	22,921	0,345	26,9	-0,72	15,99	20,36	1,7		
22.04.2023	10:39:02	1,9	20,35	23,073	0,375	27,2	-0,75	16,86	21,73	1,6		
22.04.2023	10:42:02	2	20,2	23,374	0,477	26,9	-0,86	22,50	26,14	1,7		
22.04.2023	10:45:03	2,2	20	23,337	0,386	27,1	-0,80	18,55	22,76	2,0		
22.04.2023	10:48:04	1,4	20,4	22,537	0,299	27,6	-0,70	15,18	18,29	1,0		
22.04.2023	10:51:04	1	20,7	22,282	0,448	27,8	-0,83	19,41	24,09	0,7		
22.04.2023	10:54:05	1,1	20,75	21,861	0,200	27,8	-0,56	11,46	12,95	0,8		
22.04.2023	10:57:06	0,7	20,65	21,867	0,157	28,5	-0,48	9,85	10,56	0,6		
22.04.2023	11:00:07	0,5	20,55	22,125	0,277	28,7	-0,62	13,02	17,06	0,5		
22.04.2023	11:03:07	0,8	20,5	22,170	0,269	28,2	-0,67	14,41	16,74	0,6		
22.04.2023	11:06:08	1	20,6	22,092	0,279	27,8	-0,68	14,62	0,00	0,7		
22.04.2023	11:09:09	0,8	20,7	21,860	0,180	27,9	-0,53	10,78	11,89	0,6		
22.04.2023	11:12:09	0,4	20,5	22,320	0,307	27,7	-0,71	15,57	18,52	0,4		
22.04.2023	11:15:10	0,8	20,7	21,932	0,177	27,8	-0,51	10,51	11,72	0,6		
22.04.2023	11:18:11	1	20,7	21,981	0,195	27,7	-0,58	11,96	12,73	0,7		
22.04.2023	11:21:11	0,9	20,75	21,851	0,134	27,7	-0,42	8,73	9,01	0,7		
22.04.2023	11:24:12	0,4	20,6	22,265	0,279	27,7	-0,66	14,19	17,09	0,4		
22.04.2023	11:27:13	0,6	20,8	21,933	0,175	27,8	-0,50	10,14	11,51	0,5		
22.04.2023	11:30:14	0,7	20,55	22,373	0,248	27,2	-0,62	13,00	15,65	0,6		
22.04.2023	11:33:14	0,5	20,55	22,718	0,202	27,7	-0,51	10,40	13,26	0,5		
22.04.2023	11:36:15	0,5	20,55	22,818	0,259	27,4	-0,59	12,34	16,20	0,5		
22.04.2023	11:39:16	0,7	20,55	22,861	0,288	27,2	-0,63	13,33	17,58	0,6		
22.04.2023	11:42:16	0,7	20,65	22,662	0,248	27,2	-0,58	11,94	15,54	0,6		
22.04.2023	11:45:17	1,1	20,75	22,593	0,282	27	-0,62	12,96	17,04	0,8		
22.04.2023	11:48:18	1	20,8	22,300	0,167	27	-0,45	9,19	11,05	0,7		
22.04.2023	11:51:18	0,8	20,9	22,154	0,147	26,7	-0,41	8,48	9,75	0,6		
22.04.2023	11:54:19	0,6	20,9	22,286	0,265	27,1	-0,60	12,47	16,06	0,5		
22.04.2023	11:57:20	0,6	21	22,077	0,204	27	-0,60	12,47	12,92	0,5		
22.04.2023	12:00:21	0,4	20,9	22,248	0,268	26,9	-0,61	12,69	16,20	0,4		
22.04.2023	12:03:21	0,2	20,7	22,458	0,296	27	-0,67	14,50	17,75	0,4		
22.04.2023	12:06:22	0,5	20,65	22,473	0,259	26,8	-0,62	12,96	16,08	0,5		
22.04.2023	12:09:23	0,7	20,85	22,021	0,175	26,9	-0,49	10,02	11,47	0,6		
22.04.2023	12:12:23	1	20,9	21,955	0,236	26,6	-0,59	12,36	14,66	0,7		
22.04.2023	12:15:24	0,9	21,15	21,579	0,186	26,7	-0,51	10,49	11,81	0,7		
22.04.2023	12:18:25	0,8	21,4	21,283	0,188	26,6	-0,51	10,42	11,69	0,6		
22.04.2023	12:21:26	0,5	21,45	21,173	0,198	26,8	-0,53	10,85	12,17	0,5		
22.04.2023	12:24:27	0,8	21,6	20,979	0,237	26,5	-0,58	12,05	13,92	0,6		
22.04.2023	12:27:28	0,7	21,75	20,830	0,189	26,9	-0,51	10,34	11,42	0,6		
22.04.2023	12:30:29	0,8	21,6	21,003	0,155	26,8	-0,45	9,27	9,70	0,6		
22.04.2023	12:33:30	0,7	21,75	20,910	0,141	26,9	-0,42	8,61	8,76	0,6		
22.04.2023	12:36:31	0,5	21,85	20,897	0,111	27,1	-0,34	7,34	6,77	0,5		
22.04.2023	12:39:32	0,6	21,9	20,933	0,092	26,6	-0,28	6,64	5,35	0,5		
22.04.2023	12:42:33	0,7	21,95	22,441	0,139	27	-0,23	6,06	8,50	0,6		
22.04.2023	12:45:34	0,8	22	22,587	0,497	27,1	-0,61	12,77	23,41	0,6		
22.04.2023	12:48:35	0,9	22,15	22,281	0,159	27,1	-0,25	6,36	9,49	0,7		
22.04.2023	12:51:36	0,9	22,15	22,265	0,086	27	-0,10	5,20	4,76	0,7		
22.04.2023	12:54:37	0,94	22,23	22,230	0,160	27	-0,25	6,30	9,48	0,7		
22.04.2023	13:00:39	1,2	22,1	22,444	0,274	27,3	-0,41	8,44	14,97	0,9		
22.04.2023	13:03:40	1,8	21,8	22,687	0,213	27,1	-0,20	5,84	12,57	1,4		
22.04.2023	13:06:41	1,1	22,05	22,377	0,064	26,5	-0,10	5,22	2,67	0,8		
22.04.2023	13:09:42	0,9	22,15	22,342	0,115	26,8	-0,16	5,52	6,87	0,7		
22.04.2023	13:12:43	0,6	22,1	22,410	0,141	26,6	-0,22	5,97	8,51	0,5		
22.04.2023	13:15:44	0,7	22,15	22,356	0,105	26,4	-0,14	5,38	6,19	0,6		
22.04.2023	13:18:45	0,8	22,2	22,357	0,114	26,4	-0,15	5,47	6,78	0,6		
22.04.2023	13:21:46	0,7	22,05	22,565	0,199	26,3	-0,31	7,00	11,63	0,6		
22.04.2023	13:24:47	0,6	22,1	22,517	0,136	26,6	-0,20	5,79	8,22	0,5		
22.04.2023	13:27:48	0,6	22,1	22,521	0,118	26,1	-0,16	5,53	7,10	0,5		
22.04.2023	13:30:49	0,5	22,05	22,641	0,170	26,1	-0,26	6,36	10,16	0,5		
22.04.2023	13:33:50	0,6	22,1	22,568	0,132	25,7	-0,19	5,72	7,98	0,5		
22.04.2023	13:36:51	0,8	22,2	22,527	0,176	25,7	-0,26	6,40	10,34	0,6		
22.04.2023	13:39:52	0,8	22,2	21,530	0,136	25,5	-0,19	5,73	8,15	0,6		
22.04.2023	13:42:53	0,7	22,15	21,540	0,193	25,5	-0,39	8,17	11,24	0,6		
22.04.2023	13:45:54	0,6	22,3	21,495	0,157	25,6	-0,32	7,09	9,26	0,5		
22.04.2023	13:48:55	0,6	22,2	21,612	0,191	26,1	-0,37	7,85	11,10	0,5		
22.04.2023	13:51:56	0,5	22,25	21,639	0,171	25,4	-0,33	7,32	10,04	0,5		
22.04.2023	13:54:57	0,3	22,25	21,694	0,151	25,3	-0,30	6,81	8,97	0,4		
22.04.2023	13:57:58	0,3	22,25	21,743	0,186	25,3	-0,35	7,51	10,80	0,4		
22.04.2023	14:00:59	0,5	22,15	21,878	0,184	24,6	-0,35	7,54	10,79	0,5		
22.04.2023	14:03:59	0,5	22,15	21,945	0,154	24,8	-0,29	6,77	9,21	0,5		
22.04.2023	14:06:59	0,5	22,15	21,960	0,168	24,9	-0,31	7,05	9,97	0,5		
22.04.2023	14:09:59	0,2	22	22,217	0,602	24,6	-0,72	15,80	26,81	0,4		
22.04.2023	14:12:59	0,2	22	22,155	0,181	24,6	-0,33	7,30	10,78	0,4		

