

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: Ventilasjonsprinsipp og effekten på inneklima, energibruk og klimagassutslipp	DATO: 4. juni 2021
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 120/11
FORFATTERE: Lars Trygve Teigen Bekkeli	VEILEDER: Ida Bryn (OsloMet og E&H) Arnkell J. Petersen (E&H)

UTFØRT I SAMARBEID MED: Erichsen & Horgen	KONTAKTPERSON: Ida Bryn
--	----------------------------

KORT SAMMENDRAG: Resultatene i oppgaven viser at det er mye energi og store klimagassutslipp å spare på å benytte naturlig eller hybrid ventilasjon fremfor mekanisk ventilasjon. Naturlig ventilasjon har lavest levert energibehov og klimagassutslipp, etterfulgt av hybrid ventilasjon. Oppgaven viser likevel at bruk av full naturlig ventilasjon vil kunne være problematisk for inneklimate. Dette skyldes i hovedsak trekk, lave temperaturer og høye CO ₂ -verdier om vinteren, samt høye temperaturer om sommeren. Hybrid ventilasjon vil kunne redusere faren for dårlig inneklimate på de kaldeste og varmeste dagene i året, samtidig som fordelene med naturlig ventilasjon blir utnyttet resten av året, som igjen vil kunne redusere energibruken og klimagassutslippene. Forskning viser også at <i>noe</i> bruk av naturlig ventilasjon kan ha positiv effekt på inneklimate, og dermed gi en bedre totalopplevelse til brukerne.
--

NØKKELOD: Inneklimate Energibruk Klimagassutslipp
--

Forord

Masteroppgaven er skrevet som avslutning av utdanningsløpet ved Institutt for bygg- og energiteknikk ved OsloMet våren 2021. Oppgaven konkluderer en 2-årig master innen sivilingeniørstudiet Energi og miljø i bygg. Formålet med oppgaven er å undersøke inne-klimaet, energibruk og klimagassutslipp i et kontorbygg med ulike ventilasjonsprinsipper.

Masteroppgaven ble påbegynt oktober 2020, med en omfattende litteraturundersøkelse i forbindelse med forprosjektet i faget MAEN5300. Store deler av kapittel 2 er uendret fra det som ble produsert og levert av undertegnede på engelsk i dette forprosjektet.

Jeg vil rette en stor takk til min hovedveileder Ida Bryn hos OsloMet og Erichsen & Horgen, for å ha gitt jevnlig og svært konstruktiv tilbakemelding gjennom hele perioden. Videre vil jeg takke min biveileder hos Erichsen & Horgen, Arnkell Petersen, for verdifulle diskusjoner og hjelp med IDA ICE. Jeg vil også takke Anders Liaøy, også hos Erichsen & Horgen, for å ha bidratt til gjennomføring av klimagassberegningene, tross mitt stramme tidsskjema. Til slutt vil jeg takke familien for støtte gjennom hele studietiden – uten dere ville dette aldri gått!

4. juni 2021

Lars T. Bekkeli

Lars Trygve Teigen Bekkeli

Sammendrag

Verdens energiforbruk har i de siste 50 årene økt med 2 % hvert år, og vil med all sannsynlighet fortsette i samme takt fremover. Samtidig sier FNs klimapanel at vi må kutte stort i klimagassutslippene hvis verden skal klare å møte 2-gradersmålet før år 2100.

Tradisjonelt har det på grunn av økonomi, vært fokus på å senke energiforbruket innen bygningssektoren gjennom reduksjon av varmetapet i bygningskroppen ved økt isolasjon, eller utvikling av mer energigjerrige ventilasjonssystemer. Gjennom et lavere energiforbruk og renere strøm, har en derfor greid å senke de direkte klimagassutslippene knyttet til strømforbruket noe i Norge. Likevel står bygningssektoren i Norge i dag fremdeles for rundt 35 % av det totale energiforbruket i landet, hvor VVS-anleggene igjen kan stå for hele 36 % av klimagassutslippene fra bygninger. Beregninger viser også at ventilasjonsanlegg blir stadig dyrere, og likevel mer påklaget. Dette har reist spørsmålet om det er mulig å benytte seg av mer naturlige klimatiseringsprinsipper til å ventilere kontorbygninger i Norge, med håpet å forenkle designet og driften, senke investering- og driftskostnadene, redusere energibehovet og klimagassutslippene, samtidig som inneklimate sikres.

Oppgaven har sett på et planlagt og ferdigprosjektert signalbygg på Nydalen i Oslo, som planlegges utført med naturlig ventilasjon i kontordelen av bygget. Oppgaven har vurdert inneklimate i eksisterende løsning med naturlig klimatisering, opp mot oppgavens foreslåtte hybride og mekaniske ventilasjonsanlegg. Videre har oppgaven vurdert hva dette vil bety for netto og levert energibehov, samt klimagassutslippene.

Resultatene i oppgaven viser at det er mye energi og store klimagassutslipp å spare på å benytte naturlig eller hybrid ventilasjon fremfor mekanisk ventilasjon. Naturlig ventilasjon har lavest levert energibehov og klimagassutslipp, etterfulgt av hybrid ventilasjon. Oppgaven viser likevel at bruk av full naturlig ventilasjon vil kunne være problematisk for inneklimate. Dette skyldes i hovedsak trekk, lave temperaturer og høye CO₂-verdier om vinteren, samt høye temperaturer om sommeren. Hybrid ventilasjon vil kunne redusere faren for dårlig inneklimate på de kaldeste og varmeste dagene i året, samtidig som fordelene med naturlig ventilasjon blir utnyttet resten av året, som igjen vil kunne redusere energibruken og klimagassutslippene. Forskning viser også at noe bruk av naturlig ventilasjon kan ha positiv effekt på inneklimate, og dermed gi en bedre totalopplevelse til brukerne.

Summary

For the past 50 years, world energy consumption has increased every year by 2%, and will in all probability continue at the same pace going forward. The UN Climate Panel says that we must cut emissions significantly if the world is to be able to meet the 2-degree target by 2100.

Traditionally, due to economy, there has been a focus on lowering energy consumption in the building sector by reducing heat loss in the building body through increased insulation, or development of more efficient ventilation systems. Through lower energy consumption and cleaner electricity, it has therefore been possible to reduce the direct emissions somewhat associated with electricity consumption in Norway. Despite this, the building sector in Norway today still accounts for around 35% of the total energy consumption in the country, where the HVAC systems can account for as much as 36% of the greenhouse gas emissions from buildings. Calculations show that ventilation systems are becoming increasingly expensive, and yet less satisfactory. Therefore, several have questioned whether it is possible to use more natural air-conditioning principles to ventilate office buildings in Norway, with the hope of simplifying design and operation, lowering investment and operating costs, reducing energy needs and greenhouse gas emissions, while ensuring the indoor climate.

This thesis has looked at a, as of today, planned building at Nydalen in Oslo, which is to be carried out with natural ventilation in the office part of the building. The thesis has assessed the indoor climate in the existing solution with natural ventilation, up against the thesis' proposed hybrid and mechanical ventilation systems. Furthermore, the thesis has assessed what this will mean for net and delivered energy needs, as well as greenhouse gas emissions.

The results in the thesis show that there is a lot of energy and large greenhouse gas emissions to save in using natural or hybrid ventilation instead of mechanical ventilation. Natural ventilation has the lowest delivered energy needs and greenhouse gas emissions, followed by hybrid ventilation. The thesis nevertheless shows that the use of only natural ventilation could be problematic for the indoor climate. This is especially related to drafts, low temperatures and high CO₂ values in winter, as well as high temperatures in summer. Hybrid ventilation will be able to reduce the risk of poor indoor climate on the coldest and warmest days of the year, while at the same time using the positive properties of natural ventilation for the rest of the year, which in turn will reduce energy use and greenhouse gas emissions.

Innholdsfortegnelse

FORORD.....	II
SAMMENDRAG.....	III
SUMMARY	IV
INNHOLDSFORTEGNELSE	V
FIGURLISTE	VIII
TABELLISTE	X
TERMINOLOGI	XI
1 INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål og problemstilling	3
1.3 Metode og gjennomføring	4
1.4 Begrensninger	5
2 TEORI OG LITTERATURUNDERSØKELSE	6
2.1 Inneklima	6
2.2 Krav til inneklima, komfort og energiytelser	8
2.2.1 Krav i TEK17.....	8
2.2.2 Krav i Arbeidstilsynets veiledning 444.....	8
2.2.3 Krav i NS-EN ISO 7730	9
2.2.4 Krav i NS-EN 15251	10
2.2.5 Krav til energiytelser i bygg.....	11
2.3 Ventilasjonsprinsipper og -typer.....	12
2.3.1 Naturlig ventilasjon.....	12
2.3.2 Mekanisk ventilasjon	14
2.3.3 Hybrid ventilasjon.....	14
2.4 Hybrid ventilasjon	16
2.4.1 Systemstyring og kontrollstrategi	16
2.4.2 Ventilasjonsåpninger.....	16
2.4.3 Luftstrømninger	17
2.4.4 Luftkvalitet og inneklima.....	18
2.4.5 Prosjektering av hybrid ventilasjon.....	18
2.5 Klimagassberegninger	20
2.5.1 Steg innen LCA.....	21
2.5.2 Typer av LCA	22
2.5.3 Regelverk for LCA	23
2.5.4 Miljødeklarasjon	24
2.5.5 Begrensninger bak klimagassberegninger.....	25

2.5.6	Tidligere LCA-studier av ventilasjonsløsninger	26
2.5.7	BIM og klimagassberegninger	27
3	NYDALEN VERTIKAL.....	29
3.1	Bygget og området.....	29
3.2	Tekniske parametere.....	31
3.2.1	Bygningstekniske parametere	31
3.2.2	Ventilasjon	32
3.2.3	Energiforsyning.....	33
3.2.4	Oppvarmings- og kjølesystem	34
3.2.5	Regulering- og kontrollstrategier	34
3.2.6	Internlaste og driftstider.....	36
3.2.7	Krav til termisk komfort og energiytelser	37
3.3	Forslag til ventilasjonsløsninger	38
3.3.1	Hybrid ventilasjon.....	38
3.3.2	Mekanisk ventilasjon	39
4	INNEKLIMASIMULERING.....	40
4.1	Simuleringsprogram	40
4.2	Inndata	41
4.2.1	Naturlig ventilasjon.....	42
4.2.2	Hybrid ventilasjon.....	42
4.2.3	Mekanisk ventilasjon	42
4.3	Vurderingskriterier og gjennomføring.....	43
4.4	Resultater årssimulering	45
4.4.1	Operativ temperatur	45
4.4.2	PPD-indeks	47
4.4.3	CO ₂ -nivå	49
4.5	Resultater vintersimulering.....	50
4.5.1	PPD-indeks	51
4.5.2	Lufthastighet	52
4.5.3	Temperatur.....	53
4.5.4	CO ₂ -nivå	56
4.6	Resultater sommersimulering	57
4.6.1	PPD-indeks	57
4.6.2	Lufthastighet	59
4.6.3	Temperatur.....	60
5	ENERGISIMULERING.....	63
5.1	Simuleringsprogram	63
5.2	Inndata	64
5.2.1	Naturlig ventilasjon.....	64

5.2.2	Hybrid ventilasjon.....	65
5.2.3	Mekanisk ventilasjon	65
5.3	Vurderingskriterier	66
5.4	Resultater	67
5.4.1	Netto energibehov	67
5.4.2	Levert energibehov	68
5.4.3	Energibalanse og varmebudsjett	70
6	KLIMAGASSBEREGNING	72
6.1	Design av ventilasjonsløsninger	72
6.1.1	Naturlig ventilasjon.....	74
6.1.2	Mekanisk ventilasjon	74
6.1.3	Hybrid ventilasjon.....	78
6.2	LCA	80
6.2.1	Mål og omfang.....	80
6.2.2	Livsløpsregnskap	81
6.2.3	Effektvurdering og resultater	82
7	DISKUSJON	86
7.1	Inneklima	86
7.2	Energiytelser	90
7.3	Klimagassberegninger	92
7.4	Diskusjon rundt valgt metoder.....	96
8	KONKLUSJON	97
8.1	Inneklima	97
8.2	Energiytelser.....	99
8.3	Klimagassberegninger	100
8.4	Hovedkonklusjon.....	101
9	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	103
	REFERANSER	104
Vedlegg A	Luftmengdebehov	
Vedlegg B	Aggregatdata	
Vedlegg C	IDA ICE inndata	
Vedlegg D	IDA ICE resultater, årssimulering	
Vedlegg E	IDA ICE resultater, vintersimulering	
Vedlegg F	IDA ICE resultater, sommersimulering	
Vedlegg G	Simien inndata	
Vedlegg H	Design av ventilasjonsløsninger	
Vedlegg I	3D-presentasjon av ventilasjonsløsningene i MagiCAD	
Vedlegg J	Materialmengder for de ulike ventilasjonsprinsippene	
Vedlegg K	Klimagassberegninger	

Figurliste

Figur 1: Reduksjon av de direkte klimagassutslippene. Kilde: Simone, 2014.....	1
Figur 2: Reduksjon av ytelse iht. temperaturer. Kilde: kompetansebiblioteket.no	7
Figur 3: Sammenheng mellom PMV og PPD. Kilde: NS-EN ISO 7730.	9
Figur 4: Prinsipper for naturlig ventilasjon. Kilde: Teal Products Ltd.	12
Figur 5: Livsløpet til et produkt. Kilde: Simone, 2014.	20
Figur 6: Steg i en LCA-analyse.....	21
Figur 7: Ulike moduler til et produkt. Kilde: egenprodusert, basert på NS 3720.	23
Figur 8: Utviklingsnivå til et produkt. Kilde: Bedrick et al., 2020.	28
Figur 9: LOD-nivåer og LCA-typer i byggefasene. Kilde: Meex et al., 2018.	28
Figur 10: Nordøst-fasaden av Nydalen Vertikal.	29
Figur 11: Undersøkte soner på plan syv i nordre bygg.	30
Figur 12: Fasadeprinsipp for lukeåpninger	32
Figur 13: Foreslått utforming av klimakano. Kilde: NTNU/SINTEF.....	33
Figur 14: Styringsprinsipp av lufteluker.	35
Figur 15: Utekompensert setpunkt for CO ₂ - og temperaturnivå.	35
Figur 16: Bruksmønster til person og utstyr.....	37
Figur 17: Oppbygd modell i IDA ICE.	41
Figur 18: Analysesone i kontorlandskapet.	44
Figur 19: Simuleringsinnstillinger i IDA ICE.....	44
Figur 20: Operative temperaturer gjennom året.	46
Figur 21: CO ₂ , Topr og PPD i møterom 3 ved naturlig ventilasjon.	47
Figur 22: PPD-indeks gjennom året i møterom 3.	48
Figur 23: CO ₂ -nivået i møterom 3 gjennom året.	49
Figur 24: PPD-indeks for alle soner med naturlig ventilasjon.	50
Figur 25: PPD-indeks for møterom 3.	51
Figur 26: Luftbevegelser i møterom 3 ved naturlig ventilasjon.	51
Figur 27: PPD i møterom 3.	52
Figur 28: Lufthastighet i møterom 3 ved naturlig ventilasjon.	53
Figur 29: Lufthastighet i møterom 3 ved hybrid ventilasjon.	53
Figur 30: Operativ temperatur i møterom 3.	54
Figur 31: PPD, CO ₂ , Topr og åpningssignalet i møterom 3 ved naturlig ventilasjon.	54
Figur 32: Temperatur per lag i møterom 3.....	55

Figur 33: CO ₂ -nivå i møterom 3.....	56
Figur 34: PPD-indeks i multirom 2.....	58
Figur 35: PPD-indeks i multirom 2.....	58
Figur 36: Lokal PPD i kontorlandskapet ved hybrid ventilasjon.....	59
Figur 37: Lufthastighet i multirom 2.....	60
Figur 38: Operativ temperatur i multirom 3.....	61
Figur 39: Energibalanse i multirom 2 ved naturlig ventilasjon.....	61
Figur 40: Topr med naturlig og hybrid ventilasjon i alle soner.....	62
Figur 41: Regulering av naturlig ventilasjon i Simien.....	65
Figur 42: Netto energibehov for de ulike ventilasjonsprinsippene.....	68
Figur 43: Energibehov for ventilasjons-installasjoner.....	69
Figur 44: Energibehov for VVS-installasjoner.....	69
Figur 45: Energibalanse for de ulike ventilasjonsprinsippene.....	70
Figur 46: Varmebalanse for de ulike ventilasjonsprinsippene.....	71
Figur 47: Teknisk rom ved mekanisk ventilasjon.....	75
Figur 48: Snitt ved kanalkrysning ved mekanisk ventilasjon.....	75
Figur 49: Kastelengder og kanalføringer ved mekanisk ventilasjon.....	76
Figur 50: Kastelengde i møterom 2. Kilde: TROX Auranor.....	77
Figur 51: Teknisk rom ved hybrid ventilasjon.....	78
Figur 52: Snitt ved kanalkrysning ved hybrid ventilasjon.....	78
Figur 53: kanalføringer ved hybrid ventilasjon.....	79
Figur 54: Spesifikt klimagassutslipp.....	83
Figur 55: Material vs. energi ved norsk el-miks.....	84
Figur 56: Material vs. energi ved europeisk el-miks.....	84
Figur 57: Forholdet mellom indirekte utslipp fra ulike ventilasjonskomponenter.....	85
Figur 58: Alternativt spesifikt klimagassutslipp.....	92

Tabelliste

Tabell 1: Anbefalte verdier for operativ temperatur. Kilde: TEK17 §13-4.	8
Tabell 2: Forventningsnivå og krav til bygninger. Kilde: NS-EN 15251, tabell 1	10
Tabell 3: Grenseverdier for PPD, DR og PMV. Kilde: NS-EN 15251, tabell A.1.	10
Tabell 4: Krav til energibehov og energieffekt iht. TEK17.	11
Tabell 5: Sentrale bygningsfysiske parametere.	31
Tabell 6: Luke størrelse.	32
Tabell 7: Energiforsyninger.	34
Tabell 8: Internlast på plan 7.	36
Tabell 9: Tilluftsmengder for CAV-anlegg.	38
Tabell 10: Nøkkeldata for CAV-anlegg.	38
Tabell 11: Tilluftsmengder for DCV-anlegg.	39
Tabell 12: Nøkkeldata for DCV-anlegg.	39
Tabell 13: Timer utenfor anbefalt operativ temperatur.	47
Tabell 14: PPD-oppsummering for årssimulering.	48
Tabell 15: Netto energibehov for de ulike ventilasjonstypene.	67
Tabell 16: Levert energibehov for de ulike ventilasjonstypene.	69
Tabell 17: Anbefalte kastelengder på plan 7.	77
Tabell 18: Beregnede klimagassutslipp.	83

Terminologi

AT	Arbeidstilsynet
BIM	Bygningsinformasjonsmodell
CFD	Computational Fluid Dynamics – strømningsanalyse
DCV	Demand Controlled Ventilation – behovsstyrt ventilasjon
DR	Draught – forventet andel som kjenner trekk
EPD	Environmental Product Declaration – miljødeklarasjon
GT2A	Gullhaug Torg 2A (kodenavnet og adressen til Nydalen Vertikal)
GWP	Global Warming Potential – globalt oppvarmingspotensial
HV	Hybrid ventilasjon
LCA	Life Cycle Assessment – livssyklusanalyse
LCI	Life Cycle Inventory – livsløpsregnskap
LCIA	Life Cycle Impact Assessment – livsløpseffektvurdering
LOD	Level Of Development – utviklingsnivå
MV	Mekanisk ventilasjon
NV	Naturlig ventilasjon
PMV	Predicted Mean Vote – forventet middelerdi av tilbakemeldinger
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied – forventet andel misfornøyde
ppm	Parts Per Million – deler per million

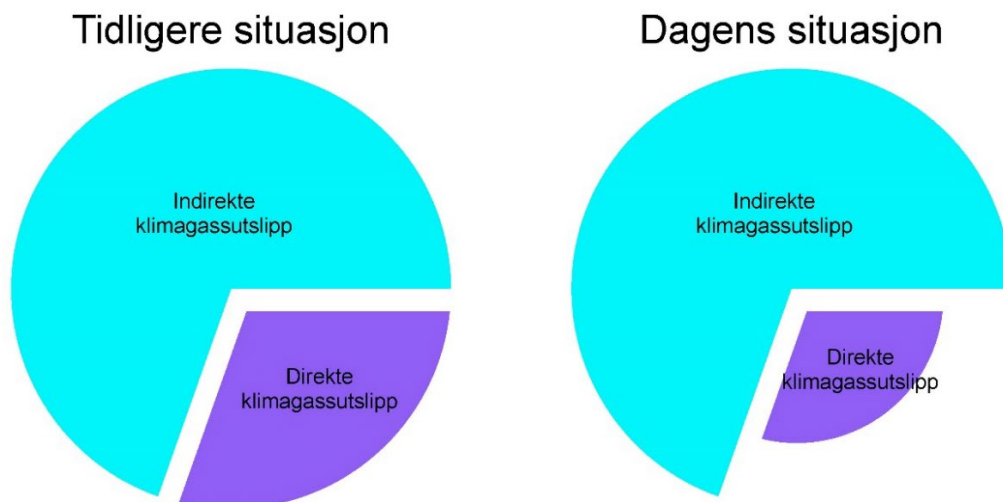
1 Innledning

I dette kapittelet diskuteres bakgrunnen for valgt tema i denne oppgaven. Videre diskuteres hva som er formålet med oppgaven og hva ønskes belyst, samt hvordan dette skal gjøres.