Vedlegg 22: Målte og beregnede verdier for Utstilling den 21.04.23

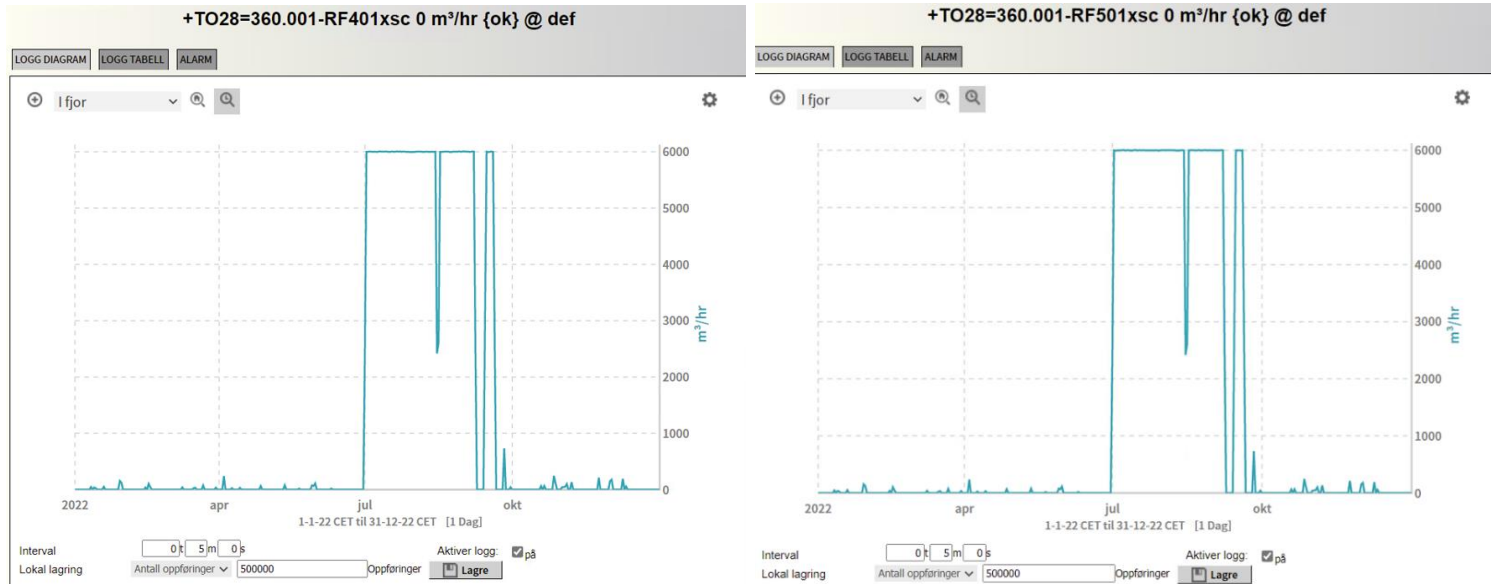
Utstilling, 21.04.2023												
Dato	Klokkeslett	Målt Globetemperatur	Målt Lufttemperatur	Målt Lufttemperatur	Beregnet gjennomsnittlig Lufttemperatur	Temperaturgradient	Beregnet gjennomsnittlig stråletemperatur	Operativ temperatur	Målt Lufthastighet	Målt Lufthastighet	Beregnet gjennomsnittlig Lufthastighet	
-	-	t _g [°C]	t _{l,ved 0,1 m} [°C]	t _{l,ved 1,6 m} [°C]	t _g [°C]	Delta t _l [°C]	t _{fm} [°C]	t _{op} [°C]	v _{0,1} [m/s]	v _{1,6} [m/s]	v _g [m/s]	
22.04.2023	08:19:15	22,9	22,7	23,4	23,05	0,7	22,823	22,94	0,045	0,055	0,050	
22.04.2023	08:22:16	22,8	22,9	23,5	23,2	0,6	22,603	22,90	0,036	0,05	0,043	
22.04.2023	08:25:16	23,12	23,1	23,6	23,35	0,5	22,994	23,17	0,027	0,062	0,045	
22.04.2023	08:28:17	23,15	23,1	23,7	23,4	0,6	23,052	23,23	0,021	0,032	0,027	
22.04.2023	08:31:18	23,12	23,2	23,7	23,45	0,5	22,977	23,21	0,018	0,039	0,029	
22.04.2023	08:34:18	23,13	23,2	23,7	23,45	0,5	23,002	23,23	0,032	0,033	0,033	
22.04.2023	08:37:19	23,12	23,2	23,8	23,5	0,6	22,973	23,24	0,031	0,031	0,031	
22.04.2023	08:40:20	23,12	23,2	23,8	23,5	0,6	22,931	23,22	0,044	0,051	0,048	
22.04.2023	08:43:20	23,14	23,3	23,9	23,6	0,6	22,861	23,23	0,017	0,076	0,047	
22.04.2023	08:46:21	23,15	23,3	23,9	23,6	0,6	22,833	23,22	0,024	0,074	0,049	
22.04.2023	08:49:22	23,12	23,3	23,9	23,6	0,6	22,901	23,25	0,027	0,043	0,035	
22.04.2023	08:52:22	23,12	23,3	24	23,65	0,7	22,959	23,30	0,018	0,019	0,019	
22.04.2023	08:55:23	23,12	23,3	24	23,65	0,7	22,792	23,22	0,018	0,079	0,049	
22.04.2023	08:58:24	23,13	23,3	24	23,65	0,7	22,832	23,24	0,019	0,068	0,044	
22.04.2023	09:01:24	23,15	23,4	24,1	23,75	0,7	22,789	23,27	0,104	0,075	0,090	
22.04.2023	09:04:25	23,2	23,3	24,1	23,7	0,8	22,889	23,29	0,039	0,08	0,060	
22.04.2023	09:07:26	23,2	23,4	24,2	23,8	0,8	22,766	23,28	0,042	0,108	0,075	
22.04.2023	09:10:27	23,2	23,6	24,3	23,95	0,7	22,827	23,39	0,068	0,051	0,060	
22.04.2023	09:13:27	23,2	23,6	24,2	23,9	0,6	22,908	23,40	0,03	0,036	0,033	
22.04.2023	09:16:28	23,3	23,5	24,3	23,9	0,8	23,133	23,52	0,026	0,016	0,021	
22.04.2023	09:19:29	23,3	23,6	24,3	23,95	0,7	23,108	23,53	0,018	0,018	0,018	
22.04.2023	09:22:29	23,3	23,5	24,3	23,9	0,8	23,198	23,55	0,02	0,006	0,013	
22.04.2023	09:25:30	23,3	23,4	24,3	23,85	0,9	23,179	23,51	0,019	0,01	0,015	
22.04.2023	09:28:31	23,2	23,4	24,3	23,85	0,9	22,988	23,42	0,021	0,022	0,022	
22.04.2023	09:31:31	23,2	23,4	24,3	23,85	0,9	22,974	23,41	0,031	0,025	0,028	
22.04.2023	09:34:32	23,19	23,5	24,3	23,9	0,8	22,986	23,44	0,048	0,017	0,033	
22.04.2023	09:37:33	23,91	23,6	24,4	24	0,8	23,886	23,94	0,046	0,015	0,031	
22.04.2023	09:40:33	23,3	23,6	24,3	23,95	0,7	23,061	23,51	0,056	0,028	0,042	
22.04.2023	09:43:34	23,3	23,6	24,2	23,9	0,6	23,068	23,48	0,032	0,031	0,032	
22.04.2023	09:46:35	23,4	23,5	22,1	22,8	-1,4	23,671	23,24	0,035	0,042	0,039	
22.04.2023	09:49:35	23,3	23,4	24,1	23,75	0,7	23,097	23,42	0,039	0,042	0,041	
22.04.2023	09:52:36	23,4	23,4	23,8	23,6	0,4	23,307	23,45	0,051	0,045	0,048	
22.04.2023	09:55:37	23,3	23,2	23,6	23,4	0,4	23,261	23,33	0,072	0,031	0,052	

Utstilling, 21.04.2023										
Dato	Klokkeslett	Temperaturgradient	Beregnet gjennomsnittslige Lufttemperatur	Beregnet gjennomsnittlig stråletemperatur	Beregnet gjennomsnittslige Lufthastighet	Målt luftfuktighet fra Q-Trak	Beregnet PMV	Beregnet PPD	DR	Vertikal lufttemperatur differanse PD
-	-	Delta t _l [°C]	t _{luft} [°C]	t _{fm} [°C]	v _g [m/s]	RH%		%	%	%
22.04.2023	08:19:15	0,7	23,05	22,826	0,050	27,7	0,05	5,12	0,00	0,6
22.04.2023	08:22:16	0,6	23,2	22,618	0,050	27,4	0,05	5,05	0,00	0,5
22.04.2023	08:25:16	0,5	23,35	23,013	0,050	26,9	0,13	5,34	0,00	0,5
22.04.2023	08:28:17	0,6	23,4	23,060	0,050	26,6	0,13	5,37	0,00	0,5
22.04.2023	08:31:18	0,5	23,45	22,997	0,050	26,4	0,14	5,38	0,00	0,5
22.04.2023	08:34:18	0,5	23,45	23,003	0,050	26,4	0,14	5,39	0,00	0,5
22.04.2023	08:37:19	0,6	23,5	22,973	0,050	26,1	0,04	5,03	0,00	0,5
22.04.2023	08:40:20	0,6	23,5	22,938	0,050	25,9	0,13	5,37	0,00	0,5
22.04.2023	08:43:20	0,6	23,6	22,922	0,050	25,8	0,14	5,43	0,00	0,5
22.04.2023	08:46:21	0,6	23,6	22,931	0,050	26,2	0,15	5,45	0,00	0,5
22.04.2023	08:49:22	0,6	23,6	22,922	0,050	25,8	0,14	5,43	0,00	0,5
22.04.2023	08:52:22	0,7	23,65	22,961	0,050	25,8	0,15	5,49	0,00	0,6
22.04.2023	08:55:23	0,7	23,65	22,863	0,050	25,3	0,14	5,41	0,00	0,6
22.04.2023	08:58:24	0,7	23,65	22,891	0,050	25,3	0,14	5,42	0,00	0,6
22.04.2023	09:01:24	0,7	23,75	22,755	0,090	25,3	0,12	5,29	4,36	0,6
22.04.2023	09:04:25	0,8	23,7	22,932	0,060	25,3	0,14	5,42	1,81	0,6
22.04.2023	09:07:26	0,8	23,8	22,839	0,075	25,6	0,16	5,52	3,26	0,6
22.04.2023	09:10:27	0,7	23,95	22,798	0,060	26,2	0,10	5,23	1,76	0,6
22.04.2023	09:13:27	0,6	23,9	22,920	0,050	26	0,18	5,68	0,00	0,5
22.04.2023	09:16:28	0,8	23,9	23,109	0,050	26,1	0,20	5,84	0,00	0,6
22.04.2023	09:19:29	0,7	23,95	23,108	0,050	26,2	0,21	5,90	0,00	0,6
22.04.2023	09:22:29	0,8	23,9	23,149	0,050	25,9	0,20	5,87	0,00	0,6
22.04.2023	09:25:30	0,9	23,85	23,154	0,050	25,8	0,20	5,82	0,00	0,7
22.04.2023	09:28:31	0,9	23,85	22,990	0,050	25,8	0,18	5,68	0,00	0,7
22.04.2023	09:31:31	0,9	23,85	22,961	0,050	26,1	0,18	5,67	0,00	0,7
22.04.2023	09:34:32	0,8	23,9	22,908	0,050	26	0,18	5,67	0,00	0,6
22.04.2023	09:37:33	0,8	24	23,875	0,050	26,2	0,29	6,81	0,00	0,6
22.04.2023	09:40:33	0,7	23,95	23,007	0,050	26,2	0,20	5,81	0,00	0,6
22.04.2023	09:43:34	0,6	23,9	23,066	0,050	26	0,20	5,80	0,00	0,5
22.04.2023	09:46:35	-1,4	22,8	23,659	0,050	25,6	0,12	5,29	0,00	0,1
22.04.2023	09:49:35	0,7	23,75	23,101	0,050	25,6	0,18	5,66	0,00	0,6
22.04.2023	09:52:36	0,4	23,6	23,304	0,050	25,5	0,18	5,68	0,00	0,4
22.04.2023	09:55:37	0,4	23,4	23,250	0,052	24,5	0,14	5,43	0,59	0,4

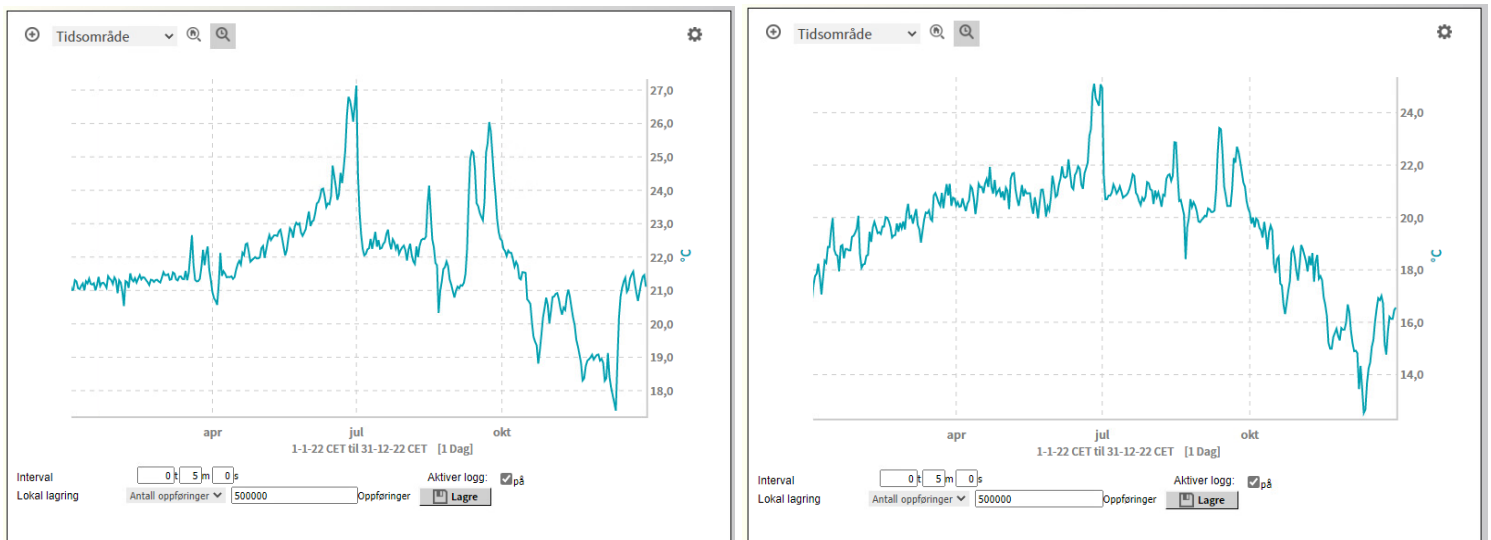
Vedlegg 23: Oversikt over mekanisk ventilasjon samt temperaturer i 2022

Figuren til venstre er tilluftsoversikt fra system 360.001 for hele 2022

Figuren til høyre er avtrekksoversikt fra system 360.001 for hele 2022



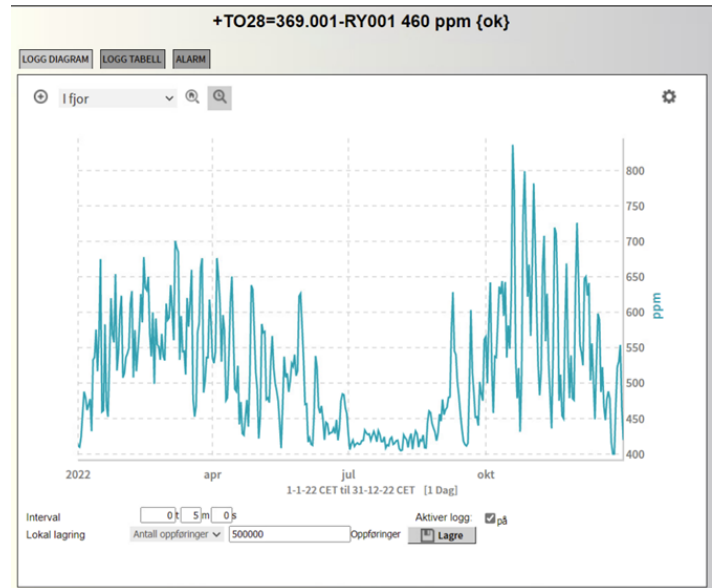
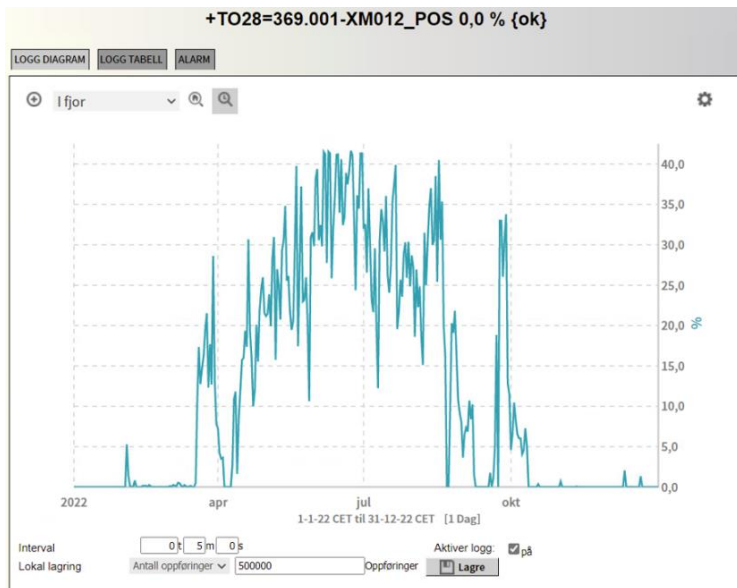
Figuren nederst til venstre er temperaturene i Utstillingen i hele 2022 og figuren nederst til høyre er temperaturene i Amfiet i hele 2022



Vedlegg 24: Vindusåpningsoversikt for hele 2022

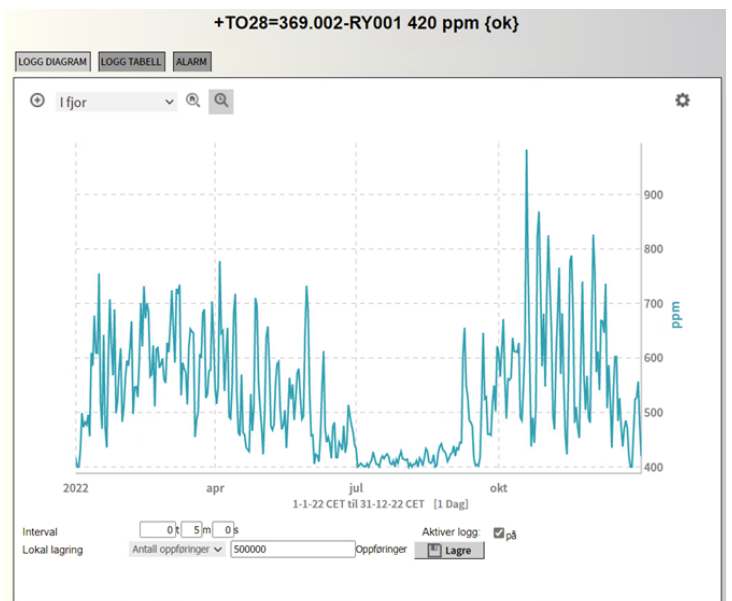
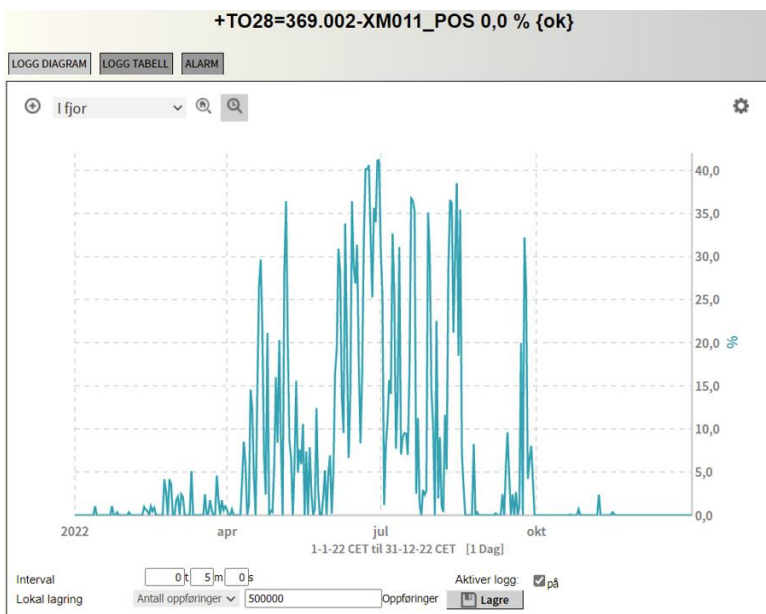
Figuren til venstre er Vindusåpningsgrader for hele 2022 i Utstillingen, (SD-anlegget)

Figuren til høyre er CO₂-konsentrasjoner for Utstillingen i hele 2022, (SD-anlegget)

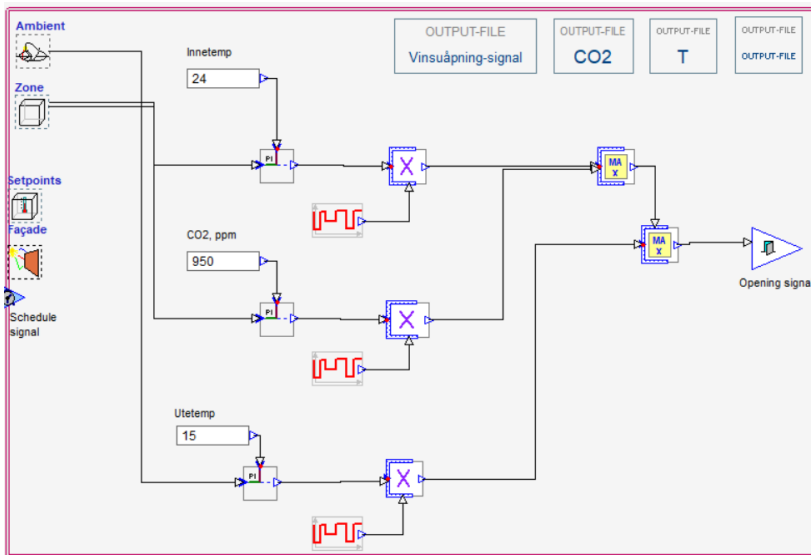


Figuren nederst til venstre er vindusåpningsgrader for hele 2022 i Amfiet, (SD-anlegget)

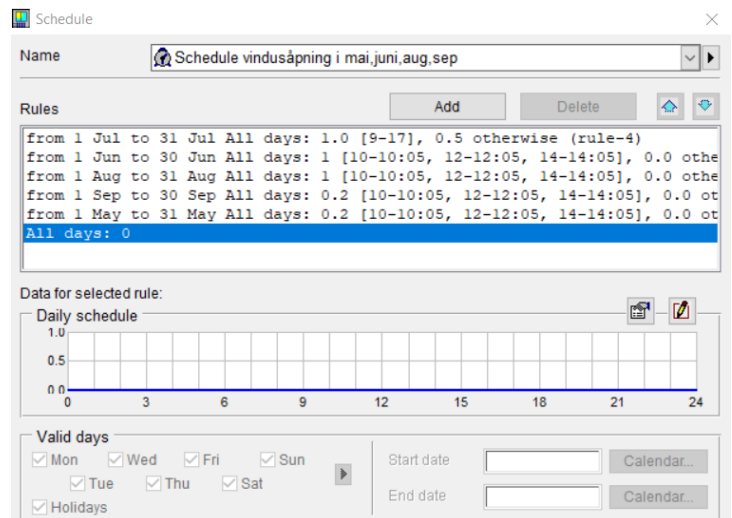
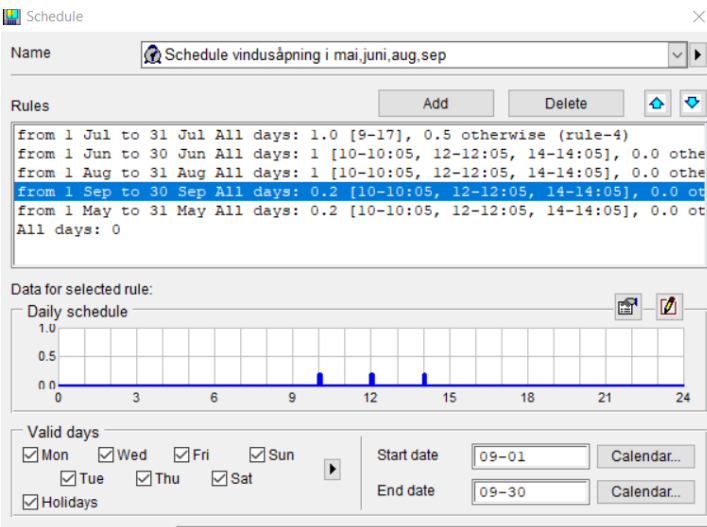
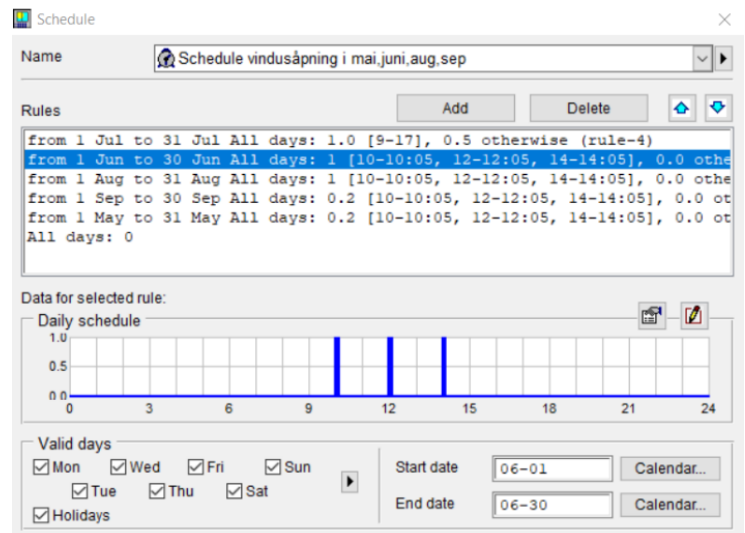
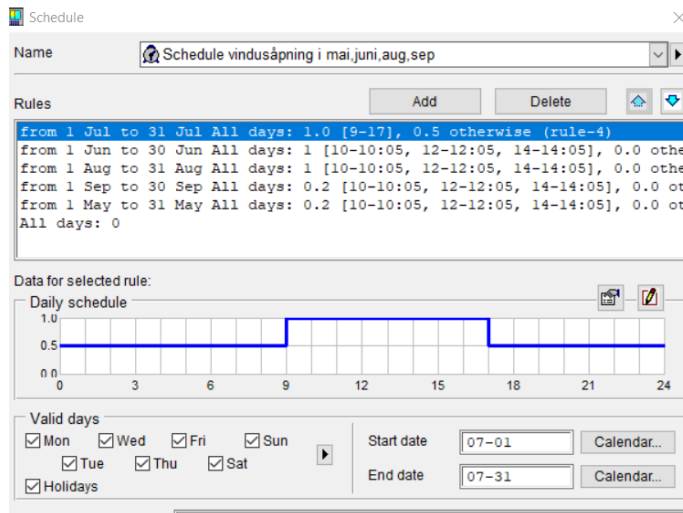
Figuren nederst til høyre er CO₂-konsentrasjoner for Amfiet i hele 2022