1.1 Bakgrunn

Verdens energiforbruk har i perioden 1970 til 2005 vokst med 2 % hvert år (Skree & Vatndal, 2008). Det Internasjonale Energibyrådet (IEA) anslår at energiforbruket vil fortsette å øke med samme takt i tiden som kommer. Samtidig sier FNs klimapanel (IPCC) at vi må kutte klimagassutslippene med 50-80 % hvis verden skal klare møte 2-gradersmålet før århundret er omme. På grunn av miljøutfordringene verden står overfor, har det også innen byggebransjen i det siste blitt et økt fokus på å designe og bygge energieffektive og miljøvennlige bygninger.

Det har i lengre tid vært fokus på å senke energiforbruket i bygningssektoren ved for eksempel reduksjon av varmetapet i bygningskroppen gjennom økt isolasjon, eller utvikling av mer energigjerrige ventilasjonssystemer. Gjennom et lavere energiforbruk og renere strøm, har en greid å senke de direkte klimagassutslippene knyttet til strømforbruket noe i Norge, illustrert på figur 1 (Larsen, 2019). Til tross for dette står bygningssektoren i Norge i dag fortsatt for rundt 35 % av det totale energiforbruket i landet (ibid.). På verdensbasis står bygg for om lag 40 % av klimagassutslippene (ZERO, 2021). På grunn av dette har det nå også blitt et fokus på å redusere de indirekte klimagassutslippene, også i VVS-bransjen. Dette er utslipp knyttet til produksjon, frakt, vedlikehold, avhending, gjenbruk også videre.



Figur 1: Reduksjon av de direkte klimagassutslippene. Kilde: Simone, 2014.

Til tross for et ønske om å redusere de indirekte utslippene, sees det en utvikling med dyrere og mer omfattende og avanserte tekniske installasjoner i kontorbygg (Førland-Larsen & Halderaker, 2016). Mellom 2003 og 2013 økte kostnadene på VVS-installasjoner med 367 %, mens den gjennomsnittlige bygningen hadde en kostnadsøkningen på 100 % i samme periode (Bolseth, 2013). Likevel opplever mange problemer med de komplekse anleggene i form av høyere energiforbruk og dårlig inneklimate enn planlagt, som igjen fører til flere reklamasjoner. Kan forenkling av ventilasjonsanleggene bidra til å redusere energiforbruket og klimagassutslippene, samtidig som en sikrer godt inneklimate?

Dette er et av mange spørsmål som blir stilt av norske forskere, ingeniører, arkitekter og eiendomsutviklere for tiden. Som forbildeprosjekt i Futurebuilt, prøver en med Nydalen Vertikal på Nydalen i Oslo, å vise at det er mulig å designe bygg i nordiske og kalde strøk med naturlig klimatisering, som sikrer lavere investeringskostnader i tekniske anlegg, enklere drift, lavere vedlikeholdsbehov, lengre levetid, lavere energibruk, mindre klimagassutslipp, men samtidig også sikre et godt inneklimate (Stoknes, 2018). Spørsmål knyttet til egnetheten av mer naturlige ventilasjonsprinsipper i nordiske strøk med tanke på inneklimate, samt spørsmål rundt klimagassutslipp, vil danne grunnlag denne oppgaven. Oppgaven vil ta utgangspunkt i Nydalen Vertikal på Nydalen i Oslo. Mål og problemstilling, og videre metoder, er beskrevet i de neste delkapitlene.

1.2 Mål og problemstilling

Målet for oppgaven er undersøke inneklimate i norske kontorbygg som benytter seg av naturlige ventilasjonsprinsipper i ulik grad, enten med helnaturlig ventilasjon eller med hybrid ventilasjon. Når, og hvor i bygningen, kan en forvente større problemer med inneklimate etter de tradisjonelle vurderingskriteriene? Hvordan vil disse ventilasjonsprinsippene prestere mot andre mer konvensjonelle løsninger, som balansert ventilasjon? Videre søker oppgaven å kartlegge energibruken ved de ulike ventilasjonsprinsippene. Til slutt søker oppgaven å vurdere klimagassutslippene ved de ulike ventilasjonsprinsippene. På bakgrunn av ovennevnte er følgende problemstilling formulert: *Er naturlige ventilasjonsprinsipper i kontorbygg egnet til å sikre termisk inneklimate i kaldere strøk, og hvilken konsekvens har valget av ventilasjonsprinsipp for energibruk og klimagassutslipp.*

1.3 Metode og gjennomføring

Metode for undersøkelse og besvarelse av ovennevnte mål og problemstilling består av:

1. Litteraturstudie

Dette etablerer en oversikt over nåværende kunnskap på områdene som skal undersøkes og finner relevante teorier, metoder og hull i eksisterende forskning.

2. Simuleringer av inneklima og energibruk

Simuleringer i IDA ICE og Simien vil legge fundamentet for vurdering av inneklimaet, energibruk og videre klimagassberegninger for de ulike ventilasjonsprinsippene. Det tas utgangspunkt i den naturlige ventilasjonsløsningen som er foreslått for Nydalen Vertikal. For hybrid og mekanisk ventilasjon vil oppgaven foreslå to ulike løsninger. For oppbygging av modellene i IDA ICE og Simien, tas det utgangspunkt i dokumentasjon oversendt fra veileder.

3. Beregning av klimagassutslippene

Klimagassberegningene vil bli gjort på bakgrunn av blant annet foreslåtte ventilasjonsløsninger og simulert levert energiforbruk. For beregning av utslippene knyttet til materialene vil det bli foreslått en designs-løsning for hybrid og mekanisk ventilasjon som muliggjør beregning av antall og størrelser på komponenter brukt.

4. Vurdering av resultatene

Vurdering av resultatene vil bli gjort på bakgrunn av simuleringene av inneklimaet og energibruk, og beregning av klimagassutslippene. Dette vil bli vurdert opp mot eksisterende teorier beskrevet i litteraturstudien, samt opp mot målene for denne oppgaven.

1.4 Begrensninger

På tross av relativt tidlig oppstart med oppgaven ble oppgaven automatisk begrenset på grunn av store problemer med simulering av inneklimaet i IDA ICE tidlig i prosjektet. Dette skyldtes blant annet manglende kunnskap og erfaring med programmet, samt kompleksiteten til modellene. På grunn av store og omfattende modeller kunne simuleringer i starten ofte ta over 12 timer. Det gikk også med lang tid til inneklimasimuleringer i starten, på grunn av feilmeldinger som ofte oppstod etter flere timer. Tidsbruken til inneklimasimuleringene ble videre forsterket da det ble bestemt å dele opp IDA ICE-modellene etter ventilasjonsprinsipp, sone og simuleringstype (årssimulering, vintersimulering, sommersimulering). Dette resulterte i 27 forskjellige IDA ICE-filer som måtte samkjøres ved endringer.

Videre viste seg at oppgaven var vel omfattende. På grunn av dette, og stor tidsbruk ved inneklimasimuleringer, ble det dessverre liten tid til vurdering av optimal løsning for hybrid ventilasjon. Som vist i kapittel 2.4, ble det lagt ned mye ressurser på å undersøke eksisterende litteratur og teori omkring hybrid ventilasjon. Dette medførte videre at løsningen for hybrid ventilasjon, ble antatt å være i henhold til forslaget fra Grønn Byggallianse.

Forsinkelser i starten førte videre til at det ble kortere tid enn planlagt igjen til klimagassberegningene. Dette vil kunne være noe begrensende for kvaliteten på disse beregningene. Designet av løsningene er også gjort utelukkende på bakgrunn av opplæring fra «skolebenken», som vil kunne være begrensende for oppgaven.

2 Teori og litteraturundersøkelse

Målet for dette kapitlet er å undersøke hvilke teorier rundt inneklima, ventilasjon, klimagassberegninger som vil være viktig for gjennomføring av oppgaven.

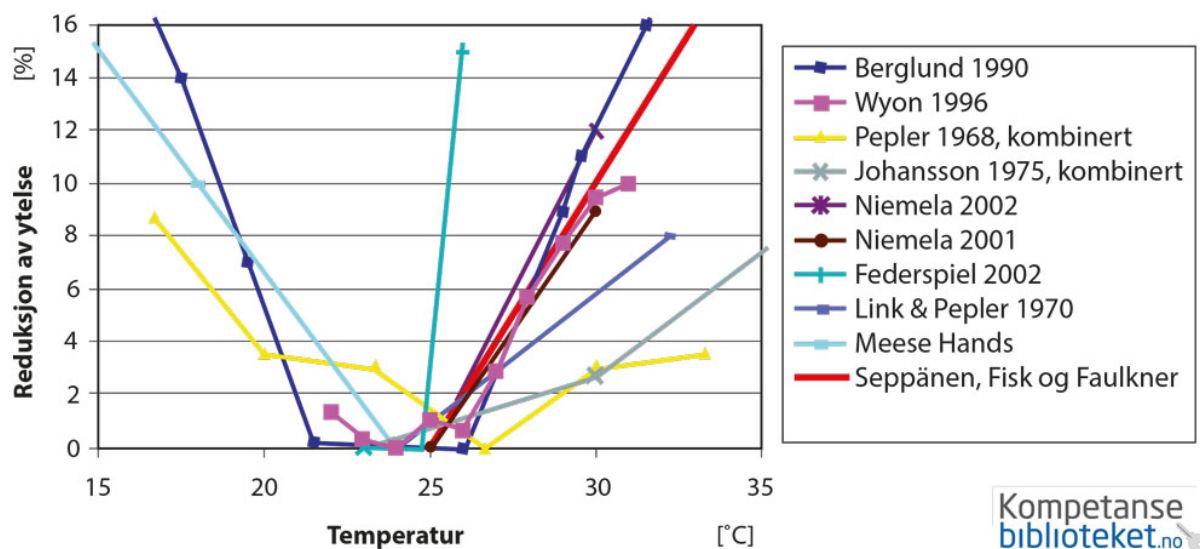
2.1 Inneklima

Inneklima er et samlebegrep for fysiske og psykiske parameterne som påvirker hvordan mennesker har det innendørs (Ingebrigsten, 2019a). Det opereres ofte med de såkalte syv søstre for å beskrive hvilke parametere som påvirker vår samlede oppfatning av inneklimaet:

- **Termisk miljø:** summen av hvordan en opplever lufttemperatur, vertikal temperaturdifferanse, strålingsasymmetri, lufthastighet og luftfuktigheten. Menneskers oppfatning av disse faktorene avhenger blant annet av bekledding og sinnstilstand.
- **Atmosfærisk miljø:** kan også beskrives som luftkvaliteten, luftens innhold av gasser, lukter og partikler.
- **Akustisk miljø:** beskriver lydnivået og avhenger ofte av lydtryknivået fra de ulike frekvensene.
- **Aktinisk miljø:** kan også kalles strålingsmiljø, bestemmes blant annet av dagslysnivåene og fargeegenskapene fra de ulike lyskildene.
- **Mekanisk miljø:** omfatter parametere som sittestilling.
- **Estetisk miljø:** beskriver omgivelse vi omgir oss med og er veldig individuelt basert.
- **Psykososialt miljø:** her de ligger de ulike faktorene som beskriver hvordan vi har med andre personer, for eksempel på arbeidsplassen eller skolen.

VVS-faget jobber oftest med det termiske, atmosfæriske, akustiske, aktiniske og det mekaniske miljøet, selv om alle parametere er viktige for helhetsbildet og hvordan inneklimaet oppleves (Gjerstad et al., 2007). Menneskets opplevelse av inneklima er veldig subjektivt og varierer med kjønn, alder, aktivitetsnivå og helsetilstand. I henhold til en undersøkelse fra SSB i 2010 bruker Nordmenn mer enn 10 % av døgnet utendørs, altså snau 90 % av tiden brukes innendørs (Vaage, 2010). Det kan godt tenkes at det brukes enda mer tid innendørs under koronapandemien, da en mister spaserturen til og fra jobben, turer på treningssentrene og de sosiale sammenkomstene. Det betyr at det er blitt enda viktigere å tilrettelegge for godt inneklima.

Et dårlig inneklima kan ha store konsekvenser, både for den enkelte og for samfunnet (Ingebrigsten, 2019a). Ved dårlig inneklima kan den enkelte oppleve helseplager som for blant annet hodepine, tretthet, slimhinneirritasjoner, og utvikling av astma over tid (BAMSE projektet, 2020). Dette kan igjen medføre konsekvenser for både bedrifter og samfunnet i form av nedsatt produktivitet og økning i sykemeldinger. Figur 2 viser at det er stor korrelasjon mellom for eksempel operativ temperatur og reduksjon av produktivitet. Videre viser en rapport, utført på vegne av helsedirektoratet, at 1 % reduksjon av produktivitet vil gi 13.700 tapte årsværk innen kun skole- og undervisningssektoren (Bakke, 2014). Gjennom økt fokus på inneklimate under koronaviruspandemien, har forskning også vist at det er en korrelasjon mellom risikoen for smitte og dårlig ventilasjon, spesielt i små rom (Folkehelseinstituttet, 2020).



Figur 2: Reduksjon av ytelse iht. temperaturer. Kilde: kompetansebiblioteket.no

På grunn av de store konsekvensene ved dårlig inneklima stilles det derfor en del krav fra myndighetene for å sikre miljøfaktorer. Dette gjøres for å sikre et godt inneklima og god termisk komfort for de aktuelle brukerne. Termisk komfort er definert som en tilstand der en uttrykker termisk tilfredshet mot omgivelsene (Gjerstad et al., 2007).

2.2 Krav til inneklima, komfort og energiytelser

Det stilles krav til inneklima gjennom flere lover og forskrifter. Da fleste kravene stilles i *Plan- og Bygningsloven*, som gjennom *Byggetekniske forskrifter* (TEK17) regulerer krav til nye bygg (DIBK, 2017). Ellers stiller *Arbeidstilsynet* (AT), gjennom *Arbeidsmiljøloven* og veiledningen 444, krav til inneklima på norske arbeidsplasser (Arbeidstilsynet, 2003). TEK17 og veiledning 444 henviser til blant annet standardene *NS-EN 15251* og *NS-EN ISO 7730*, som bidrar til å bestemme inneklimakrav og sikre termisk komfort (Standard Norge, 2005, 2014b). Noen av inneklimakravene vil bli presentert i dette delkapittelet.

2.2.1 Krav i TEK17

TEK17 stiller generelle krav til inneklima gjennom *Kapittel 13 Inneklima og helse*. Her reguleres det for blant annet krav til luftmengder og termisk inneklima for både arbeids- og publikumsbygg. Tabell 1 viser anbefalte verdier for operativ temperatur, som er snittet av luft- og strålingstemperaturen. Felles for de anbefalte temperaturene er at laveste temperatur er et absoluttkrav, mens den øvre temperatur kan overskrives med maksimalt 50 timer/år. Kapittel 13 stiller også krav til maksimal temperaturforskjell mellom hode og ankel for en sittende person på 3-4 °C. Kravet stilles også for maksimal daglig variasjon i lufttemperaturen.

Tabell 1: Anbefalte verdier for operativ temperatur. Kilde: TEK17 §13-4.

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

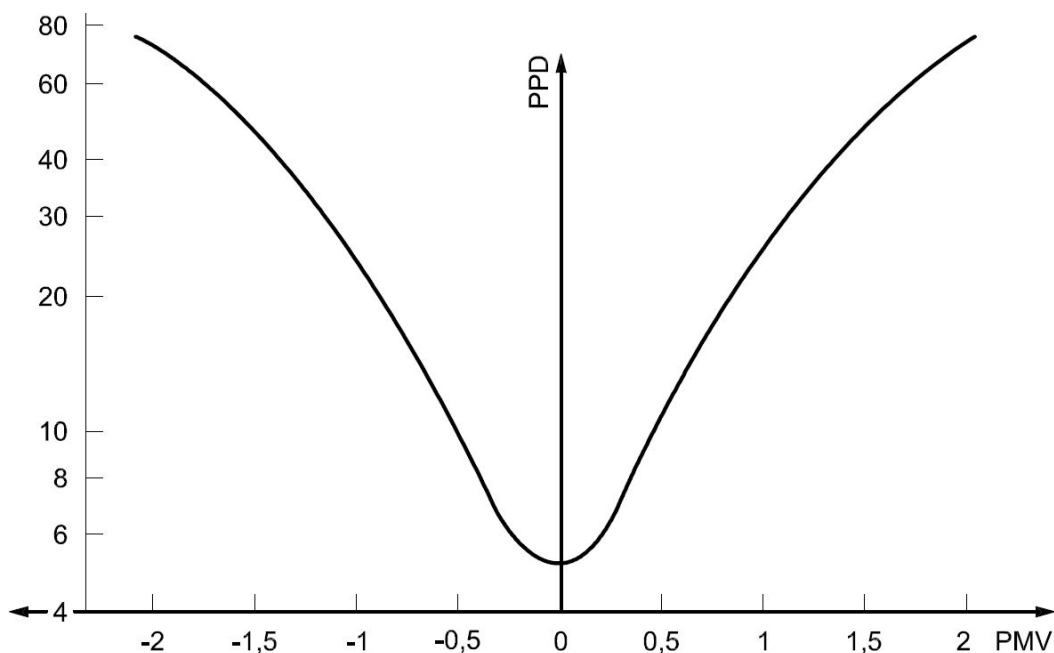
2.2.2 Krav i Arbeidstilsynets veiledning 444

Arbeidstilsynets veiledning 444 *Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen* har til hensikt å veilede hvordan en kan møte kravene som stilles i *Arbeidsmiljøloven §4-4 Krav til arbeidsmiljøet*. Veiledning 444 inneholder mange av de samme anbefalingene og krav som TEK17, men sier også noe om rengjøring og utførsel av ventilasjonssystemet (filtertyper, plassering av luftinntak, osv.) (Ingebrigsten, 2019a). Veiledning 444 sier også at lufthastigheten i rommet ikke bør overskride 0,15 m/s.