Vedlegg 25: Makro for styringsstrategi med mekaniskventilasjon alltid på og hjelp av vindusåpning + pulsventilering i vår og høst og nattventilering i juli

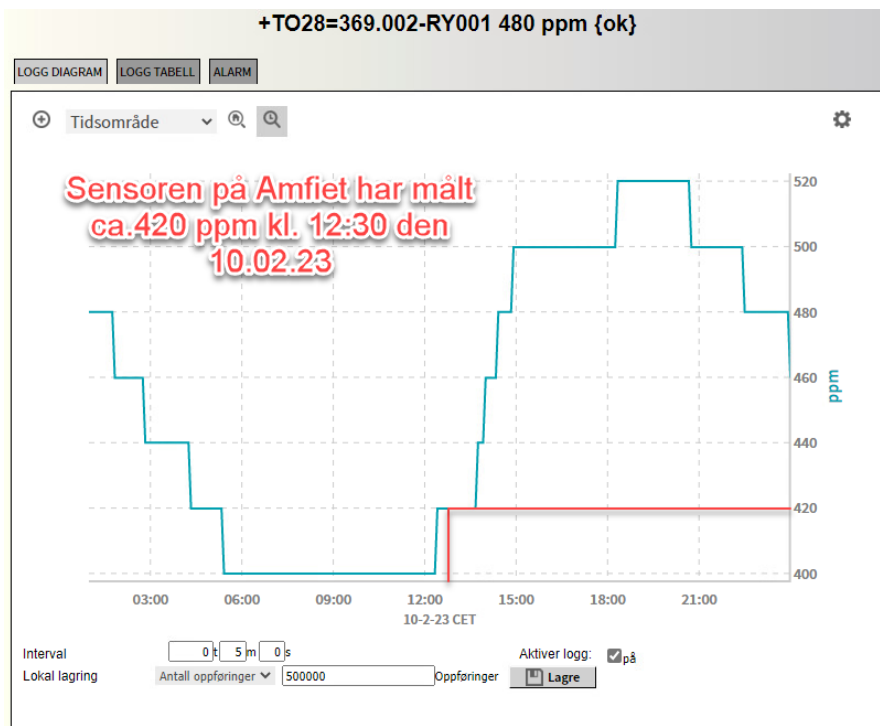
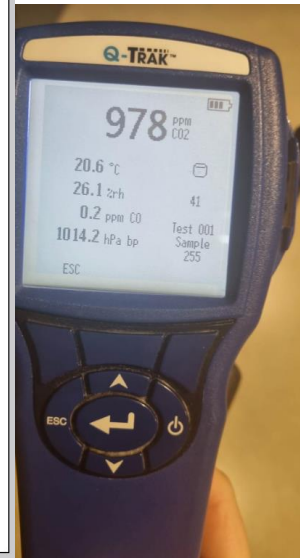
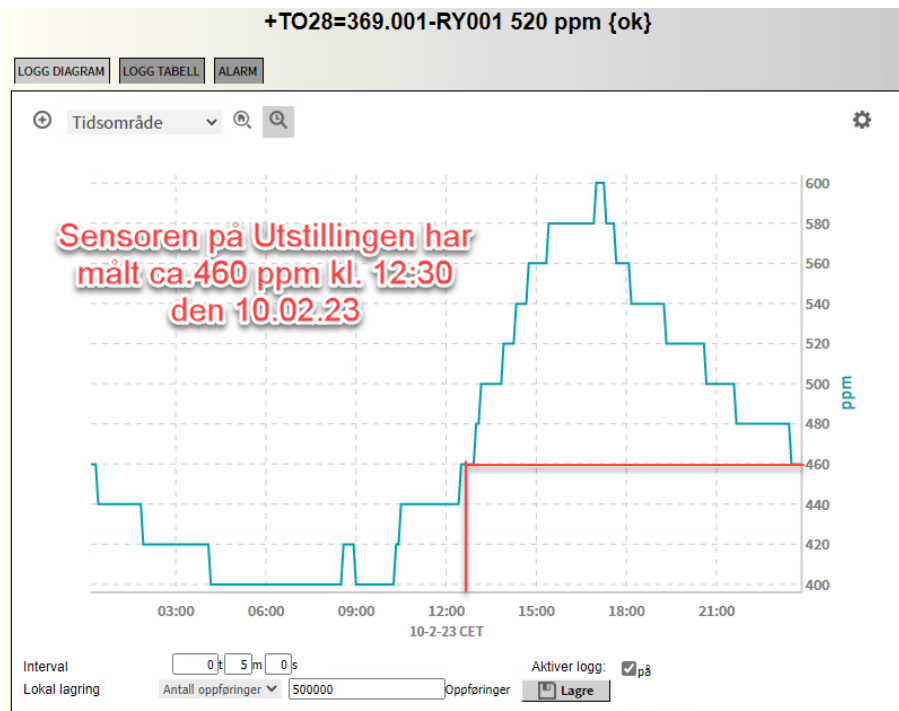


Diverse schedulene nedenfor er for høst og vår pulsventilering pluss nattkjøling i juli

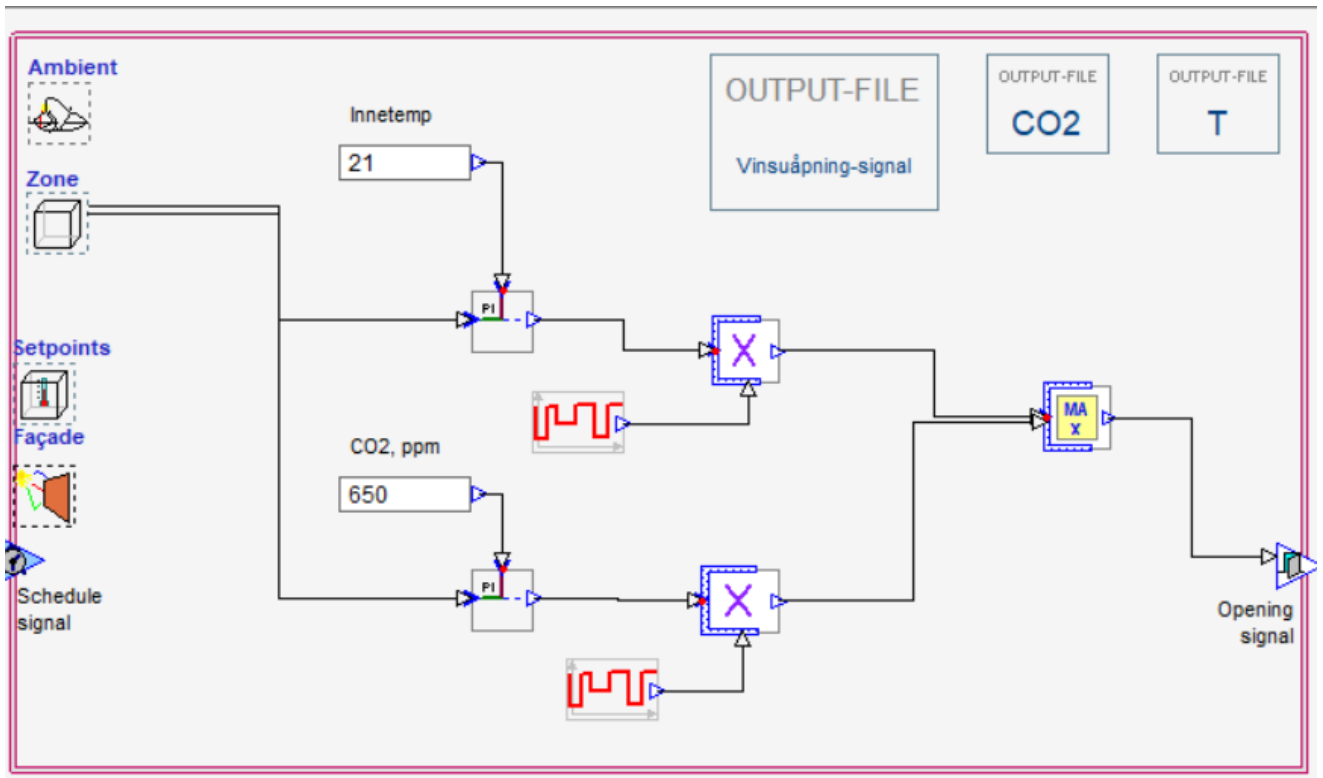


Vedlegg 26: Registrerte CO₂-konsentrasjoner ved sensorene den 07.02.2023

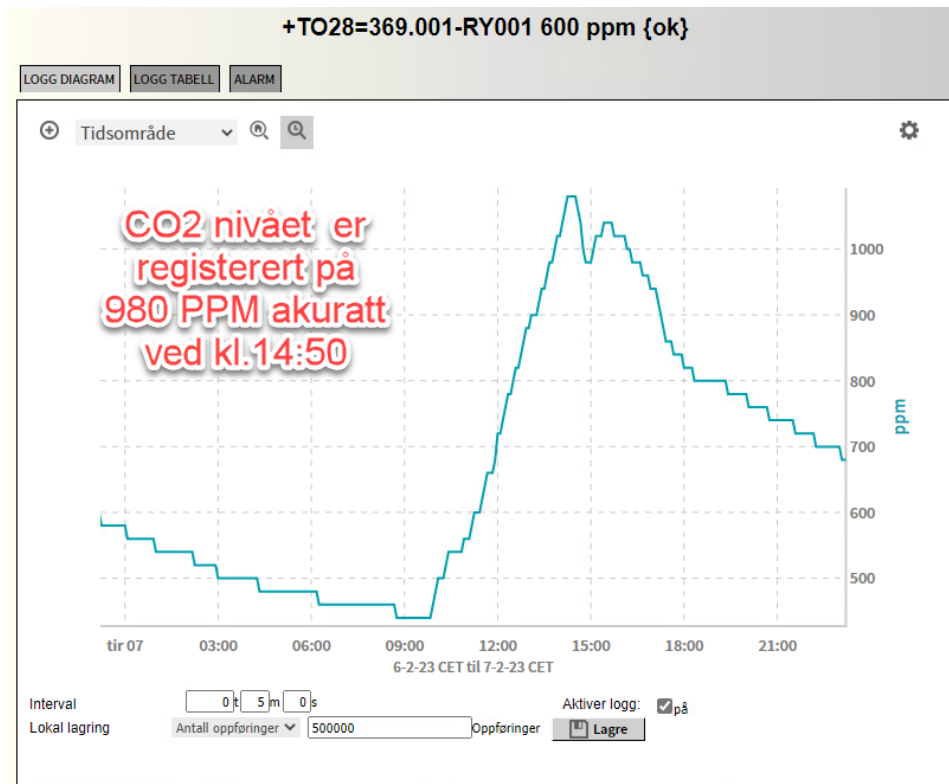
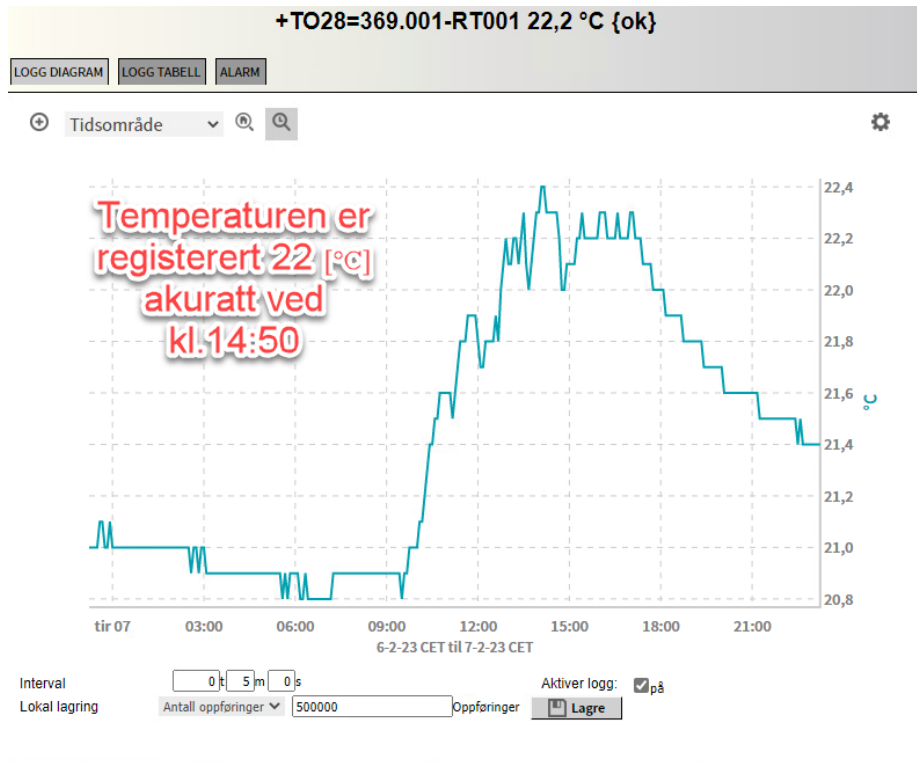
Figuren til venstre er fra SD-anlegget, mens bildet til høyre er målt CO₂-konsentrasjonen med Q-Track rett ved sensoren



Vedlegg 27: Makro for vindusåpningsstrategi med naturligventilasjon i grunn og bidrag fra mekaniskventilasjon

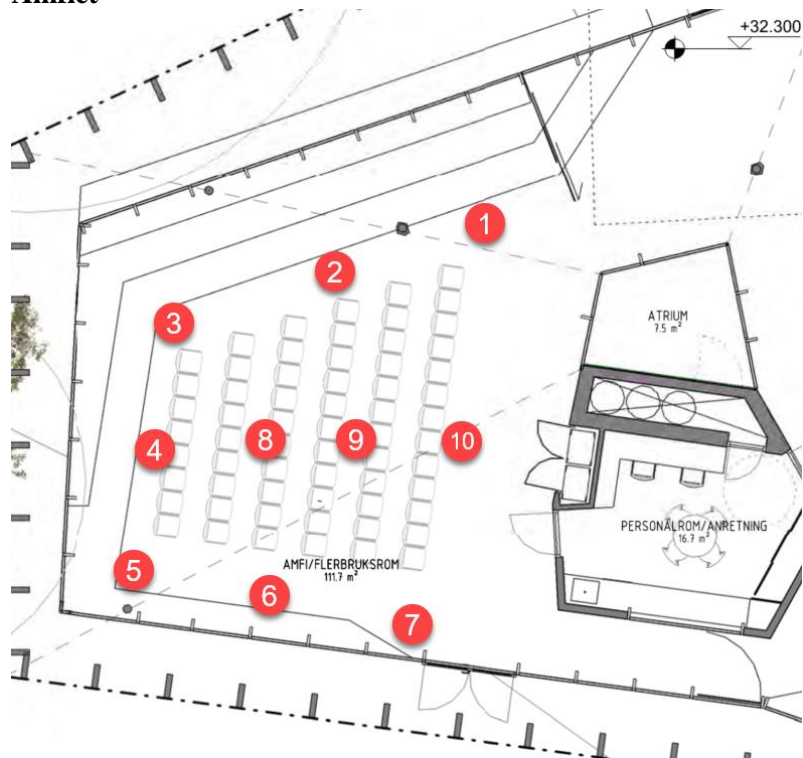


Vedlegg 28: Første og andre figuren viser hhv. registrerte temperaturen og CO₂-nivået i Utstillingen ved sensoren den 07.02.23

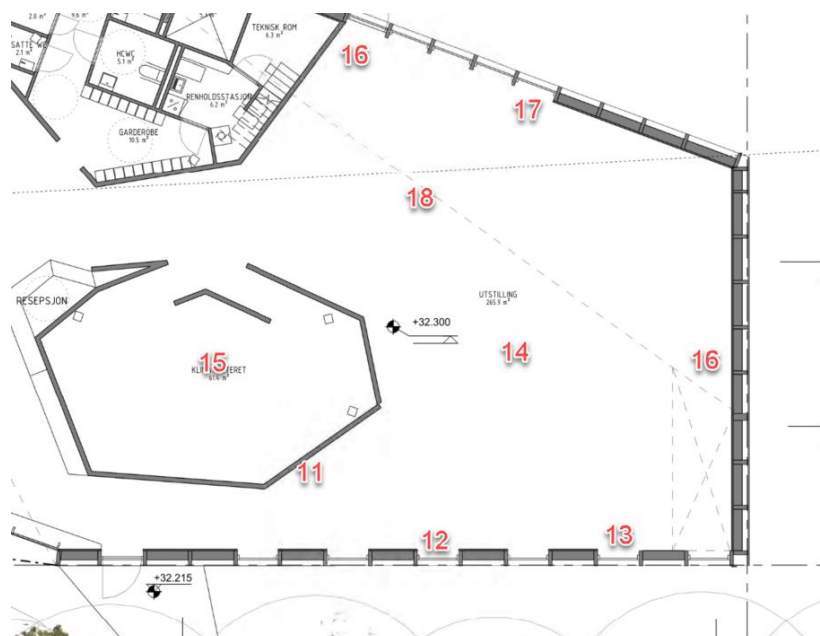


Vedlegg 29: Målepunktene ved Amfiet og Utstillingen for å sjekke temperaturforskjeller