2.2.3 Krav i NS-EN ISO 7730

NS-EN ISO 7730 *Ergonomi i termisk miljø - Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende ved kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal termisk komfort* er en internasjonal standard som kan hjelpe en i å kvantifisere termisk opplevelse og grad av diskomfort, samt angi ulike kravskriterier (Ingebrigsten, 2019a).

Predicted Mean Vote (PMV) er en indeks som angir forventet middelværdi av et sett tilbakemeldinger fra personer i samme rom, basert på varmebalansen i kroppen. *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD) er en indeks som sier noe om forventet andel misfornøyde i en gruppe i samme rom. Sammenhengen mellom disse to indeksene kan sees i figur 3. Merk at ved en gjennomsnittlig vurdering $PMV = 0$ vil $PPD = 5\%$, altså vil noen alltid være misfornøyde med inneklimate! Kravene til PPD og PMV er beskrevet i kapittel 2.2.4, sammen med grenseverdier for trekk DR, som sier noe om hvor mange som kjenner trekk.



Figur 3: Sammenheng mellom PMV og PPD. Kilde: NS-EN ISO 7730.

Hvor PPD er en faktor av PMV, bestemmes PMV ut ifra faktorer som metabolismen, bekleddingen, lufttemperatur, strålingstemperatur og den lokale trekken (Standard Norge, 2005).

2.2.4 Krav i NS-EN 15251

NS-EN 15251 *Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk* er en standard som stiller krav til inneklimate, sett opp mot energibruken slik at en ikke senker energibruken på bekostning av inneklimate. Standarden gir anbefalte krav for temperaturer, luftmengder, CO₂, fukt, lys- og lydnivå (Ingebrigsten, 2019a). Kravene bestemmes ut ifra hvilket forventningsnivå en har for bygningskonstruksjonen, vist i tabell 2. For maksimalt CO₂-nivå anbefales det å holde seg under 1000 ppm (*Parts Per Million*).

Tabell 2: Forventningsnivå og krav til bygninger. Kilde: NS-EN 15251, tabell 1

Kategori	Forklaring på forventningsnivå
1	Høyt forventningsnivå. Anbefalt i rom der svært sensitive og sårbare personer med spesielle behov oppholder seg, f. eks mennesker som har nedsatt funksjonsevne, er syke, spedbarn eller gamle.
2	Normalt forventningsnivå. Bør brukes i nye bygninger og rehabiliterte bygg
3	Akseptabelt – moderat forventningsnivå. Kan brukes i eksisterende bygninger.
4	Verdier utenfor kriteriene for kategoriene ovenfor. Denne kategorien bør bare godtas i en begrenset tid av året.

Kategori 2 er vanlig å bruke for nye og rehabiliterte bygg (Gjerstad et al., 2007). Tabell 3 viser grenseverdier for PPD, DR og PMV. NS 15251 tillater adaptasjon, noe som gjør at en for eksempel kan skru opp settpunkttemperaturen om sommeren når folk går mer lettkledd, som igjen sparer energi og penger og legger til rette for termisk komfort om sommeren.

Tabell 3: Grenseverdier for PPD, DR og PMV. Kilde: NS-EN 15251, tabell A.1.

Kategori		Termisk tilstand for hele bygget		
		PPD [%]	DR [%]	Forventet middelvurdering
1	A	< 6	< 10	-0,2 < PMV < +0,2
2	B	< 10	< 20	-0,5 < PMV < +0,5
3	C	< 15	< 30	-0,7 < PMV < +0,7
4	D	> 15	> 30	PMV < -0,7; eller +0,7 < PMV

2.2.5 Krav til energiytelser i bygg

For at bygg skal kunne oppføres lovlig i Norge må nye bygg tilfredsstille kravene til energibehov og energieffektivitet angitt i TEK17 *kapittel 14 Energi* (DIBK, 2017). Kravene til energibehov vil variere ut ifra bygningskategori, mens kravene til energieffektivitet er likt for alle bygningskategorier. Kravene er vist i tabell 4.

Tabell 4: Krav til energibehov og energieffekt iht. TEK17.

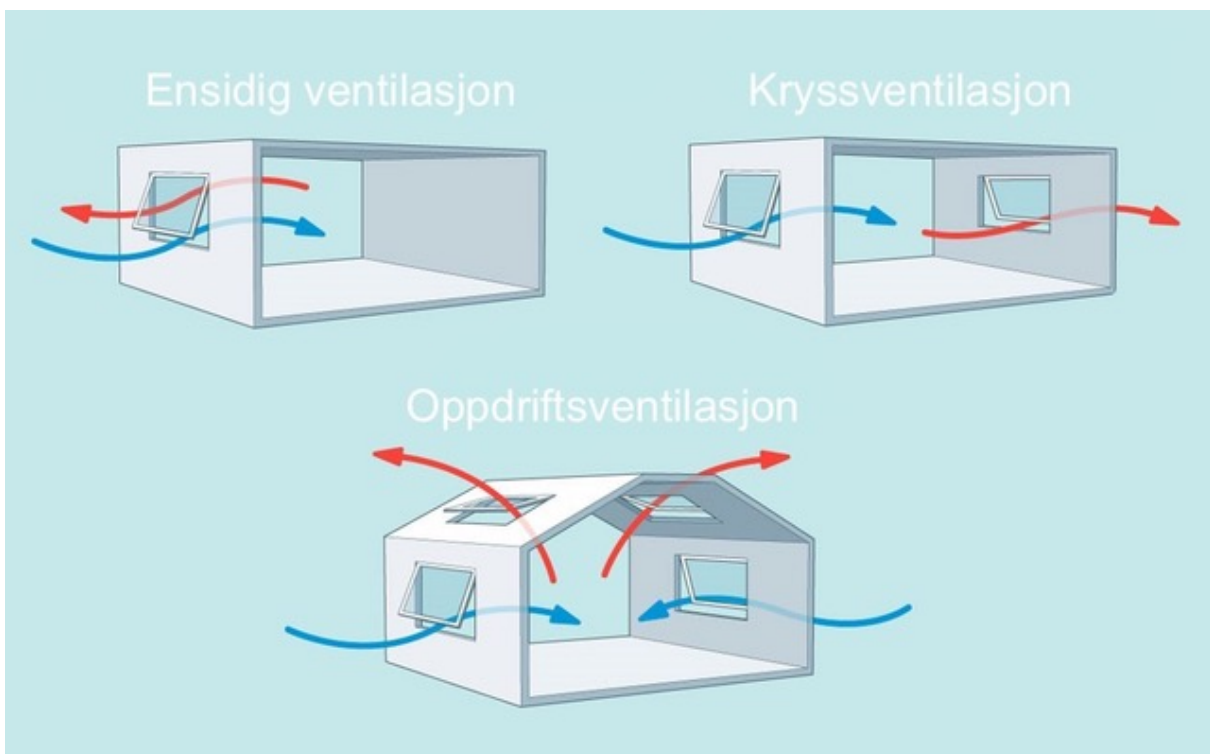
	Krav i TEK17	Enhet
U-verdi, vindu og dør	$\leq 1,2$	W/m ² K
U-verdi, yttervegg	$\leq 0,22$	W/m ² K
U-verdi, gulv	$\leq 0,18$	W/m ² K
U-verdi, tak	$\leq 0,18$	W/m ² K
Lekkasjetall	$\leq 1,5$	-
Normalisert kuldebroverdi	$\leq 0,5$	W/m ² K
Temperaturvirkningsgrad	≥ 80	%
SPF-faktor ventilasjonsanlegg	$\leq 1,5$	W/(m ² /s)
Energibehov, boligblokk	95	kWh/m ² oppvarmet BRA per år
Energibehov, kontorbygning	115	kWh/m ² oppvarmet BRA per år
Energibehov, skolebygning	110	kWh/m ² oppvarmet BRA per år

2.3 Ventilasjonsprinsipper og -typer

Det finnes flere typer ventilasjon, med enda flere ulike undervarianter og prinsipper, for å sikre god luft på en tilfredsstillende måte til brukeren (Ingebrigsten, 2019a). Felles for de ulike ventilasjonsprinsippene er at de skal bidra til et sunt og godt inneklima, men samtidig sikre bygningsmassen og konstruksjonen mot for eksempel råte og annet bygningsmessig forfall. De vanligste ventilasjonsmetodene vil bli presentert i dette delkapittelet.

2.3.1 Naturlig ventilasjon

Naturlig ventilasjon er det enkleste og eldste ventilasjonsprinsippet som eksisterer, og baseres på de naturlige drivkreftene i vindkraften og den termiske oppdriften. Før var naturlig ventilasjon den eneste ventilasjonsmetoden, og foregikk gjennom vinduslufting og infiltrasjon (Ingebrigsten, 2019a). Innenfor naturlig ventilasjon finnes det 3 ulike ventilasjonsstrategier: ensidig ventilasjon, kryssventilasjon eller oppdriftsventilasjon, vist i figur 4. Det er vanlig å bruke disse strategiene om hverandre (Santamouris & Wouters, 2006). Fordelen med naturlig ventilasjon er at den kan brukes til «gratis» ventilasjonsluft og til passive kjøletiltak.



Figur 4: Prinsipper for naturlig ventilasjon. Kilde: Teal Products Ltd.

Ensidig ventilasjon oppstår når ventilasjonsluften entrer og forlater gjennom samme fasade. Lufting forsterkes ofte ved at oppdriftskrefter skaper luftstrømning gjennom nedre del av en veggåpning før luften blir blandet i rommet. Den blandede og nå oppvarmede luften stiger og forsvinner ut av den øvre delen av veggåpningen. En veggåpning bør derfor være høyere enn bredere i forbindelse med ensidig ventilasjon (Stampe, 2013).

Kryssventilasjon, eller gjennomtrekk, er den mest effektive av de tre naturlige lufteprensippene når forholdene ligger til rette (Santamouris & Wouters, 2006). Luftstrømmen drives av trykkforskjellen mellom lovart og lesiden, og er derfor avhengig av vindretning og vind-hastighet for å skape denne trykkforskjellen mellom ønskede fasader.

Oppdriftsventilasjon baserer seg på oppdriftskrefter i form av kjølig luft som kommer inn i bygget og varmes opp for så å stige opp og ut av øvre delen i bygget. Den luften som forsvinner, blir erstattet av ny og kjølig luft. Oppdriftsventilasjon er derfor avhengig av at utetemperaturen er lavere enn innetemperaturen for å ha noen særlig effekt. Oppdriftskrefter er som regel mer konstante og stabile sammenlignet med kryssventilasjon (ibid.).

Bygg som benytter seg av naturlig ventilasjon og dens drivkrefter kan bruke alt fra enkle tekniske løsninger som ventiler og vinduer i ytterveggen, til mer avanserte systemer med automatisk styring av veggåpninger og forvarming av friskluften (Gjerstad et al., 2007). En fordel med naturlig ventilasjon er at den ofte lettere lar seg påvirke av brukeren, sammenlignet med balansert ventilasjon (Vik & Dokka, 2001).

Selv om naturlig ventilasjonsanlegg ofte er enklere enn mekaniske ventilasjonsanlegg, er de også mer sårbare for vær og vind utenfor bygget. Dette kan igjen medføre dårlig kontroll over luftmengdene som igjen kan gi både dårlig luft og termisk komfort. Flere studier viser at det er vanskelig å oppnå termisk komfort i rom som benytter seg av kun naturlig ventilasjon, ofte på grunn av for høye CO₂- og temperaturverdier (Algrøy, 2014; Lie, 2015). Dette blir ofte spesielt gjeldende i kaldere perioder når kald luft vil «falle» inn og ned fra lufteluker og skape trekk. For å begrense denne trekken reduseres luft-ratene som videre resulterer i enda høyere CO₂-nivåer. En annen bakside med naturlig ventilasjon er at den også bidrar til stort varmetap til ventilasjon, og vil kreve mye energi til oppvarming av luften i kaldere perioder (ibid.).

2.3.2 Mekanisk ventilasjon

Mekanisk ventilasjon er den mest brukte ventilasjonsmetoden i moderne kontorbygninger i dag, og har til formål å sikre stabil drift og motvirke problemene og ustabilitetene knyttet til naturlig ventilasjon (Ingebrigsten, 2019a). Det finnes ulike mekaniske ventilasjonstyper, men teorien skiller vanligvis mellom konstante luftmengder (CAV, *Constant Air Volume*), eller variable luftmengder (VAV, *Variable Air Volume*). Senere har også behovsstyrt ventilasjon blitt mer og mer vanlig, som gir korrekt luftmengder dit det er behov (DCV, *Demand Controlled Ventilation*). Mekanisk ventilasjon benytter seg av elektriske vifter for å tilføre friskluft og å trekke ut brukt luft gjennom ventilasjonskanalene. Vifter og drift av ventilasjon står for en betydelig del av den totale energiforbruket i bygg, med pumper generelt stående for 20 % av det totale energiforbruket i land som Sverige (Ingebrigsten, 2019b; Markusson, 2011).

En av de store ulempene med mekanisk ventilasjon er at de kan være relativt avanserte og dyre å prosjektere, installere og drifte. En kan allikevel få et relativt driftssikkert anlegg hvis anlegget blir prosjektert og innregulert riktig. På grunn av dette vil mekanisk ventilasjonsanlegg fungerer nesten helt uavhengig av værforholdene utendørs (Gjerstad et al., 2007). En av de andre store fordelene med mekanisk ventilasjon er muligheten for varmegjenvinning. Med de mest effektive roterende varmegjenvinnerne reduseres oppvarmingsbehovet på tilluften betydelig.

2.3.3 Hybrid ventilasjon

Med hybride ventilasjonsanlegg menes anlegg som kombinerer naturlig ventilasjon med mekanisk ventilasjon (Ingebrigsten, 2019a). Formålet er å utnytte fordelene ved de to ulike ventilasjonsprinsippene. Ved hybrid ventilasjon integreres en del av ventilasjonen i bygningskroppen, og som kan redusere størrelsen og forenkle det konvensjonelle mekaniske ventilasjonssystemet. Slik bygningsintegrert ventilasjon vil derfor kunne ha stor påvirkning på den arkitektoniske utførelsen av bygget (Vik & Dokka, 2001).

At redusert energiforbruk er hovedtanken bak hybridventilasjon, er en myte i Norge (Dokka et al., 2003). Det finnes flere andre positive sider ved hybrid ventilasjon. Beregninger fra enkelte prosjekter i Norge viser at noen bygninger med hybrid ventilasjon kan faktisk ha litt høyere energibehov sammenlignet med tradisjonelt ventilasjonssystemer (Henriksen, 2016). De store

fordelene kan ligge i et betydelig lavere støynivå, enklere vedlikehold og renhold, økt luftkvalitet og enklere mulighet for frikjøling, samtidig som det enkelte ganger kan spares energi uten at det er hovedfokuset (Dokka et al., 2003). En annen stor fordel med hybrid ventilasjon er økt mulighet for brukerkontroll, som ofte vil gi økt brukertilfredshet (Santamouris & Wouters, 2006).

Litteraturer skiller ofte mellom tre ulike varianter av hybrid ventilasjon:

- **Vifteassistert hybrid ventilasjon:** her tas det utgangspunkt i et naturlig ventilasjonssystem, men som får viftehjelpe når drivkreftene er for svake.
- **Naturlig assistert mekanisk ventilasjon:** her tas det utgangspunkt i et mekanisk ventilasjonssystem som utnytter naturlige drivkrefter når forholdene tillater det.
- **Mixed mode:** ved hjelp av avanserte styringssystemer veksles det mellom et naturlig og mekanisk ventilasjonsprinsipp for den aktuelle sonen, slik at den naturlige ventilasjonen benyttes når forholdene tillater det. Metoden er mye brukt i Norge.

Innenfor mixed mode finnes det flere ulike driftsstrategier fordi det er vanskelig å standardisere løsningene, og siden arkitektoniske løsninger kan være avgjørende for sluttproduktet. Litteraturen skiller likevel ofte mellom tre mixed mode-typer (Brager, 2020):

- **Parallellsystem:** her operer det naturlige og mekaniske ventilasjonssystemet om hverandre på samme sted/sonen og til samme tid.
- **Omkoblingssystem:** her operer det naturlige og mekaniske ventilasjonssystemet i samme sted, men til ulike tidspunkter – enten har en naturlig ventilasjon, eller så har en mekanisk ventilasjon.
- **Sonesystem:** her operer det naturlige og mekaniske ventilasjonssystemet i ulike soner av bygget. Dette er aktuelt for større bygg hvor de naturlige drivkreftene kun er tilstrekkelig på enkelte steder eller sider av bygget.

En kombinasjon av mixed mode med et parallellsystem eller omkoblingssystem er mye brukt i Norge (Dokka et al., 2003). Ved en kombinasjon kan en i stor grad sikre god ventilasjon, og samtidig regulere ned det mekaniske ventilasjonsanlegget. Faren er at disse systemene skal jobbe imot hverandre og havne i konflikt slik at energiforbruket økes.

2.4 Hybrid ventilasjon

Selv om hybrid ventilasjon har flere gode kvaliteter, vil dette delkapittelet utdype noen av elementene en bør være oppmerksom på ved bruk av denne ventilasjonstypen.

2.4.1 Systemstyring og kontrollstrategi

Ved hybrid ventilasjon er kontroll- og styringssystemet like viktig som selve ventilasjonssystemet (Santamouris & Wouters, 2006). For å sikre reduksjon av energibruk og god komfort i bygg med hybrid ventilasjon, er byggene helt avhengig av integrert systemstyring som er optimalisert for hvert bygg (Hamdy & Mauro, 2019). Det finnes utallige kontrollstrategier, men de aller fleste har som mål om å optimalisere og begrense energibruken knyttet til ventilasjon, uten at det går på bekostning av komforten. Moderne bygg kan blant annet bruke tilstedeværelse-, CO₂- og temperatursensor som parameter for regulering av ventilasjonen, mens solsensorer regulerer utvendige markiser. For å unngå at utendørs værforhold påvirker klimaet innendørs i hybride ventilasjonsanlegg, kan systemstyringen utvides til å ta hensyn til eksempelvis utetemperatur, vindretning og vindstyrke (Brager et al., 2007).

Som tidligere nevnt gir økt brukerkontroll økt brukertilfredshet. Tidligere forskning viser at folk er mer mottagelig for dårligere inneklima hvis det er de selv har styringen (Dear, 1999). Brukerne opplever, også tidligere beskrevet, inneklimaet veldig individuelt, og liker derfor å kunne styre klimaanlegget. Interaksjonsmuligheter med det SD-anlegget bør derfor være tilgjengelig for brukeren. En skal likevel være oppmerksom på at brukeren kan reagere for sent og feil. Sensorer vil i mange tilfeller kunne reagere raskere og bedre, og sammen med styringssystemet gi et objektivt bedre inneklima raskere (Santamouris & Wouters, 2006).

2.4.2 Ventilasjonsåpninger

Ventilasjonsåpningene for den naturlige ventilasjonsdelen må kunne gi luft uten fare for trekk, i tillegg til å ha lav trykkmotstand (Santamouris & Wouters, 2006). En av de vanligste måtene å utnytte den naturlige delen av hybrid ventilasjon på er å bruke åpningsstyrte vinduer (Stampe, 2013). En litteraturstudie fra 2009 så på sammenhengen mellom vinduets plassering, størrelse og type, og dets påvirkning av blant annet luftveksling og beskyttelse mot uvær (Roetzel et al., 2010). Ifølge samme studie vil valgene av vinduene være basert på arkitektoniske begrunnelser, men vil også være påvirket av klimaet.

Problemet med å utnytte direkteluft fra ute er blant annet svevestøv og pollen. ATs veiledning til ventilasjon og inneklimate sier blant annet at det skal brukes filter som tar unna ovennevnte partikler, og at mekanisk ventilasjon er å foretrekke (Veiledning 444, 2016). Ventilasjonsåpninger og hybrid ventilasjon må derfor løse problemer knyttet til dette da pollen og svevestøv byr på store konsekvenser for enkelte grupper i samfunnet. Så mange som 300.000 nordmenn melder om sykefravær på grunn av pollen hvert år (NRK, 2016). Det kan få store økonomiske konsekvenser for samfunnet hvis ikke problemet hensyntas i hybride ventilasjonsanlegg. Det bør også tas hensyn til fare for trekk for bygg i kalde klima.

2.4.3 Luftstrømninger

For å kunne utnytte hybrid ventilasjon fullt ut er gode kunnskaper om luftbevegelsene viktig å forstå (Santamouris & Wouters, 2006). De naturlige drivkreftene kan være veldige ustabile og vanskelige å forutse, og enkelte ganger fraværende, som igjen kan gjøre hybrid ventilasjon krevende å prosjektere (Stoknes, 2018). Analyser av luftstrømningene på rom- og bygningsnivå kan derfor være nødvendig for å prosjektere solide hybride ventilasjonsanlegg. Analyser kan gjøres med alt fra enkle vurderinger og tommelfingerregler til avanserte simuleringer og CFD-analyser (*Computational Fluid Dynamics*).

Luftstrømmen gjennom en veggåpning er avhengig av den valgte ventilasjonsstrategien. Ved for eksempel kryssventilasjon vil luften strømme gjennom en åpning og ut en annen. Luftstrømmen vil genereres av trykkdifferansen over veggåpningen på grunn av vind- og oppdriftskreftene. Det er viktig og forså veggåpningens karakteristiske åpningskoeffisient C_d , da selve geometrien på vindusåpningen også kan påvirke strømningsbildet (ibid.).

Luftstrømningene gjennom rom og soner på bygningsnivå er viktig å forstå og utnytte slik at en ikke havner i en situasjon, som beskrevet i kapittel 2.3.3, hvor de naturlige og mekaniske drivkreftene jobber mot hverandre. Selv om simuleringsprogrammene muliggjør gode analyser, er det viktig å vite hvilke situasjoner og tidspunkt som kan by på de største utfordringene knyttet til luftstrømningene og inneklimate. Utfordringen er at luftstrømmer i hybrid-ventilerte bygg kan utvise tilfeldige forandringer. Eksempler på dette kan være forekomst av flere steady-state-situasjoner eller strømninger som beveger seg med jevne eller ujevne mellomrom (Santamouris & Wouters, 2006). Dette betyr at luftstrømmene kan bevege og oppføre seg på flere ulike måter, tross konstante grenseverdier.

Forståelsen av luftstrømninger i bygninger og gjennom veggåpninger er ofte basert på kjennskapen til trykkforholdene utenfor bygget. Strømningene varierer ut ifra retning og styrke på vinden, som igjen også varierer ut ifra høyden og geometrien på omliggende bygninger og vegetasjon. Nøyaktig værdata fra målestasjoner er derfor svært viktig (ibid.).

2.4.4 Luftkvalitet og inneklima

Som beskrevet tidligere kan det være problematisk å bruke hybrid ventilasjon på grunn av utfordringene knyttet til inneklima og luftkvaliteten, spesielt i kaldere strøk. Flere eksempelstudier har vurdert bygg i Norge hvor hybrid ventilasjon er brukt (Algrøy, 2014; Lie, 2015). Begge studiene har gjort målinger av blant annet CO₂- og temperaturnivåer i skolebygg. Målinger viser verdier som er godt utenfor grenseverdiene beskrevet i kapittel 2.2. Studien viser også til misfornøyde brukere som sitter i nærheten av veggåpninger. I andre prosjekter, og som beskrevet i kapittel 2.4.1, kan brukere være tilfreds med eksempelvis høye temperaturen så lenge det er de som har stått for reguleringen (Stoknes, 2018). Forskning viser at brukere er mer fornøyde med inneklimate ved hybrid ventilasjon (Brager et al., 2004). Forskriftene og kravene til inneklima beskrevet i kapittel 2.2 gjengir kun kvantifiserbare krav, og tar ikke hensyn til ikke-kvantifiserbare variabler som effekten av å selv kunne variere klimaet, og «bringe» utendørs klima inn i bygget. Dagens forskrifter tar heller ikke hensyn til betydningen av luftens entalpi (fuktighet og temperatur). Studier viser at den opplevde luftkvaliteten avhenger mer av temperatur og fuktigheten enn CO₂-nivået og tilførte luftmengder (Piasecki et al., 2020). Rapporten viser at det er feil å se på inneklima som noe stasjonært, men at kravene må tilpasses bygget og ventilasjonstypen. Rapporten viser at en kan tillate høyere CO₂-verdier så fremst fuktigheten holdes på riktig nivå. Dette er likevel noe som kan være vanskelig å praktisere i tørre norske vintere.

2.4.5 Prosjektering av hybrid ventilasjon

Prosjekteringsprosedyren for hybrid ventilasjon er ganske ulik fra tradisjonell mekanisk ventilasjon da det må optimaliseres som nevnt i foregående delkapitler: luft-strømninger, ventilasjonsåpninger og styringsstrategier. For å lykkes med dette må rådgivere på ventilasjon tidlig inn i et bygningsprosjekt (Heiselberg, 2000). Tradisjonelt sett kan har arkitekten designet et bygg uten å tenke altfor mye på ventilasjonen. Ingeniørens oppgave var da å designe stort nok ventilasjonsanlegg som var i stand til å ta unna høye CO₂- og temperaturnivåer. Ved design av hybrid ventilasjon må arkitekt og RIV jobbe tett fra et tidlig stadium.

Det finnes ulike prosjekteringsmåter for hybrid ventilasjon. Én metode er å dele prosjekteringen inn i tre deler (ibid.):

1. **Grunnleggende design av bygget.** Steget går ut på å optimalisere bygget med tanke på utforming og orientering slik at varmetapet og oppvarmingsbehovet reduseres om vinteren, samt reduserer soltilskuddet og kjølebehovet om sommeren.
2. **Design av den naturlige ventilasjonsdelen.** Dette steget går ut på å bruke informasjon fra forrige steg til å designe naturlig ventilasjonsprinsipp, altså plassering og utforming av veggåpninger ut ifra strømningsanalyser beskrevet i kapittel 2.4.3.
3. **Design av den mekaniske ventilasjonsdelen.** Steget går ut på å designe mekanisk ventilasjonsanlegg som sikrer ventilasjons- og energikravene som ikke blir dekket av naturlig ventilasjon i steg 2.

En annen prosjekteringsmetode foreslått av Grønn Byggallianse, går ut på å først designe et lite forenklet mekanisk anlegg med konstante luftmengder basert på gjennomsnittlig samtidighet (Førland-Larsen & Halderaker, 2016). Samtidighetstypen, som egentlig brukes for å gjennomføre energiberegninger, tar utgangspunkt i standardverdier fra NS 3031 tabell H2 for gjennomsnittlig tilstedeværelser og personbelastninger (Standard Norge, 2014a). Her vil den mekaniske ventilasjonen dekke basisventilasjonen. Prosjekteringsmetoden går så ut på å bestemme størrelse og plassering av vinduene til den naturlige ventilasjonen. Den naturlige ventilasjonen vil ha som funksjon å sikre inneklimatekravene når det for blir høy samtidighet og solbelastning. Den naturlige ventilasjonen vil også kunne bidra til termisk magasinering av bygget gjennom enkel nattkjøling.

Hybrid ventilasjon har størst mulighet for å lykkes hvis designprosessen gjennomføres på en logisk og strukturert måte hvor en har et felles mål å jobber mot. For å sikre et solid anlegg er det også viktig å identifisere usikkerhetsmomentene tidlig i prosjektet slik at disse kan undersøkes nærmere. Ved tradisjonelt anlegg er det ganske uproblematisk å dimensjonere en øke kapasitet på ventilasjonssystemet ved usikkerheter knyttet til endring i framtidig bruk. Siden hybrid ventilasjon er tett knyttet til bygningsdesignet vil denne sikkerhetsmarginen kunne kneble arkitektens handlingsrom unødige mye (Stoknes, 2018).

2.5 Klimagassberegninger

Livsløpsanalyse, *life cycle assesment* (LCA), også kalt klimagassberegninger eller beregning av miljøpåvirkning, er en standardisert metode for å kartlegge og vurdere miljøpåvirkningen til et produkt gjennom sin livssyklus (Simonen, 2014). Selv om tanken bak LCA først ble utviklet på 60-tallet for å vurdere produksjonsprosesser, var det først på 90-tallet at LCA ble formalisert og utviklet til slik vi kjenner metoden i dag (ibid.). Teori og metoder for klimagassberegninger vil bli presentert i dette delkapittelet.

I bygg har det lenge vært fokus på å redusere det direkte utslippet (utslipp fra strømforbruket), gjennom eksempelvis tykkere isolasjon og bedre VVS-systemer (Sartori & Hestnes, 2006). Nå er det også blitt mer og mer vanlig å prøve å redusere de indirekte utslippene, på engelsk kalt *embodied carbon emission* (Kiamili et al., 2020). De indirekte utslippene kan sies å være alle utslippene knyttet til et produkt som forekommer utenfor selve bruksperioden. Dette kan for eksempel være utslipp knyttet til produksjon eller service. Utslippsstadiene til et produkt er vist i figur 5. De ulike modulene gjennom livsløpet til et produkt presenteres på figur 7.



Figur 5: Livsløpet til et produkt. Kilde: Simone, 2014.

Selv om det er blitt mer vanlig å gjennomføre klimagassberegninger, mangler det likevel detaljerte undersøkelser av VVS-løsninger. Av de publiserte studiene på området baserer mange seg på forenklinger (Kiamili et al., 2020; Passer et al., 2012). Det kan være mange

grunner til dette, for eksempel kompleksiteten assosiert med VVS-systemer. En annen grunn kan være fraværende data for å estimere de indirekte utslippene, da VVS-komponenter består av ulike materialer, og kan ha manglende miljødeklarasjoner (se kapittel 2.5.4) (Kiamili et al., 2020). Studier viser at VVS-systemer kan stå for en betydelig del av klimagassutslippene i nybygg, opp mot 36 % (ibid.). Studier viser også at kompliserte og store produkter kan ha de største miljøpåvirkningene, hvor aggregater kan stå for opp mot 33 % av klimagassutslippene til ventilasjonsanlegg (Erichsen & Horgen, 2021).

2.5.1 Steg innen LCA

Klimagassberegninger kan deles inn i fire grunnleggende steg, vist i figur 6.



Figur 6: Steg i en LCA-analyse.

Steg 1 går ut på å definere hensikten bak LCAen. Hvem er målgruppen og hva slags anvendelse vil analysen ha? I første steg defineres også hvilken systemgrense rapporten vil ha, altså hvilken del av syklusen en skal se på (Byggforsk, 2014). En kan for eksempel vurdere hele syklusen eller bare produksjonsstadiet. For bygg er det vanlig å se på modulene A til C, vist på figur 7. I første steg bestemmes også en funksjonell enhet som muliggjør sammenligningen av ulike systemer. For klimagassberegninger i bygg, er det vanlig å benytte seg av globalt oppvarmingspotensiale (GWP, *Global Warming Potential*), med enheten Kg CO₂-ekvivalenter/m² BTA.

Steg 2 går ut på innsamling av hvor mye materialer og energi som går med til å produsere produktet, og mengde avfall og utslipp som produseres. Enhetsprosessen kan være alt fra en enkelt arbeidsoperasjon til en hel produksjon. I livsløpsregnskapssteget vurderes altså alle ressurser som går inn i hver enkelt enhetsprosess og tilhørende utslipp. Andre steg kalles også av mange for en LCI-analyse, (*life cycle inventory*). Det er vanlig å tilskrive utslipp til de medier de avgis til, som jord eller luft (ibid.).

Steg 3 går ut på å beregne effektene av resultatene fra livsløpsregnskapet. Livsløpseffekt-vurdering blir ofte kalt LCIA (*Life Cycle Impact Assessment*). Hvor en i det andre steget fant hvilke og hvor mye av et stoff som ble avgitt, går det tredje steget ut på å dele utslippene inn i korrekte effektkategori, som globalt oppvarmingspotensial og potensial for forsuring av jord. Deretter er det vanlig å vekte effektkategoriene av de ulike utslippene. Hensikten med dette tredje steget er altså å synliggjøre de potensielle miljømessige konsekvensene av forbruk av energi og materialer (ibid.).

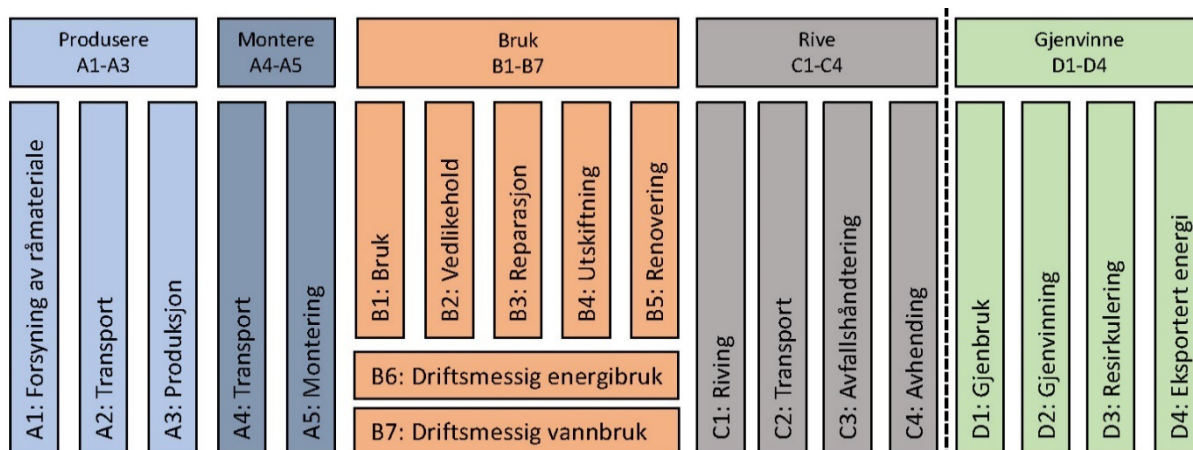
Steg 4 går ut på å tolke resultatene fra steg 2 og 3 som skal brukes for å oppfylle hensikten og målet til LCAen, definert i steg 1. I tolkningen kan en trekke konklusjoner, men også forklare begrensninger i analysen. I slike tolkninger kan det ofte være fornuftig å gjennomføre sensitivitetsanalyser og normalisering for å finne ut styrken av LCAen (Byggforsk, 2014).

2.5.2 Typer av LCA

Selv om en kan utføre LCAer for ulike stadier i livet til et produktet, er det mest vanlig å gjennomføre cradle to grave-analyser (vugge til grav) (EeBGuide, 2020; Simonen, 2014). Her ser en på produktet helt fra råmaterialene blir utvinnet fra jorden til produktet blir avhendet, og kalles ofte fullstendig LCA. I det siste har det også blitt vanlig å gjennomføre klimagassberegninger ved å se på hvilket produkt som er mest egnet for gjenbruk, da kalles den ofte vugge til vugge-analyse (ibid.).

Innenfor byggebransjen skiller det ofte mellom tre LCAer ut i fra detaljnivået: screening, forenklet og komplett LCA (Simonen, 2014). En skiller mellom tre ulike detaljnivåer, ut ifra hvor mye informasjon en kan hente fra bygningsmodellen (se kapittel 2.5.7). De ulike LCA-typerne krever ulike definisjoner av systemgrensene, altså hvilken modul og faser som inngår (vist på figur 7), byggekomponenter og type data (EeBGuide, 2020). For byggebransjen er det vanligst å inkludere ulike moduler fra modul A til C.

Screening LCA blir brukt for å gi et raskt overslag av miljøpåvirkningene, og er ment å brukes tidlig i design- og konseptstadiet i et byggeprosjekt. Det anbefales at modulene A1-A3 og B6-B7 inkluderes denne LCA-beregningen. Screening LCA vil i all hovedsak benytte seg av enkle overslag, generisk data og tommelfingerregler, samt vurdering av hva som er de største bidragsyterne (EeBGuide, 2020; Kiamili et al., 2020).



Figur 7: Ulike moduler til et produkt. Kilde: egenprodusert, basert på NS 3720.

Forenklet LCA blir brukt for å gi et mer detaljert bilde av miljøpåvirkningen til et produkt enn det screening LCA kan tilby. Metoden skal likevel også gi et relativt raskt svar, tross bruk av mer detaljert data (EeBGuide, 2020). Forenklet LCA blir mye brukt blant annet i utviklings- og prosjekteringsstadiet til et byggeprosjekt, samt til å utføre studier for å kunne dokumentere produkter gjennom miljødeklarasjoner. I forenklet LCA er det vanlig å ta hensyn til flere moduler. Her anbefales det å vurdere ulike materialer og leverandører (ibid.). Her kreves det også mer detaljerte klimadata til komponentene.

Komplett LCA blir brukt for å få et så detaljert bilde av miljøpåvirkningen til et produkt som det er mulig. Metoden er omstendelig og vil i mange tilfeller stille krav til personen(e) som utfører LCA-studien, da små feil kan lett gi store utslag for resultatet (Simonen, 2014). Metoden blir mye brukt for å skape full forståelse for den faktiske miljøpåvirkningen, uten å bruke forenklinger og tommelfingerregler (Kiamili et al., 2020). Komplett LCA blir i mange tilfeller også benyttet for å vurdere enkeltprodukter i større systemer, som ventilasjonsløsningen i et bygg. Komplett LCA følger ISO-standardene 14040 og 14044, og tar for seg hele stadiet til et produkt, beskrevet i kapittel 2.5.3.