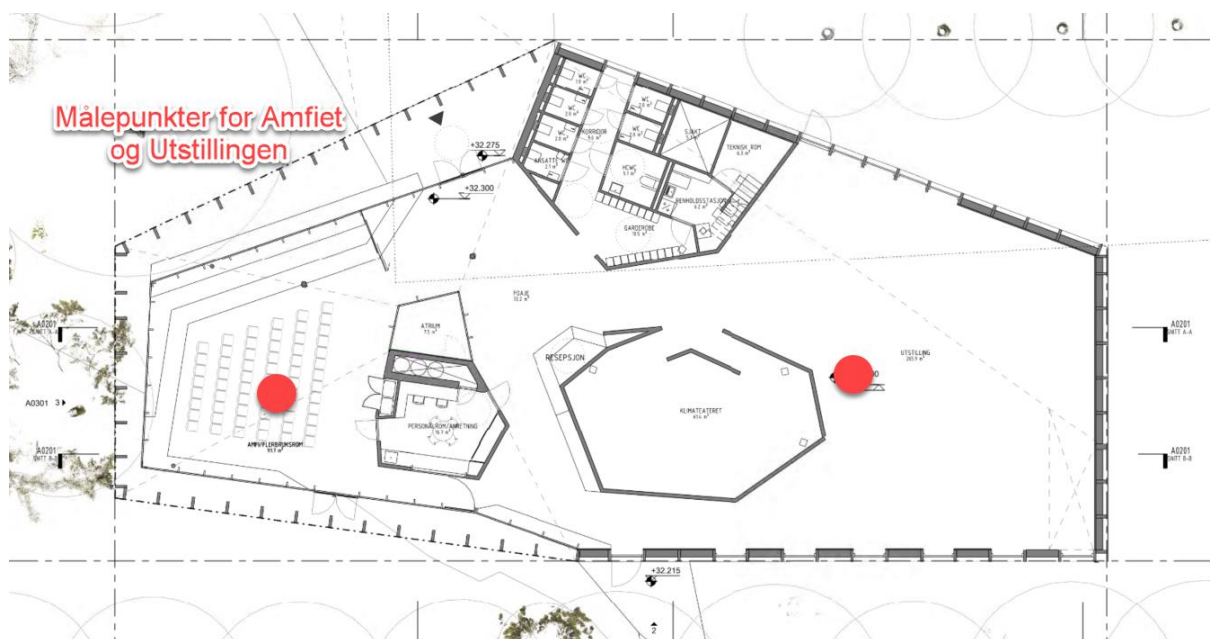
Amfiet



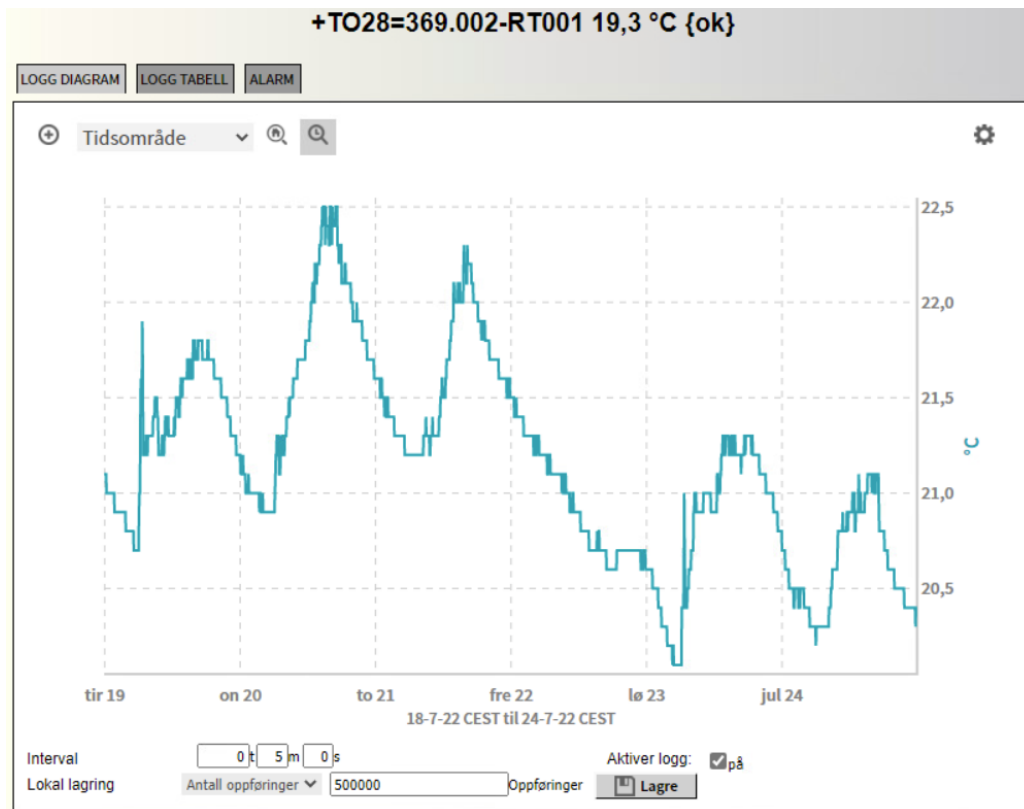
Utstillingen



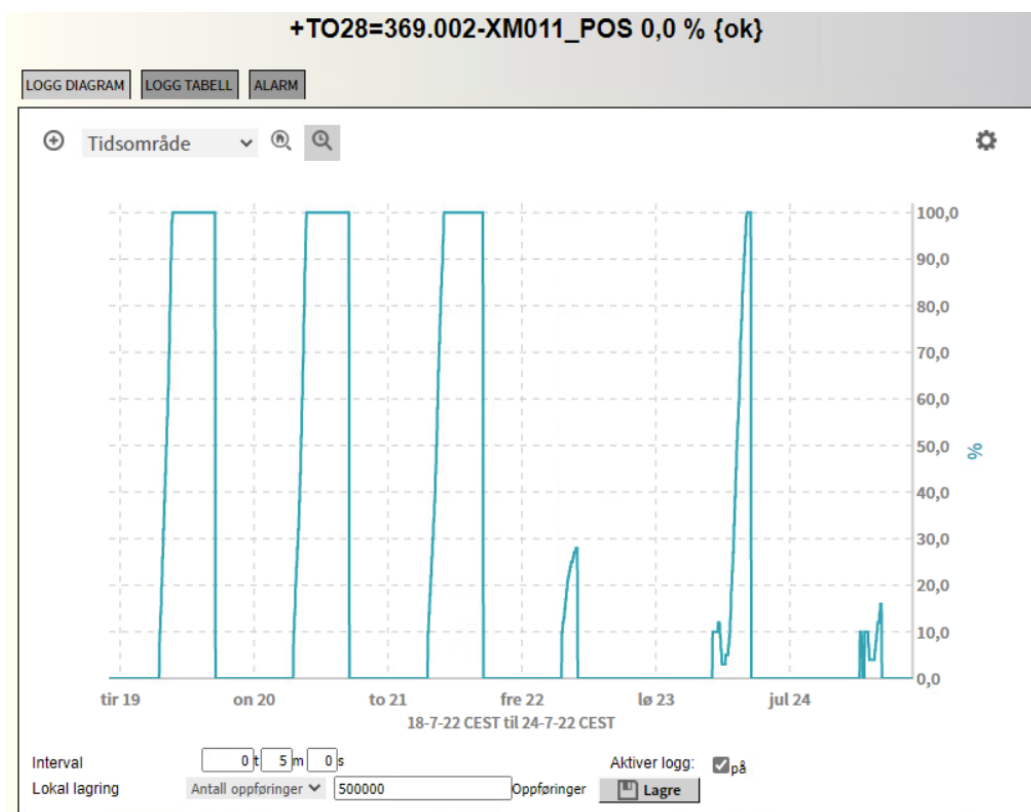
Vedlegg 30: Målepunkter for lufthastigheter, lufttemperatur den 07.02.23



Vedlegg 31: Sammenhengen mellom vindusåpning og innetemperaturen ved Amfiet ved tidsrommet fra 18.07.22 til 24.07.22



Vindusåpningsgrad



Vedlegg 32: Romsensor levert av Window Master (FDV)

Version 1
Sensorer

**WINDOW
Master**[®]
Fresh Air. Fresh People.



WWS 100

Temperatur-, CO₂- og fugtighedssensor med komforttryk og WSK-Link™



Konfort-
ventilator

Anvendelse

Indendørs sensor til måling af luftkvalitet ved hjælp af temperatur-, CO₂-niveau- og relative fugtighedsmålinger. Der anvendes typisk en sensor per rum / zone, men flere sensorer kan anvendes i samme rum / zone såfremt der f.eks. ønskes minimums-, maximums- og middelværdier. Udover sensorfunktioner, indeholder enheden også et betjeningstryk til samtidig betjening af samtlige vinduer eller udvalgte motorgrupper i rummet / zonen; f.eks. luk eller åbn alle vinduer.

Via WSK-Link™ tilsluttes sensoren en WindowMaster styring af typen WCC 310 PLUS, WCC 320 PLUS, WSC 310 PLUS eller WSC 320 PLUS. Der kan tilsluttes op til 15 sensorer per styring.

WSK-Link™ er WindowMasters egen robuste serielle datanetprotokol, der integrerer strømforsyning og (seriel) datakommunikation i et 3-lederkabel. WSK-Link™ anvendes til datakommunikation mellem WindowMasters seneste generation af styringer, sensorer og brandtryk. Den maksimale kabellængde må ikke overstige 200m og enheder må ikke forbindes i en ring-bus.

WWS 100 er specielt egnet som rumsensor i NV Embedded® løsninger.

Specifikationer

- temperaturen måles i intervallet 0-50°C.
- CO₂-niveauet måles i intervallet 400-2000ppm.
- relativ fugtighed måles i intervallet 0-100%.
- målingerne sendes direkte til styringen via WSK-Link™

Retningslinje for kuldioxidkoncentrationen i rum

CO ₂ koncentration	Vurdering af luftkvaliteten
< 800 ppm	God
800-1400 ppm	Moderat
> 1400 ppm	Luk / åbn vind

6.10

WWS 100

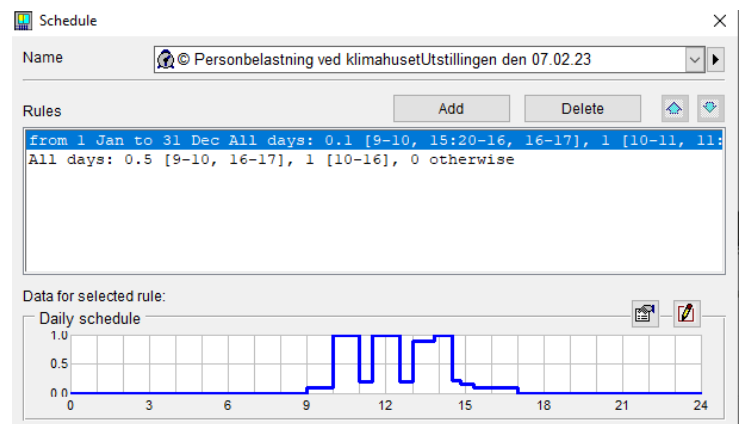
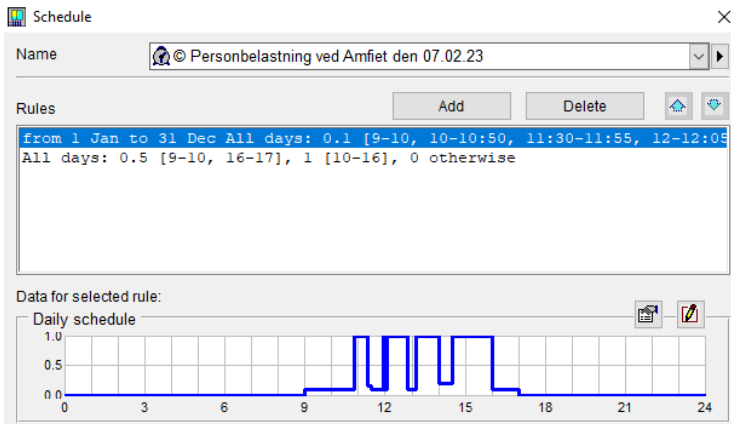
Temperatur-, CO₂- og fugtighedssensor med komfortryk og WSK-Link™

Tekniske specifikationer	
Strømforbrug	2mA
Strømforsyning	via WSK-Link™
Tilslutning	WSK-Link™, via MotorController type WCC 310 / WCC 320 eller brandcentral type WSC 310 / WSC 320
Driftbetingelser	0°C - +50°C, til indendørs vægmontage, og må ikke monteres i støvfyldte omgivelser eller tildækkes
Materiale	selvslukkende termoplast
Farve	Studiehvid (svarende til RAL 9016)
Størrelse	83 x 114 x 24mm (B x H x D)
Vægt	114 g
CO ₂ nøjagtighed	±150 ppm i løbet af levetiden ved 25°C og 950 - 1050 hPa
Kalibrering	Fabrikskalibreret til bedre end ±50 ppm ved 600 ppm og 1000 ppm. Autokalibrering vha. ABC logic™
Fugtighedsmåling, relativ	1 - 100% ±3% ved 25°C
Temperaturmåling	0°C - 50°C, ±0,5°C ved 25°C og ±1°C ved 0..50°C
Håndtering	må ikke udsættes for mekanisk stød eller kraftige vibrationer
Kaplingsklasse	IP20, klasse III (SELV/PELF)
Levering	sensor
Forbehold	der tages forbehold for tekniske ændringer

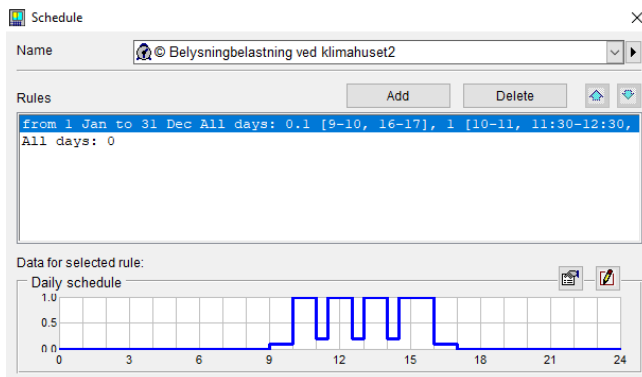
Varianter	Varenummer
Temperatur, CO ₂ - og fugtighedssensor med komfortryk og WSK-Link™	WWS 100

Vedlegg 33: Scheduler for 07.02.23

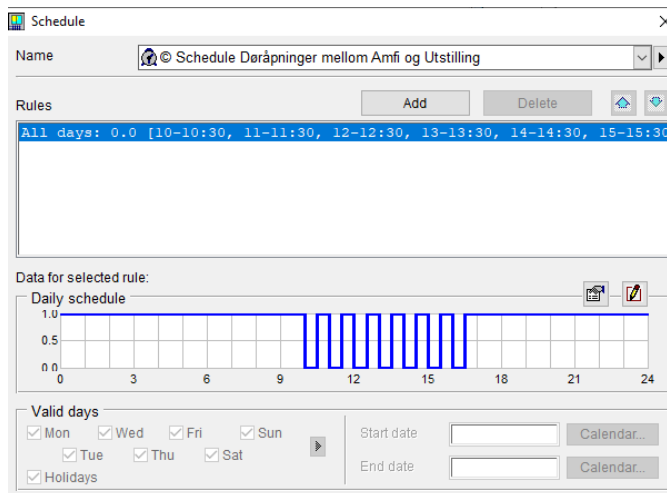
Schedules for reelle personbelastninger i Amfi og Utstilling for den måledagen 07.02.23



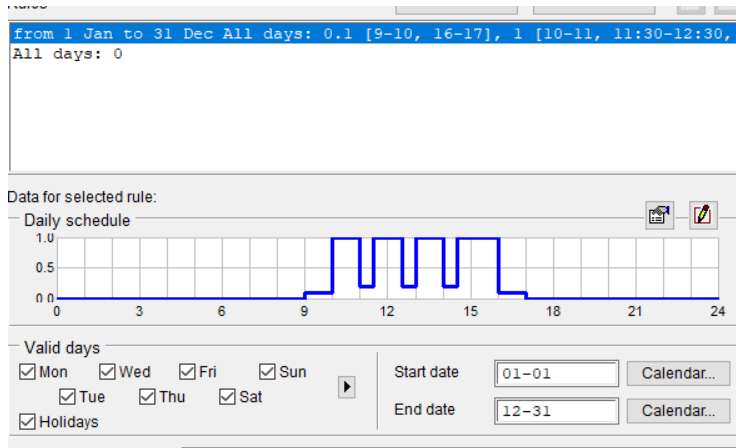
Schedules for antatt belastninger for belysning og utstyr for rommene for den måledagen 07.02.23



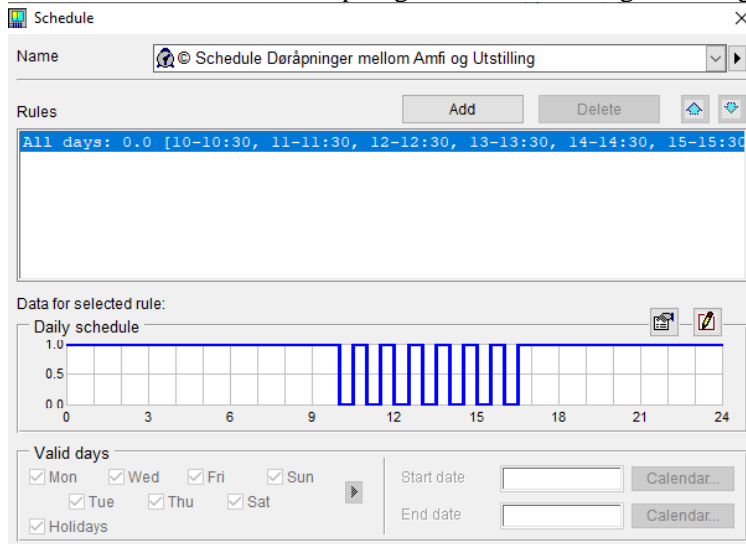
Antatt scheduleliste for døråpninger mellom Amfi og Utstillingen



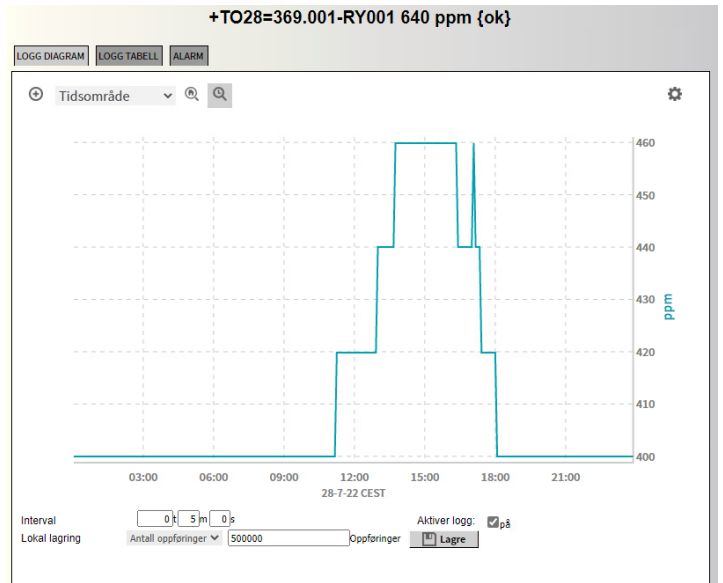
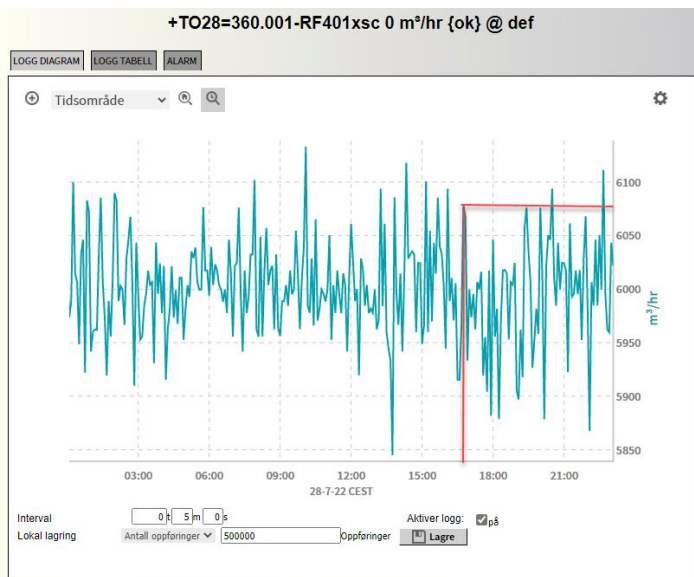
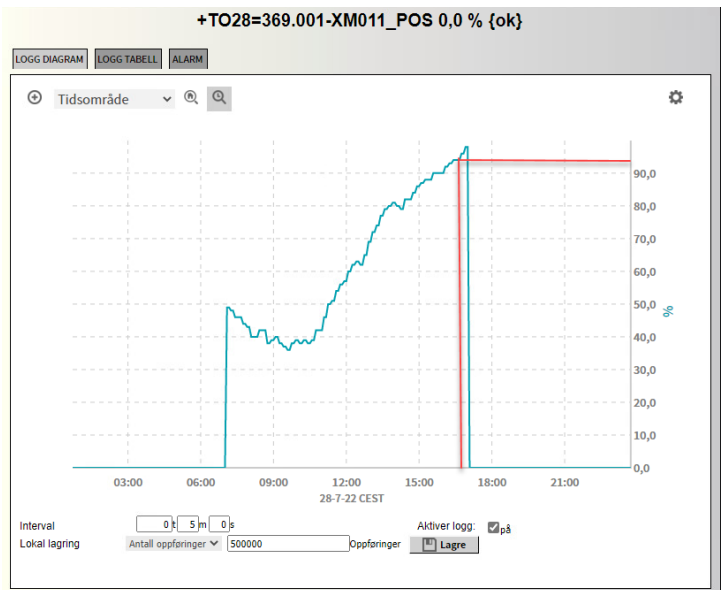
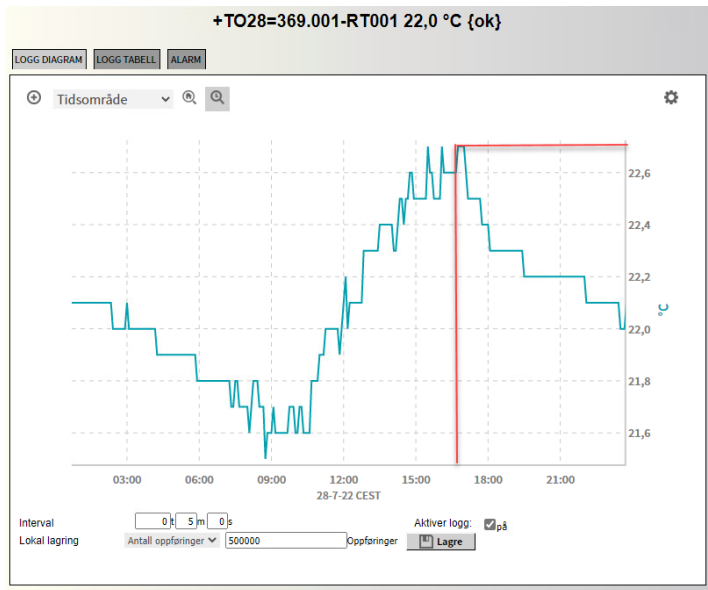
Vedlegg 34: Antatt scheudleliste for person, belysning og utstyr for tiltaksmodellene



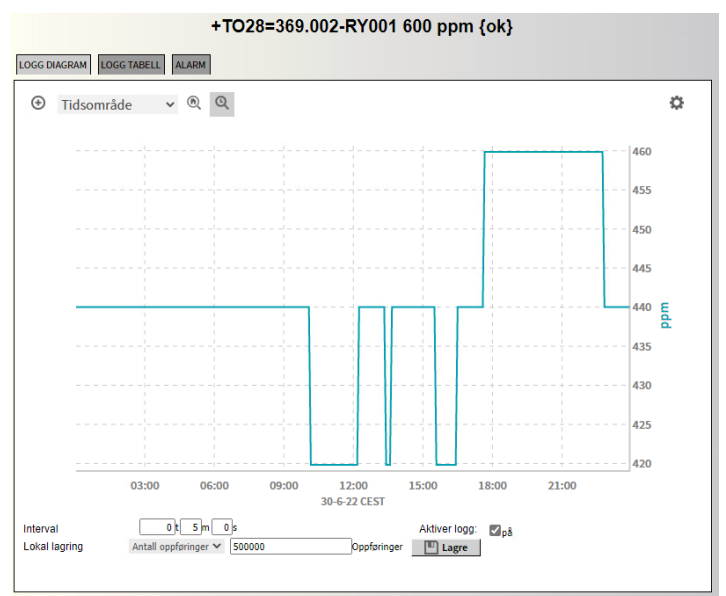
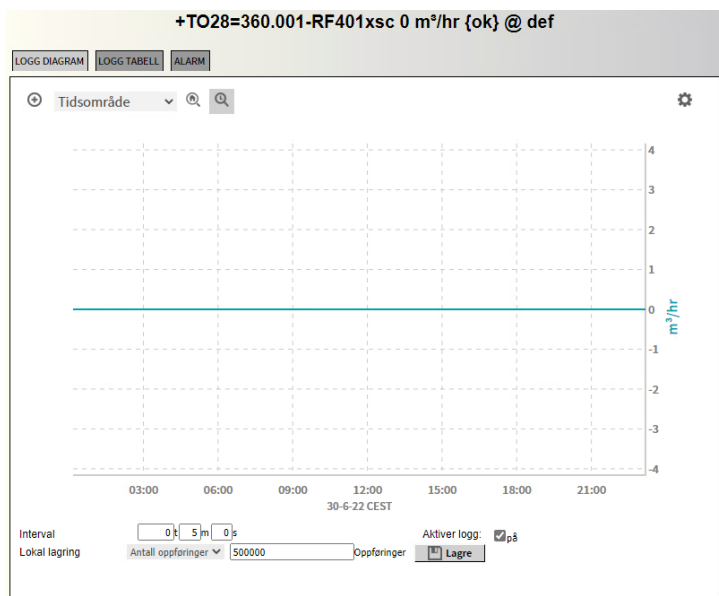
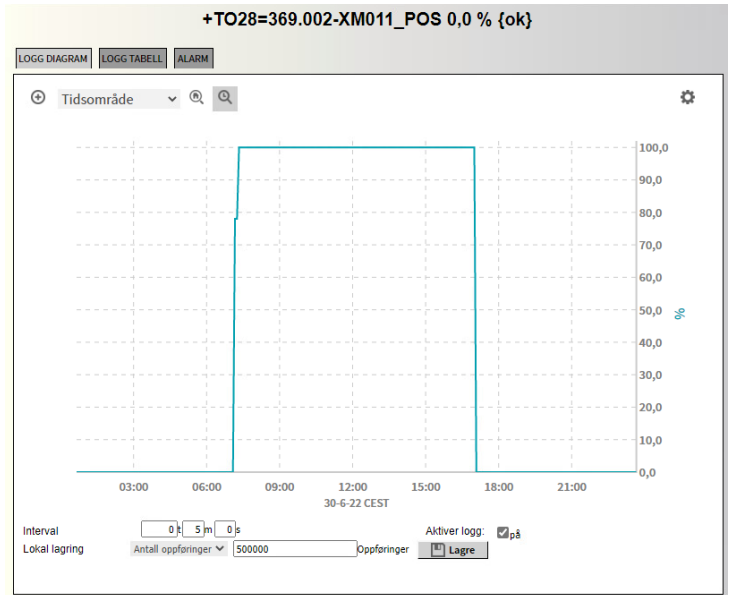
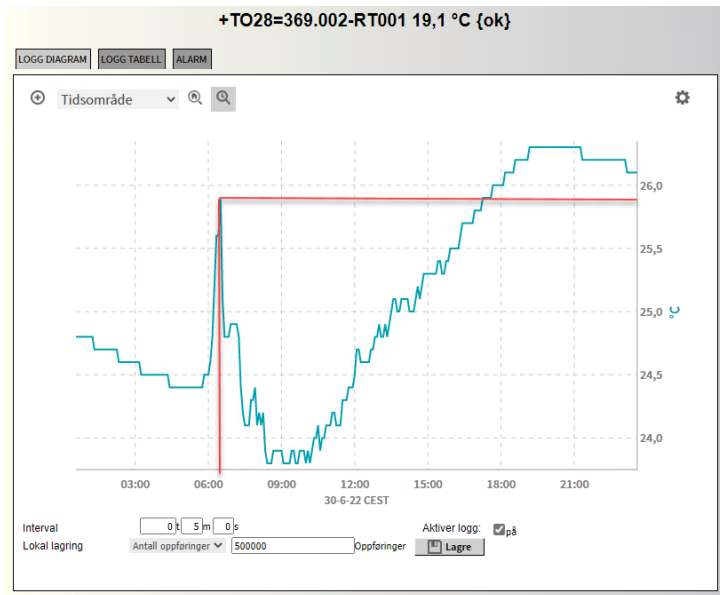
Antatt scheduleliste for døråpninger mellom Amfi og Utstillingen