2.5.3 Regelverk for LCA

Det finnes flere ulike nasjonale, europeiske og internasjonale standarder som danner grunnlag for livssyklusanalyser. I Norge forholder man seg oftest til standardene utarbeidet på det nasjonale og europeiske planet (Byggforsk, 2014). LCAer er i all hovedsak basert på standardene ISO 14044 og ISO 14040 (Standard Norge, 2006a, 2006b). Andre standarder som NS-EN 15978 og NS 3720 er også relevante for LCAer (Standard Norge, 2011b, 2018).

ISO 14044 og 14040 beskriver kravene, retningslinjene og rammeverket for livsløpsvurdering og fasene som inngår (beskrevet i kapittel 2.5.1). Denne standarden dekker LCAer og LCIs. Anvendelsen av LCA- og LCI-resultatene blir vurdert ved fastsettelsen av hensikten og omfanget i standarden (Standard Norge, 2006a).

NS-EN 15978 beskriver beregningsmetode basert på LCA, for å vurdere bygningers miljøprestasjon. Standarden angir også verktøy for å rapportere resultatene. Standarden dekker alle stadier av bygningens livsløp og er basert på nøyaktig data. Vurderingen omfatter alle byggevarer, prosesser og tjenester som har forbindelse med bygningen i løpet av byggets levetid (Standard Norge, 2011b).

NS 3720 beskriver metode for å gjennomføre klimagassberegninger for bygninger. Standarden angir metoder for å beregne tidligere og fremtidige klimagassutslipp. Bruk av resultater og analyser basert på metoden som er beskrevet i standarden, vil gi grunnlag for endringer av rutiner for de ulike aktørene innenfor byggebransjen (Standard Norge, 2018). Denne standarden anbefaler også framgangsmåte for beregning av klimagassutslipp i Norge. Her vil også de ulike elektrisitets-scenarier bli definert. I Norge er det vanlig å anta en norsk- og europeisk forbruksmiks (el-miks), som sier hvor mye CO₂-ekvivalenter som blir sluppet ut pr forbrukt enhet. (ibid.).

2.5.4 Miljødeklarasjon

Resultatene fra en LCA kan også uttrykkes gjennom en miljødeklarasjon, EPD (*Environmental Product Declaration*). EPD er et dokument som oppsummerer miljøprofilen til et produkt eller tjeneste. EPD er mye brukt i byggenæringen som grunnlag for innkjøpskriterier, men er blitt mer og mer vanlig også i andre bransjer (EPD-Norge, 2020). Hensikten bak EPD er å sikre at miljøinformasjon innen samme produktkategori lar seg sammenlikne uavhengig av land eller region. Kjøper skal derfor kunne velge produkter med minst miljøpåvirkning uten for store utfordringer (ibid.). Kravene til hvordan en EPD skal lages, stilles i ISO 14025 (Standard Norge, 2010). En av de viktigste kravene i standarden er at deklarasjonen skal være basert på LCA utført i henhold til ISO 14040 og ISO 14044.

I Norge er det først og fremst TEK17 som regulerer krav til dokumentasjon av bygge-materialer gjennom miljødeklarasjoner (DIBK, 2017). For tradisjonelle bygningsprodukter som betong og isolasjon, er EPD blitt vanlig for produsenter å måtte levere i forbindelse med anskaffelser, men ikke for VVS-installasjoner, som beskrevet innledningsvis i kapittel 2.5 (ITBaktuell, 2020). Teknisk forskrift stiller krav gjennom §9-1 at bygg skal prosjekteres og bygges på en måte som medfører minst mulig belastning på naturressurser og det ytre miljøet. §9-2 sier at dette kan dokumenteres gjennom en EPD.

2.5.5 Begrensninger bak klimagassberegninger

Selv om klimagassberegninger er et godt verktøy for å finne totale miljøpåvirkninger, er det likevel noen positive og negative sider med metoden som bør nevnes (Simonen, 2014).

Styrker ved LCA er mange, men hovedstyrken er at resultatet fra analysen er kvantifiserbart og sammenlignbart. Det betyr at enheten som svaret gis i, lett kan sammenlignes med andre produkter, som muliggjør valg av løsningen med lavest miljøpåvirkning. I tillegg er LCA relativt detaljert, som medfører at en kan spore hvor i produktets livssyklus en får størst miljøpåvirkning.

Svakheter ved LCA er flere, men de viktigste er tidsbruken, samt manglende og usikre data. Siden livsløpsanalyser er så detaljerte, vil det gå med mye tid og store ressurser for å få kartlagt de ulike modulene i en LCA, analysere og dokumentere svarene. Dette kan være med på å øke kostnaden og dermed skremme kjøpere i å etterspørre EPD for tekniske installasjoner (ibid.). På grunn av dette vil det også være begrensninger på hvem som kan utføre slike analyser.

En annen svakhet kan knyttes til eventuelt feil i tidshorizonten ved klimagassberegninger (Struhala & Stránská, 2016). Det er vanlig å ta utgangspunkt i en levetid på 60 år i henhold til NS 3720 (Standard Norge, 2018). Det finnes likevel bygninger i dag som er godt over 100 år gamle, som fortsatt tjener sine opprinnelige formål. Faktisk levetid vil være ulikt fra bygg til bygg, men det kan argumenteres for at faktisk levetid er en god del lengre enn eksisterende tidshorizont. For eksempel vil effekten av å rive gamle ineffektive bygg og sette opp lavenergi-bygninger vil sannsynligvis forsterkes hvis en hensyntar en faktisk levetid på mer enn 60 år.

2.5.6 Tidligere LCA-studier av ventilasjonsløsninger

Som tidligere beskrevet, eksisterer det lite dokumentasjon av miljøpåvirkningen fra ulike ventilasjonsløsninger, både internasjonalt, men også i nordlige strøk med kaldere klima. Noen kan likevel nevnes og brukes som sammenligningsgrunnlag i denne oppgaven.

En studie av en svensksveitsisk forskergruppe har gjennomført en vugge-til-grav LCA av VVS-systemet i et nyoppført seksetasjes bygg tilhørende Siemens i Sveits i 2020 (Kiamili et al., 2020). På grunn av tilgang til data fra leverandører tar studien kun utgangspunkt i LCA-modulene A1-A3 (produksjon), B4 (utskiftninger), B6 (energiforbruk) og C1-C3 (riving og avfallshåndtering). Studien bruker en BIM-fil med LOD 300 og høyere. Studien har koblet BIM-fil til produktdata og LCA-databaser gjennom et dataprogram, som automatisk beregner miljøpåvirkningene. Resultatene viser at miljøpåvirkningen fra eksempel-bygget er på 183 kgCO_{2e}/m². Dette gjelder for hele VVS-systemet og ikke bare ventilasjonen.

En masteroppgave av Josefine Willkomm fra Sverige i 2020, har gjennomført en vugge-til-grav LCA av et mekanisk og hybrid ventilasjonssystem i et kontorbygg i Danmark (Willkomm, 2020). Studien har tatt utgangspunkt i modulene A1-A3 (produksjon), B1-B7 (drift og vedlikehold), C1-C3 (riving og avfallshåndtering) og D1 (gjenbruk). Studien har tatt utgangspunkt i enkle konstruksjonstegninger og data, og har selv måttet dimensjonere rørføringer. LCA-beregningene er gjort for hånd ut ifra mengdeberegninger som også er gjort for hånd. Resultatene viser at miljøpåvirkningen fra det hybride ventilasjonsanlegget ligger på 20,6 kgCO_{2e}/m², mens miljøpåvirkningen fra det mekaniske er på 57,1 kgCO_{2e}/m².

En studie av en svensk forskergruppe har gjennomført en vugge-til-grav LCA av et nytt kontorbygg oppført i Sverige i 2019 (Ylmén et al., 2019). Studien har tatt utgangspunkt i modulene A1-A5 (produksjon og montering), B4 (utskiftning), B6 (energiforbruk) og C1-C4 (riving og avfallshåndtering). Studien har gjennomført en detaljert LCA-studie hvor det er brukt data gitt av leverandører for de ulike komponenter og produkter. Studien har benyttet seg av mange manuelle beregninger. Resultatene viser at miljøpåvirkningen fra eksempel-bygget er på 138 kgCO_{2e}/m². Dette gjelder for hele VVS-systemet og ikke bare ventilasjonen.

En masteroppgave av Alexander Borg fra Norge i 2016, har gjennomført en vugge-til-grav LCA av et mekanisk ventilasjonssystem i et kontorbygg i Trondheim (Borg, 2016). Studien har tatt utgangspunkt i modulene A1-A3 (produksjon), B1-B4 (drift og vedlikehold), B6 (energiforbruk) og C1 (riving). Studien har også tatt utgangspunkt i en detaljert BIM-fil hvor mengdene er hentet ut fra filen, før LCA-verktøy er blitt benyttet videre for manuelle beregninger. Resultatet viser at miljøpåvirkningen fra anlegget er på 33,7 kgCO₂e/m².

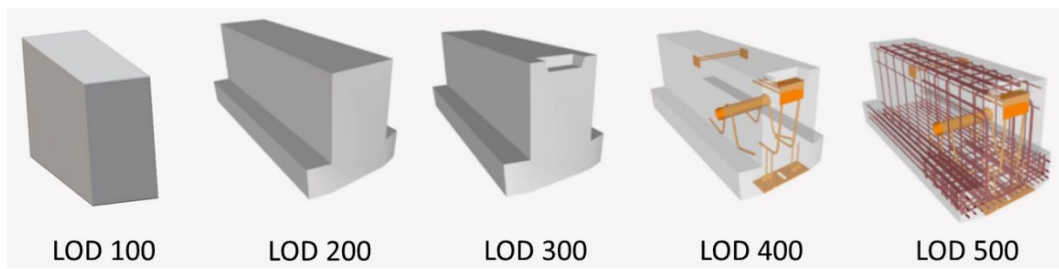
Felles for ovennevnte studier, og annen litteratur, er at produksjonsfasen som oftest utgjør de desidert største utslippene fra livsløpet til et produkt (Bruijn et al., 2002; Simonen, 2014). Dette skyldes energikrevende råvareutvinning og foredling, og at det går med lite energi til produksjonen av selve produktet. Dette vil være annerledes ved naturlig ventilasjon, som inneholder få fysiske komponenter.

2.5.7 BIM og klimagassberegninger

Som beskrevet i kapittel 2.5.5, er en av de store svakhetene ved LCA, omstendeligheten. BIM er derfor blitt et viktig verktøy for gjennomføring av klimagassberegninger innen bygg- og VVS-sektoren. For å spare tid og kostnader vil det være naturlig å prøve å koble bygningsinformasjonsmodeller (BIM) til LCA-beregningene (Najjar et al., 2017). Dette kan hovedsakelig gjøres på to måter.

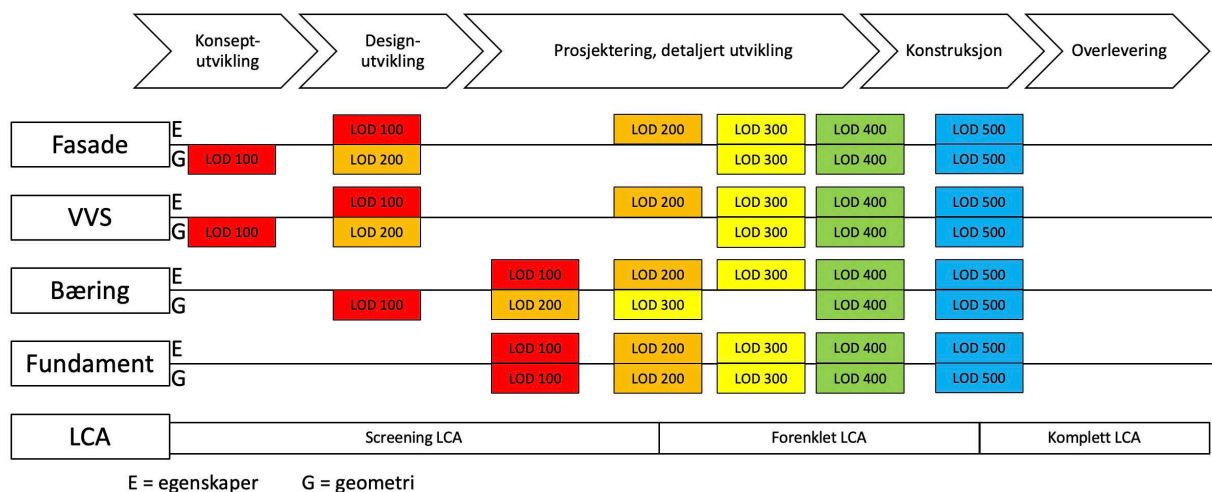
1. Hente ut mengdelister fra dataprogrammet som håndterer bygningsmodellen. Mengdelistene brukes til å gjennomføre manuelle LCA-beregninger.
2. Koble BIM direkte til LCA-verktøyet. Styrken ved denne metoden er at LCA-resultatene hele tiden er oppdaterte. Svakheten er at mange beregninger gjøres automatisk, og brukeren må ha god programforståelse for å sikre korrekt bruk. Denne metoden krever egne verktøy for å koble LCA-verktøy til BIM-verktøy.

Videre gjennom byggeprosjekter vil komponenter og elementer gå fra være enkle modeller og ideer, til presise komplette modeller, som vist i figur 8, (Bedrick et al., 2020). For å angi hvor utviklet en komponent er, snakker litteraturen ofte om utviklingsnivået, ofte forkortet LOD (*Level Of Development*). Ved å angi graden av utviklingen, fra LOD100 til LOD500, kan en anta større og mindre sikkerhet fra BIMen. Dette kan gjøre det lettere å stole på hva som er bestemt og ikke bestemt i en BIM-fil (ibid.).



Figur 8: Utviklingsnivå til et produkt. Kilde: Bedrick et al., 2020.

Tanken bak LOD ble først presentert av *Vico Software* og *Webcor* i 2005, og senere standardisert av blant annet *American Institute of Architects* (Hooper, 2015). Her foreslås det hva slags egenskapsinformasjon de ulike LOD-nivåene skal ha for ulike bygningselementer gjennom et byggeprosjekt, som vist i figur 9. Planen i figuren vil kunne hjelpe en ingeniør til utføre designiterasjoner i riktig rekkefølge, og dermed spare tid og penger (Hooper, 2015). Figuren viser også den egnede LCA-typen etter utviklingen i prosjektet.



Figur 9: LOD-nivåer og LCA-typer i byggefasene. Kilde: Meex et al., 2018.

I henhold til figur 9 er det først et godt stykke ut i prosjektering at en vil få en relativ god nøyaktighet på modellen. Problemet med LCA, er at en gjerne vil utføre den tidlig i et prosjekt for å finne de beste miljømessige løsningene. En nøyaktig LCA som ikke er basert på generisk data og antagelser, krever stor nøyaktighet som kun er mulig sent i et prosjektet (Kiamili et al., 2020; Simonen, 2014). Det er samtidig tidlig i et prosjekt at LCA har størst påvirkningsmulighet. Derfor gjennomføres ofte LCAer sent i prosjektet for så å gå tilbake og modifisere designet for å oppnå kravene stilt til miljøpåvirkningen (Meex et al., 2018). På grunn av dette kan en si at utviklingsnivået i BIM-modellen har stor påvirkning av gjennomførbarheten og nøyaktigheten til en LCA.

3 Nydalen Vertikal

Dette kapittelet beskriver bygget som har vært gjenstand for masteroppgaven – Nydalen Vertikal, forkortet GT2A.

3.1 Bygget og området

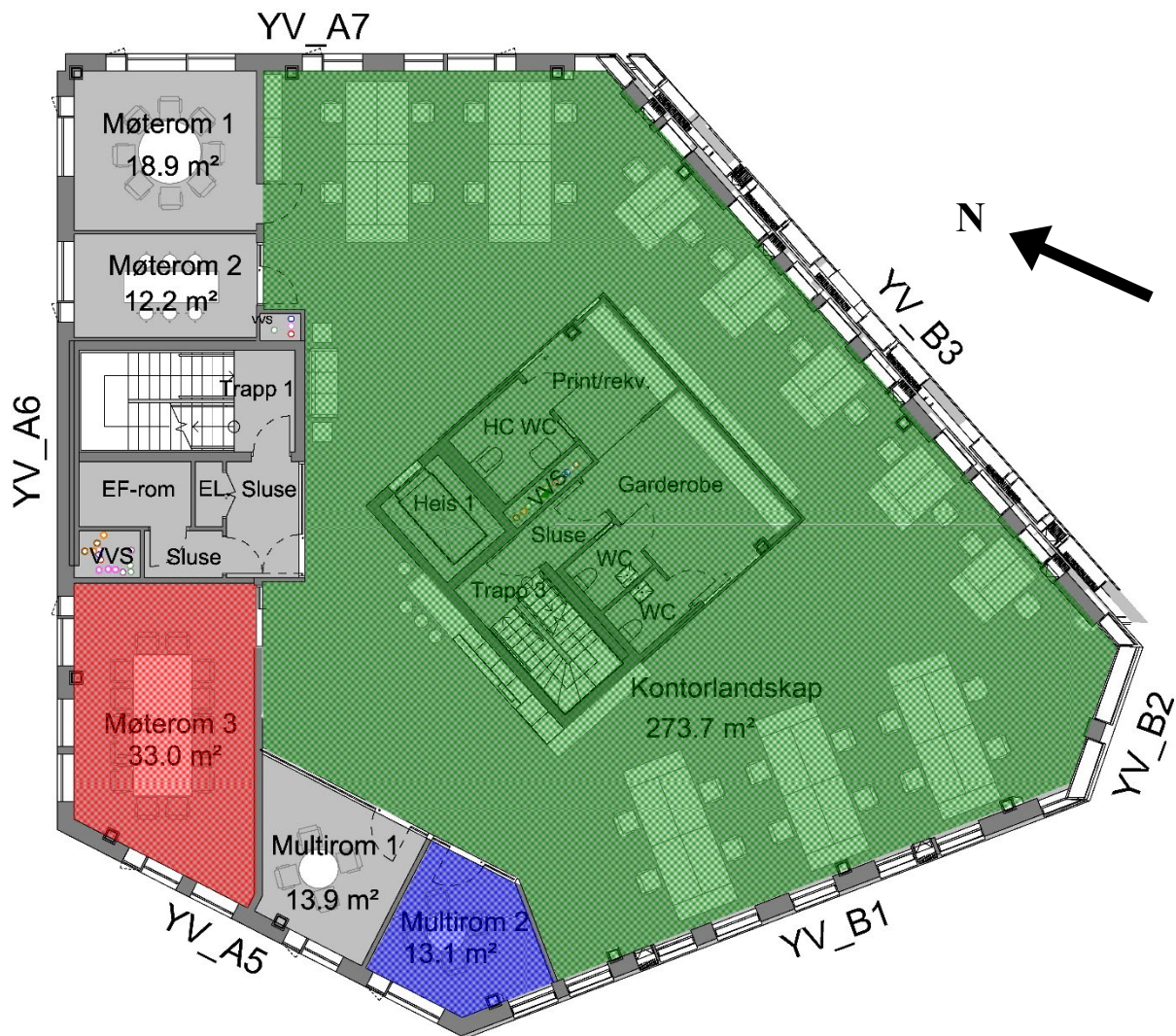
Nydalen Vertikal er utviklet av Avantor, og planlegges bygd på Gullhaug Torg 2A i Nydalen (derav forkortelsen), med byggestart i første halvdel av 2021. Bygget er planlagt naturlig klimatisert i kontordelen av bygget, og har også et innovativt oppvarmingssystem.

Gjennom Nydalen+ har grunneier Avantor planlagt utviklingen av Nydalen fram mot 2030. I samarbeid med Futurebuilt og forskningsprosjektet Naturligvis, har Avantor og andre partnere sett på muligheten for å integrere bygnings-

designet slik at arkitekturen og de tekniske løsningene kan utfylle hverandre. De har sett på muligheter for å designe et bygg som gir lavere investeringskostnader knyttet til de tekniske anleggene, lavere vedlikeholdsbehov, enklere drift og bedre totalopplevelse for brukerne. Gjennom simulering av luftstrømmene rundt bygget har formen på bygget blitt optimalisert for å sikre optimale trykkforhold for de fleste værphenomenene (Stoknes et al., 2018). På denne måten legges det til rette for å maksimere utnyttelsen av kryssventilasjon. Avantor håper at bygget skal ha så lavt levert energibehov som mulig.



Figur 10: Nordøst-fasaden av Nydalen Vertikal.



Figur 11: Undersøkte soner på plan syv i nordre bygg.

GT2A, vist på figur 10, består av to bygg på til sammen 10.000 m² og inneholder næring, kontorer og boliger. I oppgaven er det valgt å se på plan syv på det nordre bygget, nærmere bestemt kontorlandskapet (grønt), møterom 3 (rødt) og multirom 2 (blått), vist på figur 11. De valgte sonene antas å være representative for kontorarealene generelt. Kontorlandskapet er det største rommet, men også rommet med lavest persontetthet. Møterom 3 er rommet med den høyeste persontettheten av alle rom på plan 7. I tillegg har rommet yttervegger som muligens gir mindre gunstige muligheter for kryssventilasjon siden de ikke er motstående for hverandre. Det samme kan sies om multirom 2. I tillegg til å være det minste møterommet, har multirom 2 både store vestvendte vindusflater og det største forholdet mellom lufteareal og grunnareal. Med dette i tankene, vil en analyse av den termiske komforten i disse sonen kunne danne et godt bilde for den termiske inneklimaytelsen for resten av kontordelen i bygget. Dette kapittelet vil beskrive sentrale parametere ved bygget som vil bli brukt videre.

3.2 Tekniske parametere

Som beskrevet i kapittel 1.3, tas det utgangspunkt i dokumentasjon fra veiledere for å kunne bygge opp simulerings- og beregningsmodeller av GT2A. Dette kan omfatte tegninger fra arkitekt, dokumenter i forbindelse med byggesøknader, eller informasjon hentet fra datafiler. Parametere og antagelser, basert på denne dokumentasjonen, er definert i dette delkapittelet, og er parameter for bygget i sin naturlige form.

3.2.1 Bygningstekniske parametere

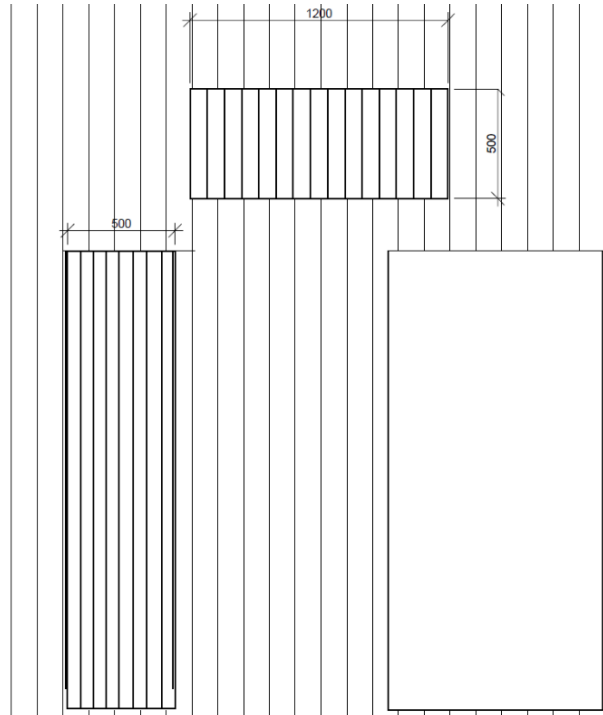
Selv om GT2A er et resultat av et forskningsprosjekt, kan de bygningstekniske parameterne sies å være relativt konvensjonelle. Siden bygget, i sin naturlige form, ikke har noen tekniske føringer i himling, er den frie høyden på hele 3,5 meter. På grunn av byggeprinsippet med forspent betongdekker, betongkjerner og stålsøyler i fasadelivet, vil bygget ha stor fleksibilitet i programmering av arealene (Stoknes, 2018). Gulvet og etasjeskiller planlegges bygd i betong, og vil kunne fungere som energibatterier. Ytterveggen planlegges bygd i pre-fabrikkerte trekonstruksjonselementer som blant annet er brannimpregnert og termobehandlet. Det vil derfor være minimalt behov for vedlikehold av kledningen gjennom klimaveggens levetid. På de mest solbelastede fasadene benyttes soldempende glass. Vinduene har innvendig solskjerming som aktiveres når utvendig solstråling når 200 W/m^2 . Sentrale bygningstekniske parametere for plan 7 er vist i tabell 5.

Tabell 5: Sentrale bygningsfysiske parametere.

Komponent	Verdi	Benevning
U-verdi yttervegg	0,139	$\text{W/m}^2\text{K}$
U-verdi yttertak	0,120	$\text{W/m}^2\text{K}$
U-verdi gulv	0,140	$\text{W/m}^2\text{K}$
U-verdi vindu	0,66	$\text{W/m}^2\text{K}$
g-verdi vindu	0,40	-
Soltransmisjon vindu	0,36	-
g-verdi vindu (inkl. solskjerm)	0,25	-
Normalisert kuldebroverdi	0,03	$\text{W/m}^2\text{K}$
Lekkasjetall	0,40	oms/t
Høyde overkant gulv, plan 7	22,2	meter over bakken

3.2.2 Ventilasjon

Kontordelen i GT2A er planlagt 100 % naturlig ventilert, utenom avtrekksventiler på toaletter og kopirom, samt ventilasjon knyttet til brannvern. Luftingen vil foregå gjennom luker i fasaden. Luftelukene utføres med utvendig rister som skal hindre regn i å trenge gjennom. Lukene vil også ha støyabsorberende elementer som skal kunne innfri lydkravene innendørs (Stoknes, 2018).



Lukene er plassert både over og på siden

av utvalgte vinduer langs fasadene, som vist **Figur 12: Fasadeprinsipp for lukeåpninger**

i figur 12. Mens lukene over vinduet skal brukes året rundt, er tanken at sidelukene kun skal brukes mellom april og september. Dette skyldes at en vil begrense faren for trekk i fyrings-sesongen. På grunn av kostnader planlegges sidelukene å være manuelle, mens overlukene planlegges å være automatiserte (Stoknes et al., 2018). Automasjonen er beskrevet nærmere i kapittel 3.2.5. Selve lukestørrelsen varierer og er vist i tabell 6. Det er antatt en åpningskoeffisient $C_d=0,18$. Lukene er styrt etter temperatur og CO_2 . Temperatur er styrt etter setpunkt beskrevet i kapittel 3.2.4, mens CO_2 -nivået er regulert til å holdes under 1100 ppm.

Tabell 6: Lukestørrelse.

Komponent	Bredde	Høyde
Overluke	1,2 m	0,5 m
Sideluke	0,5 m	1,7 m

I rom med stor persontetthet vil det være behov for store luftmengder. For å begrense faren for diskomfort knyttet til trekk, planlegges overlukene å være innpakket av luftfordelings-elementer, kalt klimakano (ibid.). Kanoen består av perforerte plater som skal fordele luften utover oppholdssonen, og dermed hindre kald luft i å «renne» inn gjennom lukene på kalde vinterdager og skape termisk diskomfort, vist på figur 13. Kanoen vil til en viss grad også kunne forvarme luften gjennom induksjon av romluften.



Figur 13: Foreslått utforming av klimakano. Kilde: NTNU/SINTEF.

3.2.3 Energiforsyning

Nydalen Vertikal benytter seg av en ny og moderne energiforsyningsløsning for å få et så lavt levert energibehov som mulig, kalt LowEx fra lavekesergi. Prinsippet er basert på lavekesergi, som betyr liten termisk energi i oppvarmings- eller kjølemediumet. Altså vil det være lav temperaturforskjell mellom sonen og varme/kjøleflatene. Dette medfører at varme-/kjøleflaten må ha store arealer for å skape ønsket effekt. LowEx benytter seg av en grunnvarmepumpe. Siden systemet benytter lavekesergi, trenger ikke varmepumpen løfte temperaturen på mediet i altfor stor grad, som vil bidra til en høy virkningsgrad for oppvarming. Gjennom LowEx vil frikjøling i sommersesongen også bli muliggjort. Dette vil også bidra til en høy virkningsgrad i kjølesesongen. Det antas bygget er påkoblet fjernvarmenettet. De ulike energiforsyningssystemene er vist i tabell 7.

Tabell 7: Energiforsyninger.

Komponent	Virkningsgrad	Dekningsgrad
GEO VP, oppvarming	4,41	0,99
GEO VP, kjøling	50	1
GEO VP, tappevann	4	0,98
Fjernvarme, oppvarming	0,83	0,01
Fjernvarme, ventilasjon (boliger)	0,9	1
Fjernvarme, tappevann	0,98	0,02
EL	1	-

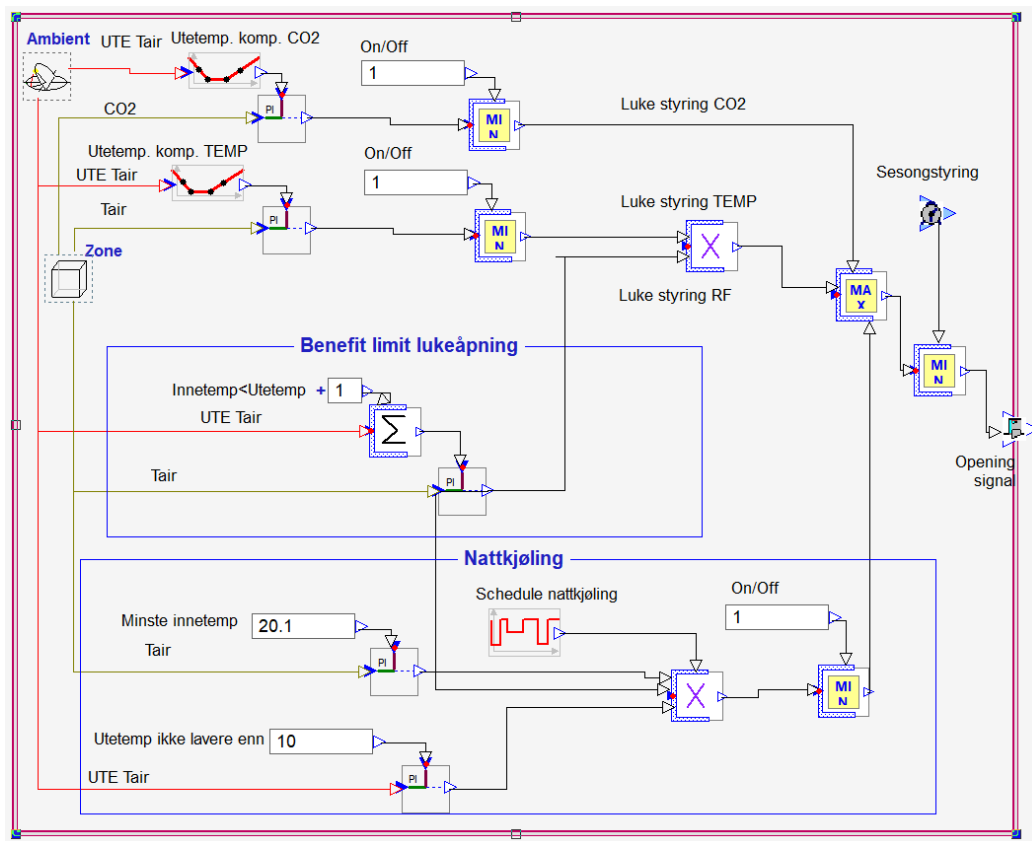
3.2.4 Oppvarmings- og kjølesystem

I tillegg til å benytte seg av kryssventilasjon i kjølesesongen, benytter GT2A seg av gulvsløyfer til varme og kjøling for å regulere temperaturen. Det antas at 66 % av gulv-arealet er dekket med sløyfer. Gulvflatene skal være utført i slipt betong på grunn av lav varmemotstand.

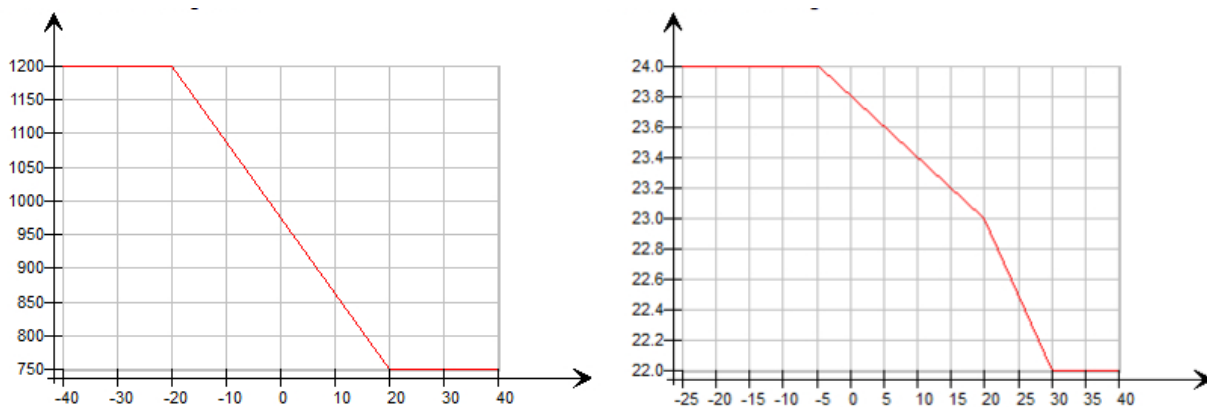
Lav varmemotstand mellom rør og romluft er essensielt for å hindre et tregt system (Ørnes & Dokka, 2018). Lav varmemotstand er også viktig når en vil benytte seg av LowEx-løsningen, hvor varme avgis med lave temperaturer (22-28°C) og kjøle med høye temperaturer (18-20°C). Kapasitet på sløyfen er 20 W/m² per m² gulvsløyfe. Setpunkt for gullvarme = 21 °C, setpunkt for gulvkjøling = 24 °C.

3.2.5 Regulering- og kontrollstrategier

Med ønsker om et bygg med lite teknikk, er byggets hovedregulering knyttet til styring av luftelukene og gulvsystemet (Stoknes et al., 2018). Luftelukene er i utgangspunktet tenkt regulert etter CO₂- og temperaturnivået i romsonen. Makroen for styringen er vist i figur 14. For å utnytte den termiske massen i bygget, er det lagt inn mulighet for nattkjøling. Dette vil være med å sikre kjøling i sommermånedene.



Figur 14: Styringsprinsipp av lufteluker.



Figur 15: Utekompensert settpunkt for CO₂- og temperaturnivå.

Figur 15 viser settpunktene som luftelukene reguleres etter. Naturlig ventilasjon i GT2A legger til grunn teori, som beskrevet i 2.4.4, om at luftkvaliteten er avhengig av luftens entalpi. Derfor tillates høyere CO₂-nivå på de kalde dagene. På en slik måte vil en også kunne redusere faren for trekk. Ved en slik regulering vil en også kunne bidra til å redusere energibruken uten at det går på bekostning av inneklimateet.

Gulvsystemet har to styringsprinsipper. Den sentrale vanntemperaturen har et adaptivt setpunkt basert på utetemperaturen som er kompensert etter værprognoser (Ørnes & Dokka, 2018). Dette skyldes at systemet er relativt tregt på grunn av lave turtemperaturer. Setpunktet er basert på hva slags temperatur mediet trenger for de ulike utetemperaturene for å oppnå ønsket effekt.

På romnivå styres systemet av temperaturen i gulvet, i stedet for romluften. På grunn av naturlig ventilasjon, og raske endringer i internt varmetilskudd, vil romtemperaturen kunne endre seg raskt. LowEx-systemet gjør at temperaturen i gulvet endrer seg sakte. Med sensor i gulvet vil også setpunktet og temperaturen i gulvet holde seg stabilt. Selve setpunktet i hvert rom er også her regulert etter utetemperatur.

De lave temperaturforskjellene i mediene reduserer muligheten for temperaturregulering på romnivå. For LowEx tenkes det at brukeren skal kunne regulere 1,5 °C opp eller ned i forhold til setpunktet. På grunn av tregheten kommer ikke temperaturendringen før etter 12-15 timer. Derfor vil utkommandering med værprognoser være viktig (ibid.).

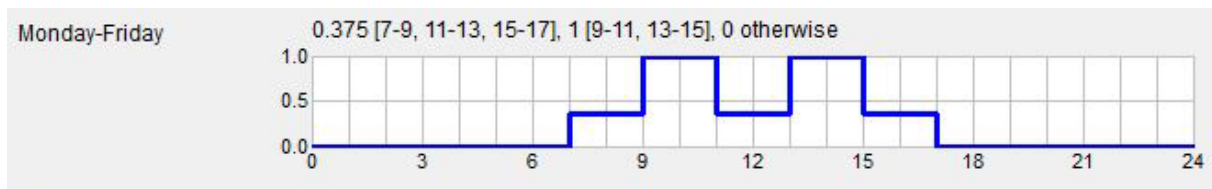
3.2.6 Internlaster og driftstider

Det er tatt utgangspunkt i plantegninger for å bestemme internlasten etter arbeidsplasser, vist i tabell 8. For personer antas det videre et aktivitetsnivå på 1,3 MET og en bekledning på 0,85 clo ± 0,25. Varmetilskuddet fra lys og utsyr er også listet opp i samme tabell.

Tabell 8: Internlaster på plan 7.

Faktor	Kontorlandskap	Møterom 1	Møterom 2	Møterom 3	Multirom 1&2
Antall personer	45	8	6	14	4
Utstyr [W/m ²]	20,9	10	10	10	10
Lys [W/m ²]	3				

Ordinær driftstid er satt til klokka 07-17 i hverdagene. Driftstiden for internlastene er satt i henhold til NS3031:2015. Det betyr at varmetilskudd fra belysningen er konstant hele døgnet. Videre varierer varmetilskuddet fra personer og utstyr i henhold til bruksmønsteret i figur 16.