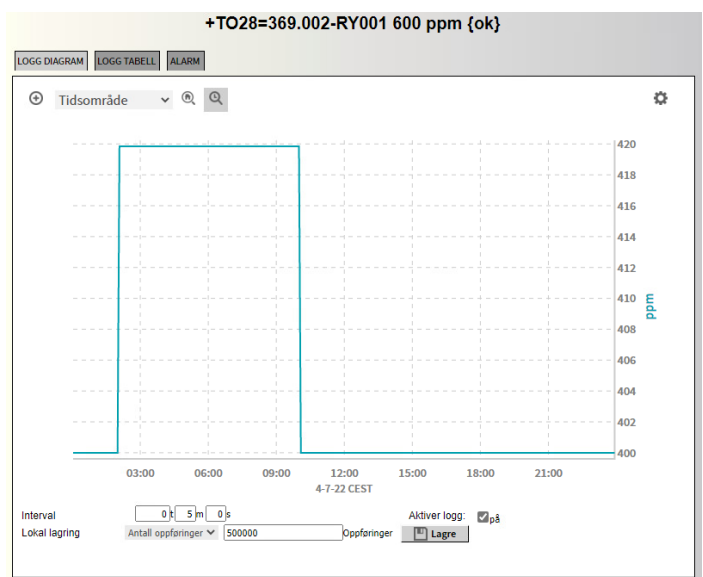
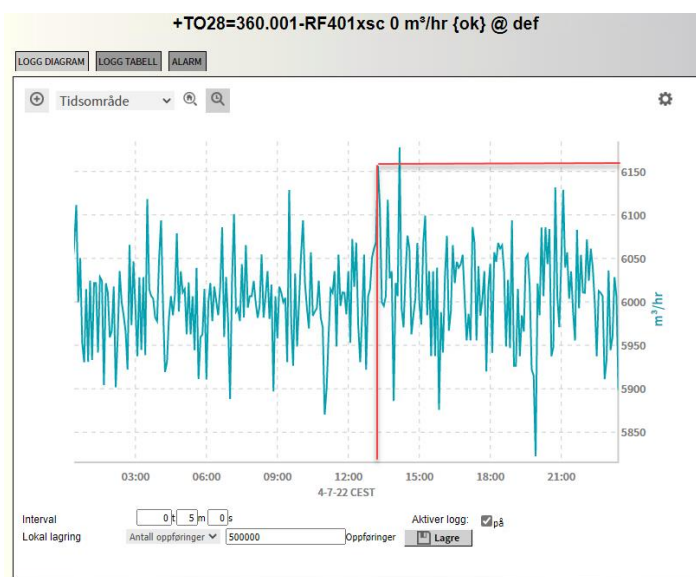
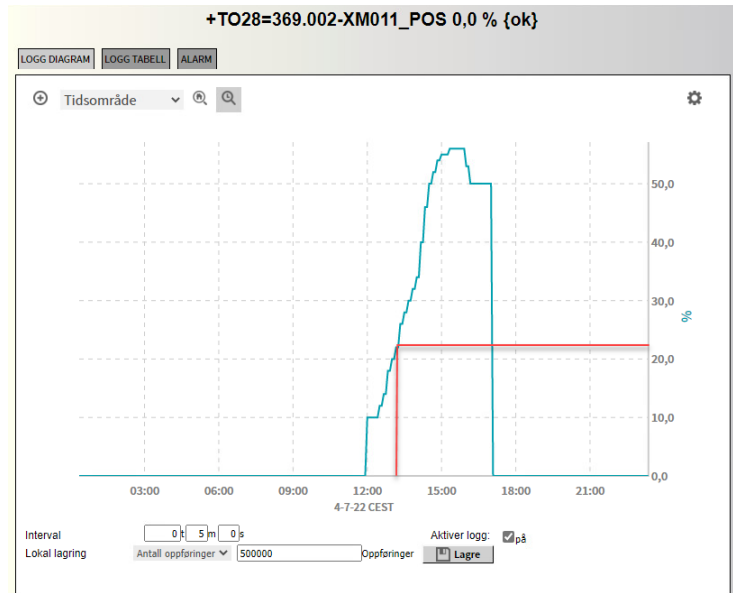
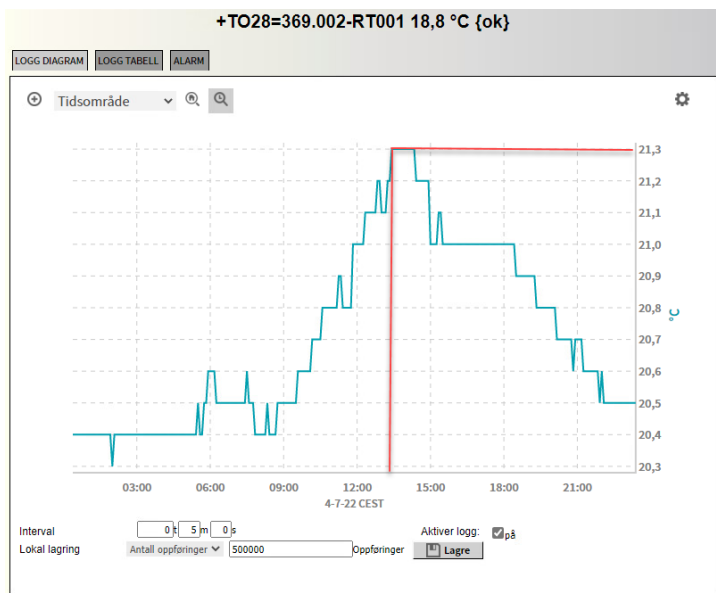
Vedlegg 35: Sammenhengen mellom vindusåpning og innetemperaturen, mekanisk tilluft og CO₂ ved Utstillingen for 28.07.22



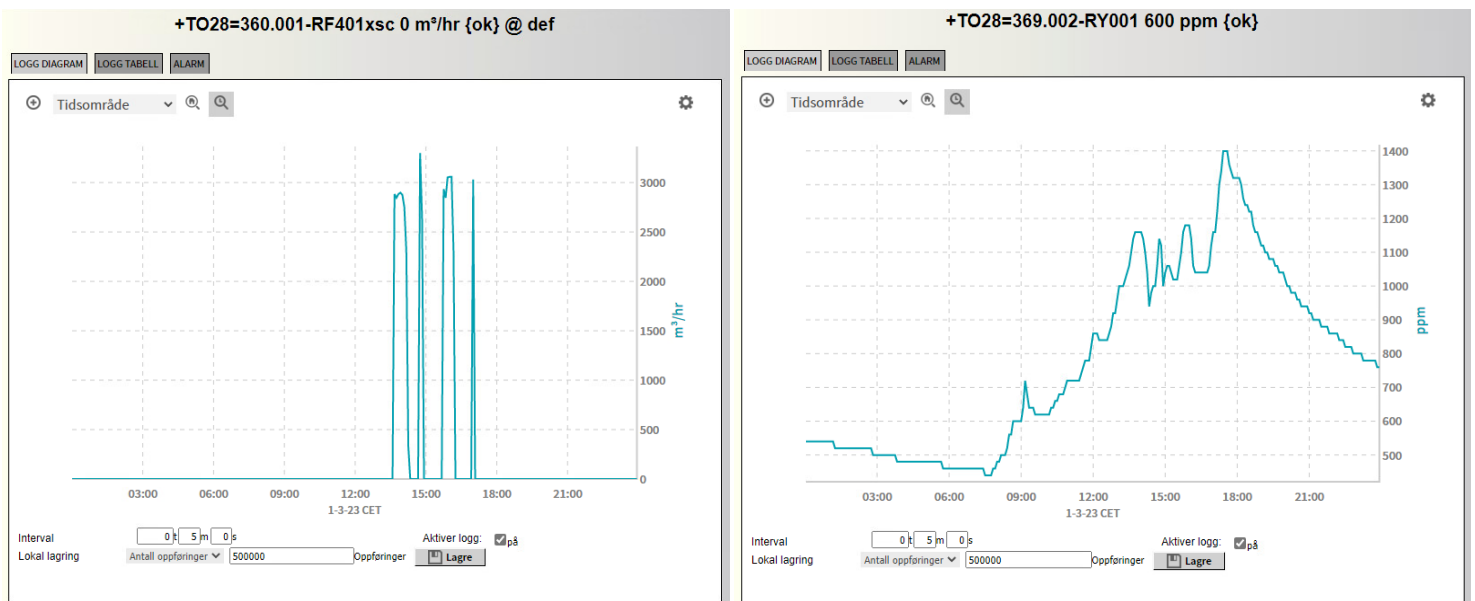
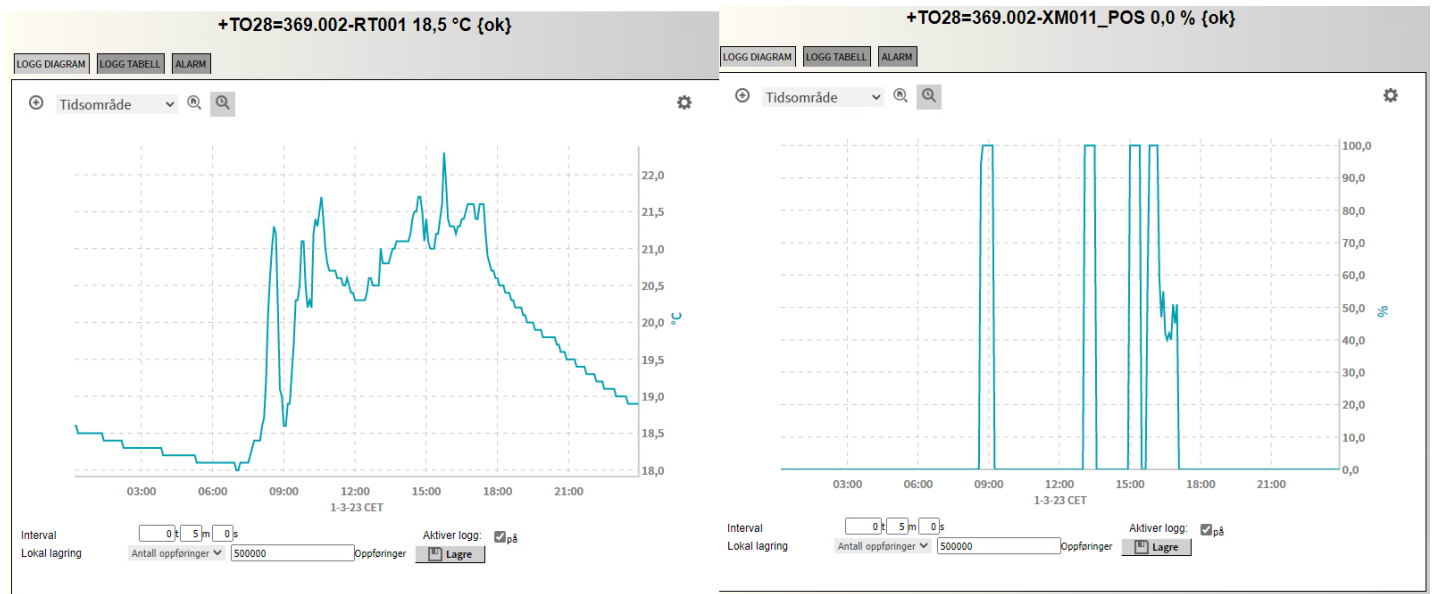
Vedlegg 36: Sammenhengen mellom vindusåpning og innetemperaturen, mekanisk tilluft og CO₂ ved Amfi et for 30.06.22



Vedlegg 37: Sammenhengen mellom vindusåpning og innetemperaturen, mekanisk tilluft og CO₂ ved Amfiet for 04.07.22



Vedlegg 38: Sammenhengen mellom vindusåpning og innetemperaturen, mekanisk tilluft og CO₂ ved Amfi et for 01.03.23



Vedlegg 39: Loggede verdier for vindusåpninger, temperaturer og CO₂ for Amfi^{et} den 21.04.23 ved SD-anlegget