Figur 16: Bruksmønster til person og utstyr.

3.2.7 Krav til termisk komfort og energiytelser

Selv om det i utgangspunktet stilles like krav til energi- og inneklimategelser, har GT2A søkt om dispensasjon fra noen av kravene som stilles i TEK17 og Arbeidstilsynets veileder 444, i forbindelse med naturlig ventilasjon i kontordelen av bygget (Erichsen & Horgen, 2021). På grunn av fravær av varmegjenvinner og mye kald luft vinterstid, vil kontordelen i GT2A ha et høyere netto energibehov en hva TEK17 §14-2 tillater. Med LowEx vil likevel det leverte energibehovet være lavt. Av den grunn er det søkt om fritak fra dette kravet, da en mener at hensikten bak paragrafen tilfredstilles.

Det er også blitt søkt om dispensasjon fra kravene som stilles i TEK17 §13-3, som angir minimums ventilasjonsluftmengder. Så store luftmengder direkte fra omgivelsene vil skape dårlig inneklimategel for brukerne av kontorene (ibid.). Med prinsippet om luftkvalitet som funksjon av entalpi, som beskrevet i kapittel 3.2.5, mener en at bygget oppfyller intensjonen til kravet i TEK17 §13-1 med lavere luftmengder på kritiske dager i vintersesongen:

Bygningen skal ha ventilasjon som gir tilfredsstillende luftkvalitet. Det er også blitt søkt om dispensasjon om krav knyttet til trekk, som stilles i Arbeidsmiljølovens 444 (ibid.), da en er redd kravet vil kunne overskrides på kritiske vinterdager tross klimakanoen.

Ellers er bygget designet for at det skal kunne tilfredsstille kravene i klasse III i NS-EN 15251, eventuell klasse IV på de mest kritiske dagene, beskrevet i kapittel 2.2.4.

3.3 Forslag til ventilasjonsløsninger

Forrige delkapittel beskrev parametere og antagelser knytte til GT2A, i sin naturlige form. I dette delkapittelet beskrives forslag og andre antagelser for hybrid og mekanisk ventilasjonsløsning. Plassering av teknisk rom og kanalføringer er ikke hensyntatt i denne delen.

3.3.1 Hybrid ventilasjon

Det foreslås et lignende hybrid ventilasjonsanlegg beskrevet i veilederen fra Grønn Byggallianse, et parallellsystem (Førland-Larsen & Halderaker, 2016). Det foreslås at det tilføres konstante luftmengder tilsvarende laveste mulig gjennomsnittlig samtidighet. Det vil i praksis for et CAV-anlegg si rundt 70 % av maksimal kapasitet i henhold til minstekravene til luftmengder i TEK 17 (Ingebrigsten, 2019b). Sammendrag av tilluftsmengder for de ulike rommene er vist i tabell 9. Vedlegg A inneholder detaljerte beregningene. Selve luften foreslås tilført med omrøringsventiler for å sikre enkel utførsel. Avtrekk foreslås sentral på planet med overstrømningsventiler fra grupperommene.

Tabell 9: Tilluftsmengder for CAV-anlegg.

Rom	Tilluftsmengde [l/s/m ²]	Tillftsmengde [m ³ /h/m ²]
Kontorlandskap	1,4	5,0
Møterom 3	1,8	6,5
Multirom 2	2,0	7,2

Det foreslås adaptiv setpunkt for temperaturen til tilluften, som varier mellom 19 °C på vinterstid og 17,5 °C på sommerstid. Driftstiden til anlegget foreslås til klokken 06-19 for å sikre god luftkvalitet gjennom rensyling av luftfiltre og bygningen om morgenen og kvelden. Vedlegg B viser detaljerte data for CAV-anlegget – tabell 10 viser et sammendrag. Lukene er styrt etter samme temperatur og CO₂-nivå som ved naturlig ventilasjon.

Tabell 10: Nøkkeldata for CAV-anlegg.

	Data	Enhet
Luftmengder	1944	m ³ /h
Trykkfall på tilluft/avtrekk	100	Pa
Virkningsgrad varmegjenvinner	85,2	%
SFP	1,12	kW/m ³ /s

3.3.2 Mekanisk ventilasjon

Det foreslås et behovsstyrt mekanisk ventilasjonsanlegg (DCV), som tilfører luftmengder til rom etter behov. Et slik anlegg vil sikre både energieffektiv drift og godt inneklima. Ved et slik forslag vil anlegget stå for all ventilasjonen i bygget. Det er derfor viktig at anlegget prosjekteres med stor kapasitet. Beregninger viser at ventilasjon på grunn av varmetilskudd, vil være dimensjonerende for alle rom på plan 7, og ikke minimumsverdier gitt av TEK17. Aggregatet skal også kunne regulere helt ned til V_{\min} . Sammendrag av tilluftsmengder for de ulike rommene er vist i tabell 11. Vedlegg A inneholder detaljerte beregningene.

Tabell 11: Tilluftsmengder for DCV-anlegg.

Rom	V_{\min} [m ³ /h/m ²]	V_{\max} [m ³ /h/m ²]
Kontorlandskap	1,3	18,3
Møterom 3	1,3	20,8
Multirom 2	1,3	23,0

Tilluftstemperaturen foreslås også her å være adaptiv, som beskrevet i foregående kapittel. Driftstiden til anlegget foreslås til 06-19 for å sikre god luftkvalitet gjennom rensing av luftfiltre og bygningen morgen og kveld. Vedlegg B viser detaljerte data for DCV-anlegget. Tabell 12 viser et sammendrag.

Tabell 12: Nøkkeldata for DCV-anlegg.

	Data	Enhet
Luftmengder	7208	m ³ /h
Trykkfall på tilluft/avtrekk	250	Pa
Virkningsgrad varmegjenvinner	85,7	%
SFP	1,37	kW/m ³ /s

Luften foreslås tilført via omrøringsventiler i himling, mens avtrekk foreslås gjort sentralt på planet med overløftsventiler fra hvert grupperom. Tilluftsmengdene foreslås regulert etter CO₂- og temperaturnivået i sonen, her med maks 1000 ppm og temperatur som ved hybrid og naturlig ventilasjon. Anlegget foreslås utført med både kjøle- og varmebatterier, og med mulighet for nattkjøling.

4 Inneklimasimulering

Dette kapittelet beskriver vurderingene som er gjort av inneklimaet for de tre ulike ventilasjonsprinsippene. Først i kapittelet er simuleringsprogrammet og inn-parameterne forklart. Mot slutten av kapittelet blir vurderingskriteriene og resultatene beskrevet. Diskusjon og hovedresultater er vurdert og beskrevet senere i henholdsvis kapittel 7.1 og 8.1.

4.1 Simuleringsprogram

Det ble tidlig bestemt at simuleringsprogrammet IDA ICE, *IDA Indoor Climate and Energy*, skulle benyttes til å dokumentere inneklimatestelsene. IDA ICE er et dynamisk simuleringsverktøy utviklet av Equa Simulation AB. Programmet bruker ligningsbasert modellering, som medfører at modellen har stor nøyaktighet i simuleringer, i motsetning til tvingende modellering. Dette betyr også at programmet enkelt kan utvides med nye funksjoner, og er i dag et av de mest avanserte og funksjonelle inneklimatestelsene på markedet (Equa, 2021). En annen fordel med IDA ICE er muligheten for BIM-import. Dette gjør det mulig å bygge opp modeller i programmet som er basert på datafiler fra for eksempel arkitekt. En kan dermed oppnå stor nøyaktighet, og hensynta geometrien i bygget i større grad enn hos konkurrerende programmer (ibid.).

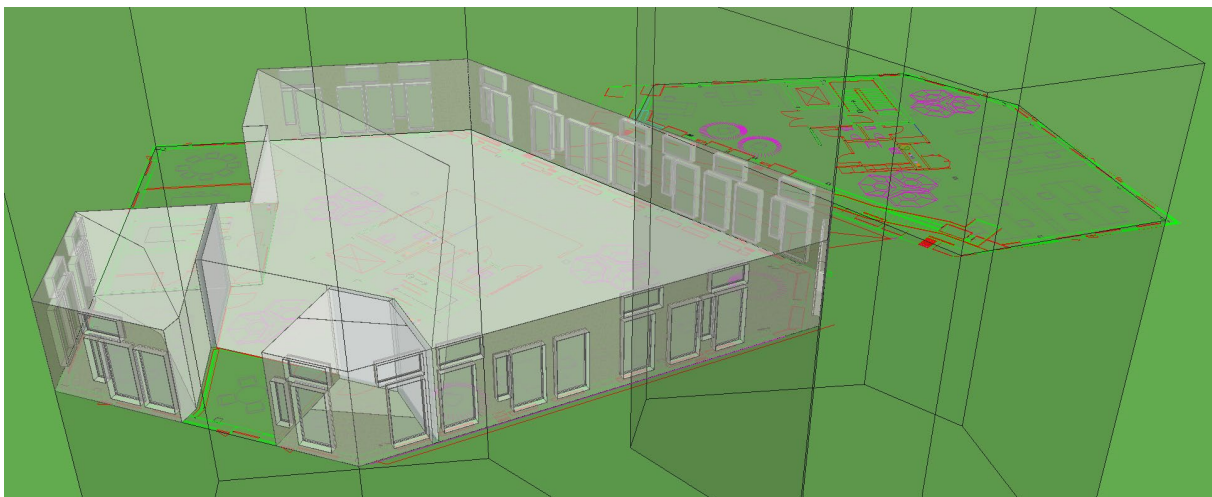
IDA ICE logger flere parametere i simuleringene sine, som temperatur, CO₂ og trekk. Dette kan gjøres for flere punkter i rom og tid. På denne måten skapes et detaljert bilde av inneklimatestet i en oppholdssone. Programmet er validert i henhold til NS-EN 15255:2007 og NS-EN ISO 13791:2004. Dette er standarder som beskriver beregningsgrunnlaget for vurdering av byggets termiske egenskaper og yteevner. Det betyr igjen at bildet som IDA ICE skaper av inneklimatestet har stor validitet.

I denne oppgaven er versjon 5.0 Beta 17 av programmet benyttet, som er en «open beta» av den kommende storoppdateringen av IDA ICE. Det betyr at versjonen er tilnærmet ferdig utviklet, men med forbehold om feil. Gjennom testing hos en større brukerbasis vil en, i tillegg til å få vist fram nye funksjoner, også kunne avdekke uklare feil som et mye mindre testteam ikke ville funnet. I den nye versjonen er blant annet simuleringen av termisk komfort forbedret, og tar nå også hensyn til direkte sollys, lufthastigheter, og luftfuktighet i inneklimatestet.

4.2 Inndata

Tre modeller av bygget er laget i IDA ICE, en for hver av de tre ventilasjonsprinsippene. Figur 17 viser eksempel på en modell. Som beskrevet i kapittel 3.1, er det valgt å fokusere på tre soner. Grunnen er for å avgrense omfanget av oppgaven, men også begrense tiden brukt på selve simuleringen. Simuleringstiden kan ofte øke eksponentielt med størrelsen og detaljen på sonen. GT2A har relativt avansert geometri med ulike vinkler og fasonger på fasaden. Dette er med på å øke simuleringstiden i programmet. Modellen er i stor grad bygd opp i henhold til parametere og informasjon beskrevet i kapittel 3. Vedlegg C viser detaljert dokumentasjon av inndata brukt i IDA ICE-simuleringen for hybrid ventilasjon.

Selve geometrien til modellen er basert på en DWG-fil fra veileder. DWG-filen muliggjør korrekt orientering av bygget og vegger, samt korrekt oppbygging av hver enkelt sone. DWG-filen muliggjør også korrekt plassering av vinduer og luker.



Figur 17: Oppbygd modell i IDA ICE.

Selv om modellen har en høy grad av nøyaktighet, er det gjort noen forenklinger. For eksempel er kontorlandskapet bygd opp som én stor sone. I virkeligheten er landskapet avgrenset av en sentral sone med printerrom, garderobe, toaletter, heis osv. Selv om denne sonen i virkeligheten vil ha litt påvirkning på strømningsbildet i kontorlandskapet, antas påvirkningen så lav at forenklingen ikke skal ha noen innvirkning på resultatene.

En annen forenkling er knyttet til helning på fasaden. Som det framgår av figur 10, har fasadene YV_B1, YV_B2 og YV_B3, en helning innover. Selv om det hadde vært mulig å modellere dette i IDA ICE hadde det ført til økt kompleksitet og simuleringstid i modellene.

En annen forenkling ligger i klimakanoen som er beskrevet i kapittel 3.2.2. Denne løsningen lar seg ikke modellere i IDA ICE, som antageligvis vil påvirke resultatene i negativ retning.

4.2.1 Naturlig ventilasjon

Modellen for naturlig ventilasjon er den enkleste av de tre modellene, og er i stor grad modellen beskrevet i kapittel 3. Den eneste endringer som er gjort, er å automatisere sidelukene slik at disse også kan bli styrt mellom 1. april og 30. september. Dette antas å bedre inn klimaet, uten å omgå den originale tanken bak luftteprinsippene. En slik endring antas også å være akseptabel, da oppgaven ikke tar for seg kostnadsaspektet ved de tekniske løsningene. I henhold til kapittel 3.2.2, var dette utgangspunktet for å utføre sidelukene manuelle. Selve luftlukene er lagt inn som vinduer i IDA ICE for å få sikre automasjonen. Lukene har da fått $U\text{-verdi} = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ og $\text{lystransmisjon} = 0,01$.

4.2.2 Hybrid ventilasjon

Den hybride ventilasjonsmodellen tar utgangspunkt i modellen for naturlig ventilasjon, men med innslag av mekanisk ventilasjon i henhold til foreslått løsning i kapittel 3.3.1. For grupperommene blir ventilasjonen tilført med tilluftsventiler på innerveggen. Dette skyldes manglende støtte i IDA ICE for omrøringsventiler. Tilluftsventilene er lagt 0,6 meter under himlingen. Ventilene har blitt lagt inn med en $K\text{-verdi} = 0,01$ for å simulere en så ujevn stråle som mulig. Antall ventiler varierer etter behovet for aktuell sone.

4.2.3 Mekanisk ventilasjon

Selv om det mekaniske ventilasjonsanlegget også er foreslått med omrøringsventiler, blir tilluften modellert som bakkantinnblåsning. Som ved hybrid ventilasjon, blir ventilene lagt inn i veggen på grupperommene og under himling i kontorlandskapet. Selv om dette ikke vil gi det mest korrekte strømningsbildet antas det som en akseptabel forenkling. En annen endring ved den mekaniske modellen er sletting av luftlukene. Disse brukes kun sammen med naturlig og hybrid ventilasjon, og har derfor ingen funksjon for denne modellen. Det er ikke lagt inn nattkjøling inn i den mekaniske modellen under simulering av inn klimaet. Antall ventiler varierer etter behovet for aktuell sone.

4.3 Vurderingskriterier og gjennomføring

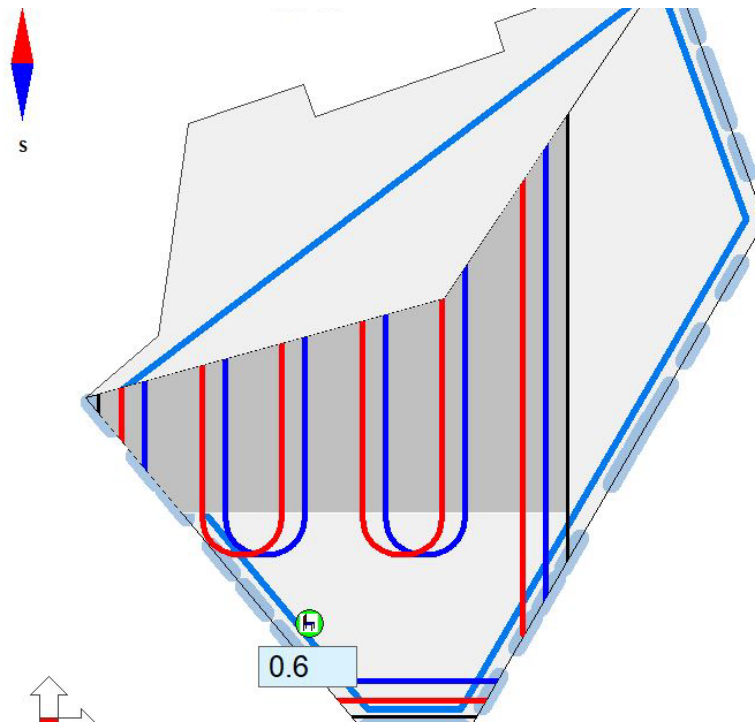
For vurdering av inneklimate er det valgt å gjennomføre tre simuleringer for de ulike ventilasjonsmodellene: vintersimulering, sommersimulering og årssimulering. Slik vil en kunne vurdere både inneklimate som helhet gjennom året, samt vurdere klimaet på et mer detaljert plan på de varmeste og kaldeste dagene. For vinter- og sommersimulering er det valgt å se på dagene som har den laveste og høyeste temperaturen i henhold til klimafilen: 9. januar og 28. juli. Selve klimafilen er utarbeidet av Erichsen & Horgen og Norsk Standard, og dokumenterer klimadata for Blindern i 2015 i henhold til NS3031.

IDA ICE muliggjør analyse av flere ulike faktorer som kan knyttes til termisk komfort og hvordan mennesker opplever inneklimate. Selv om inneklimate omfatter flere variabler, er det valgt å undersøke parameterne:

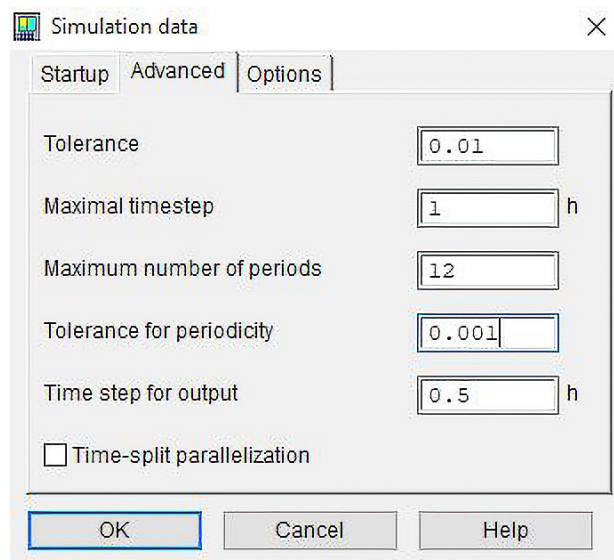
- Lufttemperaturen
- Luftbevegelser og lufthastighet
- Operativ temperatur
- PPD-indeks
- CO₂-nivå
- Termisk komfort iht. EN 15251

Analysen har tatt utgangspunktet i både gjennomsnittlige numeriske resultater for hele rommet, men også grafiske vurderinger av oppholdssonen i rommet. Oppholdssonene har blitt lagt inn i IDA ICE i henhold til anbefalingene fra SINTEF Byggforsk, som foreslår at sonen begrenses horisontalt av gulvet og et plan 1,8 meter over gulvet (Byggforsk, 2017). Sonen dekker hele rommet, bortsett fra en sone langs veggene på 0,6 meter - majoriteten av tiden til personer tilbringes her. På grunn av kontorlandskapets størrelse, og for å spare simuleringstid i IDA ICE, er sonen lagt inn som et litt smalere felt, som vist i figur 18.

Faktorer som operativ temperatur og trekk blir i IDA ICE beregnet ut ifra posisjonen til brukeren, vist som grønt i figur 18. Posisjonen til brukeren er derfor satt til nærheten av vinduene og luftlukene for å skape et realistisk bilde av inneklimate ved årssimulering. Selv om PPD-indeksen er utarbeidet av PMV, og inneholder flere variabler som lufttemperatur og trekk, er det valgt å også vurdere disse alene da disse parameterne er de vanligste årsakene til misnøye med inneklimate (Standard Norge, 2005).



Figur 18: Analysesone i kontorlandskapet.



Figur 19: Simuleringsinnstillinger i IDA ICE.

Simuleringssonene har blitt vurdert med en oppløsning på 1x1x1 meter og 0,5 timer.

Simuleringsinnstillingene er relativt konservative, som vist i figuren over. Dette er med på å sikre så gode resultater som mulig. Dette bidrar også til å øke simuleringshastigheten, da programmet, med så komplekse modeller som ved GT2A, vil kunne slite med å finne løsninger til modellen. Det er huket av for 14 dagers dynamisk «start up». Dette gjøres for å sikre at modellen er i *likevekt* før selve simuleringen starter.

4.4 Resultater årssimulering

Resultatene av årssimuleringen for de ulike ventilasjonsprinsippene følger i dette delkapittelet. For årssimuleringen er det blant annet valgt å fokusere på den operative temperaturen gjennom året. Det er også valgt å se på CO₂-nivået og PPD-indeksen for samme periode. Dette gjøres for å få et overblikk over inneklimaytelsene gjennom et simuleringsår.

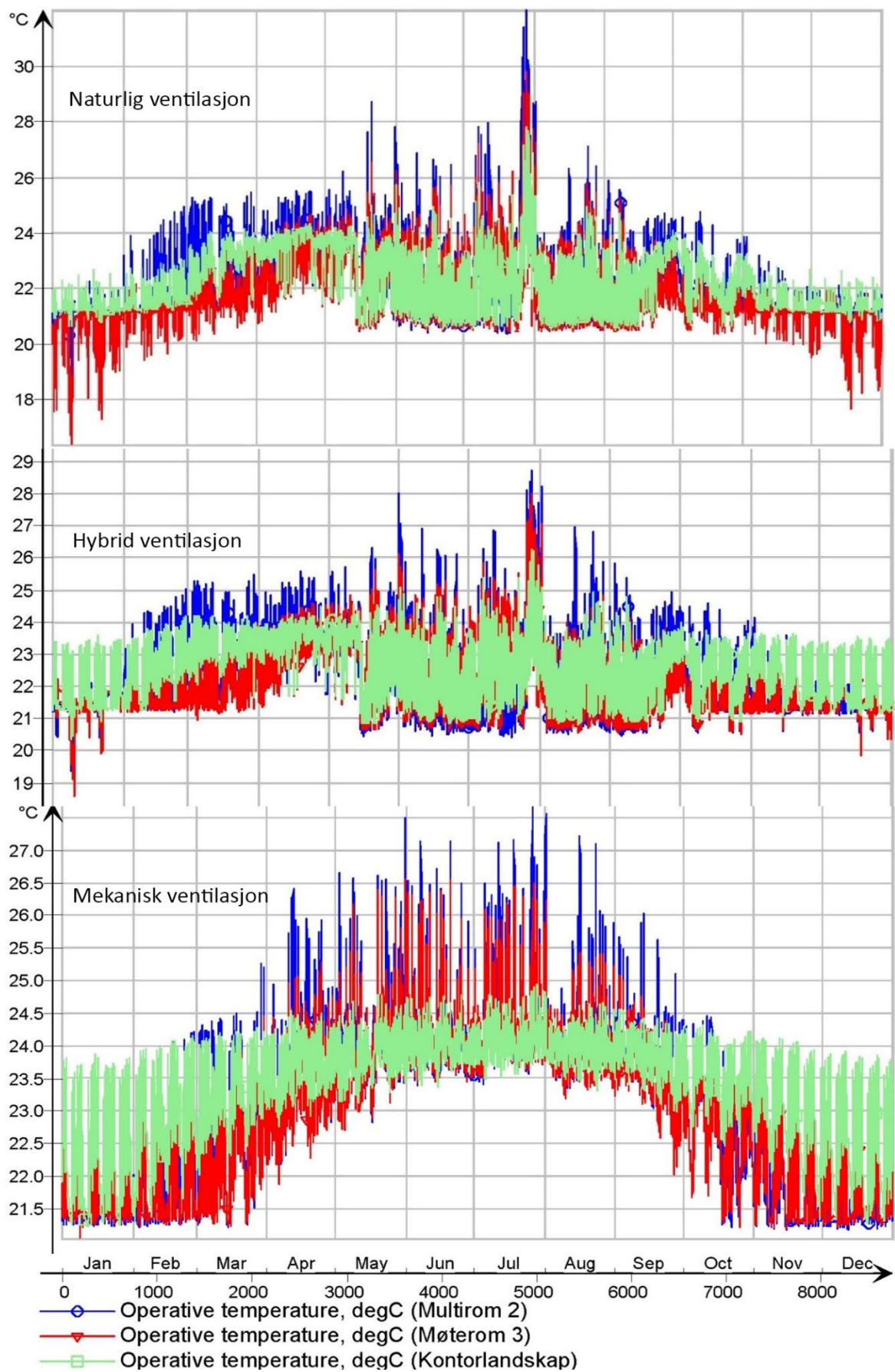
4.4.1 Operativ temperatur

Figur 20 viser hvordan den operative temperaturen utvikler seg gjennom året i sonene med ulike ventilasjonsprinsipper. Selv om den operative temperatur stort sett er innenfor området 19-26 °C gjennom hele året, vil en likevel kunne oppleve en operativ temperatur utenfor dette området både sommer og vinter. Dette varierer ut ifra sone og ventilasjonsprinsipp. Mekanisk ventilasjon har en relativt stabil og sikker drift gjennom hele året. Gjennom analyser av varighetsdiagrammet for sonene som hensyntar driftstider, vil en se hvor mange timer den operative temperaturen er over eller under 19-26 °C – sammendrag er vist i tabell 13. Mekanisk ventilasjon har 0 timer utover grenseverdiene i alle soner.

Fra figur 20 kan en se at naturlig ventilasjon har de største svingningene i temperatur gjennom året. Naturlig ventilasjon har også de høyeste og laveste operative temperaturene. Ved naturlig ventilasjon har en både timer under og over 19-26 °C. Om sommeren er multirom 2 mest utsatt, mens multirom 3 er mest utsatt vinterstid. Hybrid ventilasjon presterer noe mer stabilt enn naturlig ventilasjon, men vil også ha flere utslag og timer utenfor 19-26 °C.

Som beskrevet i kapittel 2.2.1 kan den operative temperaturen være høyere enn 26 °C inntil 50 timer i året, mens den lavere grensen på 19 °C er et absoluttkrav. Av tabell 13 ser en at alle soner og prinsippene oppfyller 50-timerskravet. Ved naturlig og hybrid ventilasjon vil de små sonene slite med å holde seg over 19 °C, selv om hybrid har markant færre timer under dette punktet, sammenlignet med naturlig ventilasjon. Felles for naturlig og hybrid ventilasjon er at det store kontorlandskapet greier å holde seg over 19 °C.

Merk at ventilasjonsaggregatene ved hybrid og mekanisk ventilasjon ikke tillater nattkjøling eller frikjøling i modellen, og vil derfor skape enkelte større temperaturutslag utenfor driftstidene gjennom året.



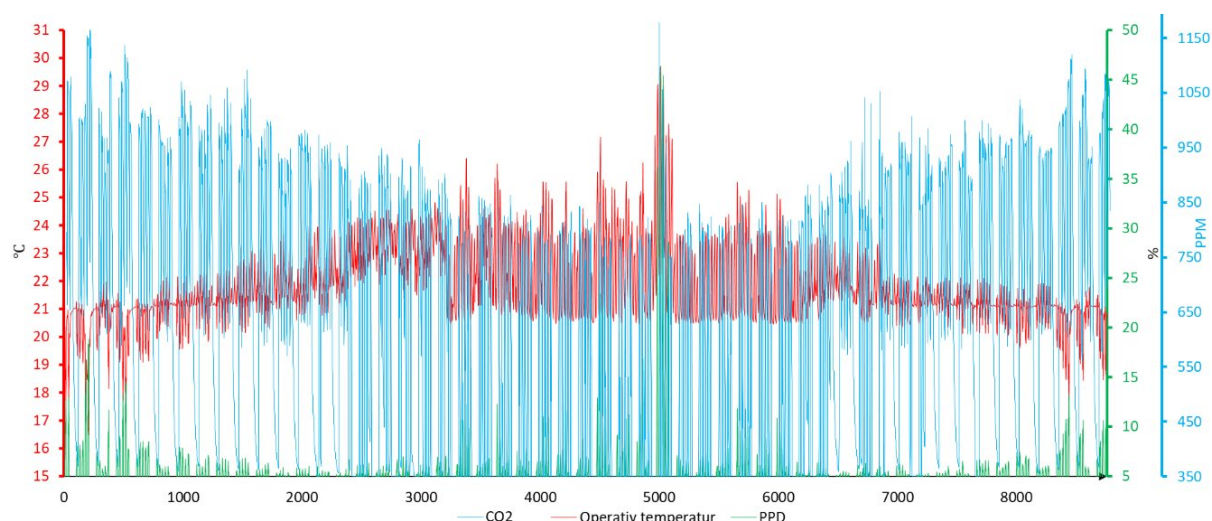
Figur 20: Operative temperaturer gjennom året.

Tabell 13: Timer utenfor anbefalt operativ temperatur.

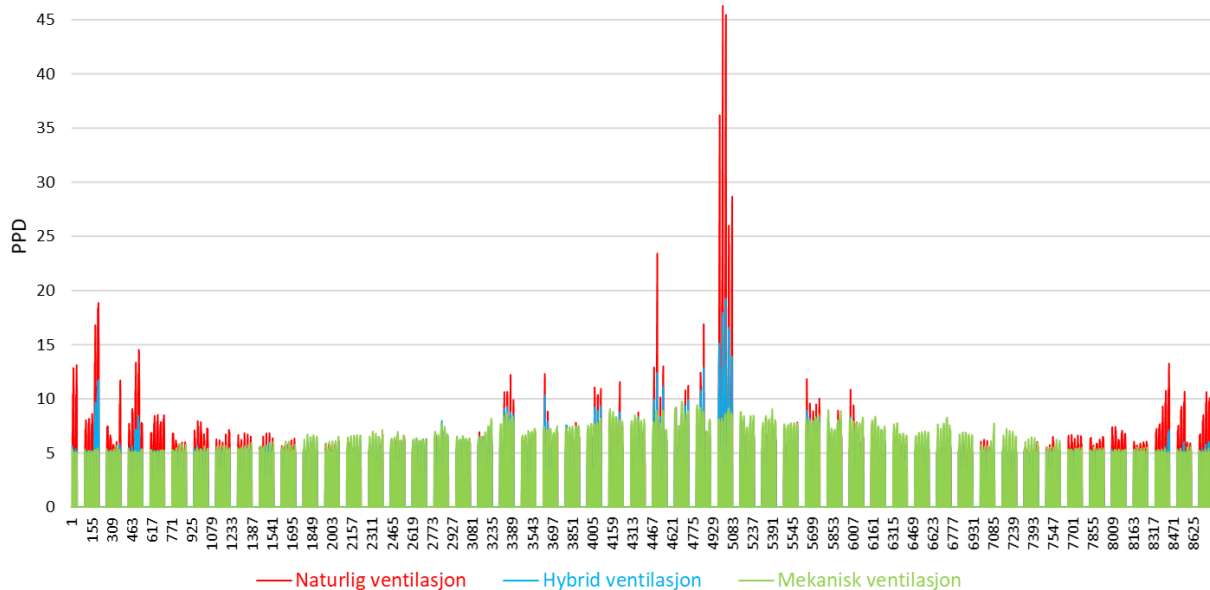
Prinsipp	Sone	Timer		Maks/min
		$T_{opr} > 26\text{ °C}$	$T_{opr} < 19\text{ °C}$	$T_{opr} [\text{°C}]$
Naturlig	Kontorlandskap	23,2	0	27,8/20,5
	Møterom 3	33,8	80,8	29,7/16,5
	Multirom 2	45,6	3,1	32,0/18,6
Hybrid	Kontorlandskap	2,9	0	26,3/20,3
	Møterom 3	13,6	11,3	28,0/18,6
	Multirom 2	32,3	0	30,2/19,1
Mekanisk	Kontorlandskap	0	0	22,5/24,5
	Møterom 3	0	0	21,5/24,5
	Multirom 2	0	0	21,3/24,6

4.4.2 PPD-indeks

Ved å lage et diagram som viser den operative temperaturen og CO₂-nivået i møterom 3 vist i figur 21, og sammenligner den med makroen vist i figur 15 på side 35, ser en at det i vinterperioden vil være CO₂ som jobber for den største lukeåpningen, mens det i sommersesongen vil være temperaturnivået som vil være styrende. Altså, luftmengdene og luftelukene styres etter CO₂ om vinteren og temperatur om sommeren. I figuren kan en også se hvordan PPD-indeksen varierer gjennom året for samme rom. Selv om variasjonen vil ligge innenfor 10 % i store deler av året, vil en på kritiske dager om vinteren kunne oppleve utslag opp mot 15-20 %. På kritiske sommerdagene vil en kunne få PPD opp mot 40-50 %.



Figur 21: CO₂, Topr og PPD i møterom 3 ved naturlig ventilasjon.



Figur 22: PPD-indeks gjennom året i møterom 3.

Ved å sammenligne PPD-indeksen i møterom 3 for de ulike ventilasjonsprinsippene, vist i figur 22, ser en utslaget på komforten ved å gå fra naturlig til hybrid ventilasjon, og videre til mekanisk. Med hybrid ventilasjon vil en ha et mer stabil PPD-nivå gjennom hele året, sammenlignet med naturlig ventilasjon – de største utslagene uteblir. Med mekanisk ventilasjon vil PPD-nivået holde seg under 10 % gjennom hele året.

Tabell 14: PPD-oppsummering for årssimulering.

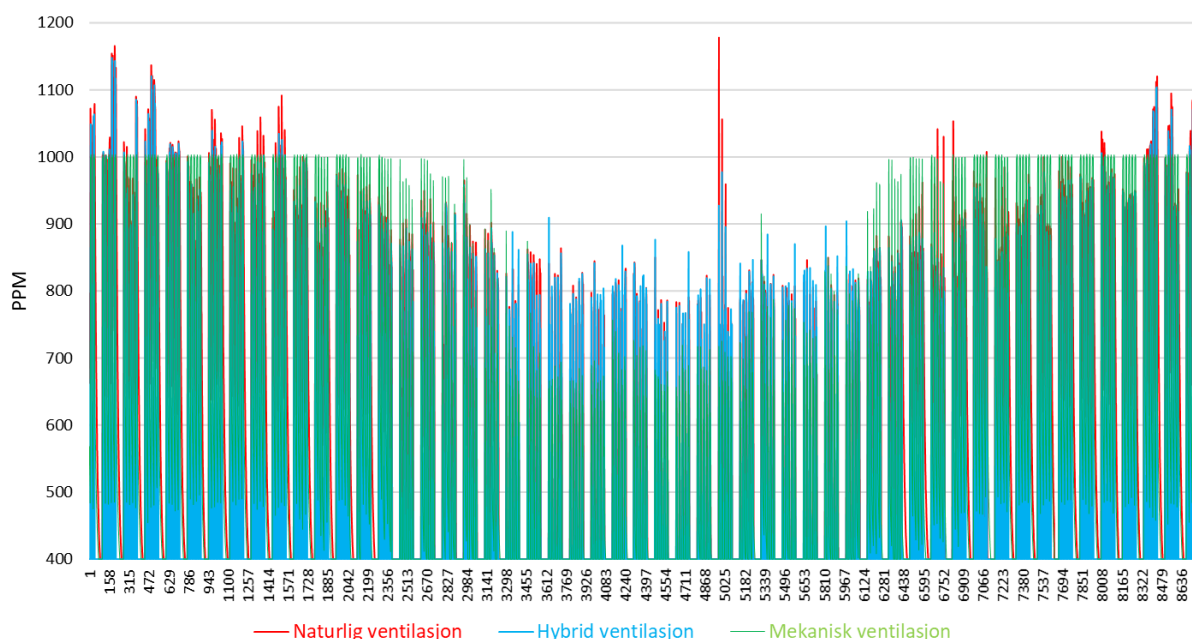
Prinsipp	Sone	Timer PDD > 10 %	Timer PDD > 15 %	Maks PPD [%]
Naturlig	Kontorlandskap	46,1	26,0	30
	Møterom 3	143,0	43,4	46,3
	Multirom 2	88,6	41,6	77,8
Hybrid	Kontorlandskap	26,8	1,0	15,8
	Møterom 3	54,2	12,6	18,7
	Multirom 2	69,4	28,4	42,9
Mekanisk	Kontorlandskap	0,0	0,0	9,5
	Møterom 3	0,0	0,0	9,8
	Multirom 2	0,0	0,0	9,9

Oppsummering av ytelsene knyttet til PPD-indeksen er vist i tabell 14, basert på analyse av varighetsdiagrammer. Igjen presterer mekanisk ventilasjon best, etterfulgt av hybrid ventilasjon, basert på numeriske resultatene i samme tabell. Merk at ved naturlig ventilasjon har møterom 3 flest timer over 10 %, selv om multirom 2 har den høyeste PPD-verdien.

De termiske komfortberegningene i IDA ICE iht. NS-EN 15251, beskrevet i 2.2.4, viser også hvordan inneklimate preseterer. Sammenlignet med PPD-indeksen for naturlig ventilasjon, er sonen innenfor forventningsnivåene 1-3 i 99,93 % av okkupertimene, tross store utslag på PPD-indeksen og flere timer utenfor 10 % og 15 %. Vedlegg D inneholder beregninger, merk at IDA ICE oppgir antall timer som okkupertimer (produkt av antall driftstimer og antall brukere). For hybrid ventilasjon er det bare multirom 2 som ikke er innenfor forventningsområdet 1-3, med 5 driftstimer i året. Med mekanisk ventilasjon er alle sonene innenfor forventningsområdene 1-3 gjennom hele året.

4.4.3 CO₂-nivå

CO₂-nivået varierer ulikt gjennom året ut fra ventilasjonsprinsippet, vist i figur 23 for møterom 3. Hvor mekanisk ventilasjon ikke går utover 1000 ppm, går hybrid og naturlig ventilasjon utover denne grensen. I starten av året kan en se at det hybride ventilasjonsanlegget ikke greier å senke CO₂-nivået i noen stor grad. Utover dette varierer CO₂ i tilnærmet samme takt gjennom året for de ulike prinsippene.



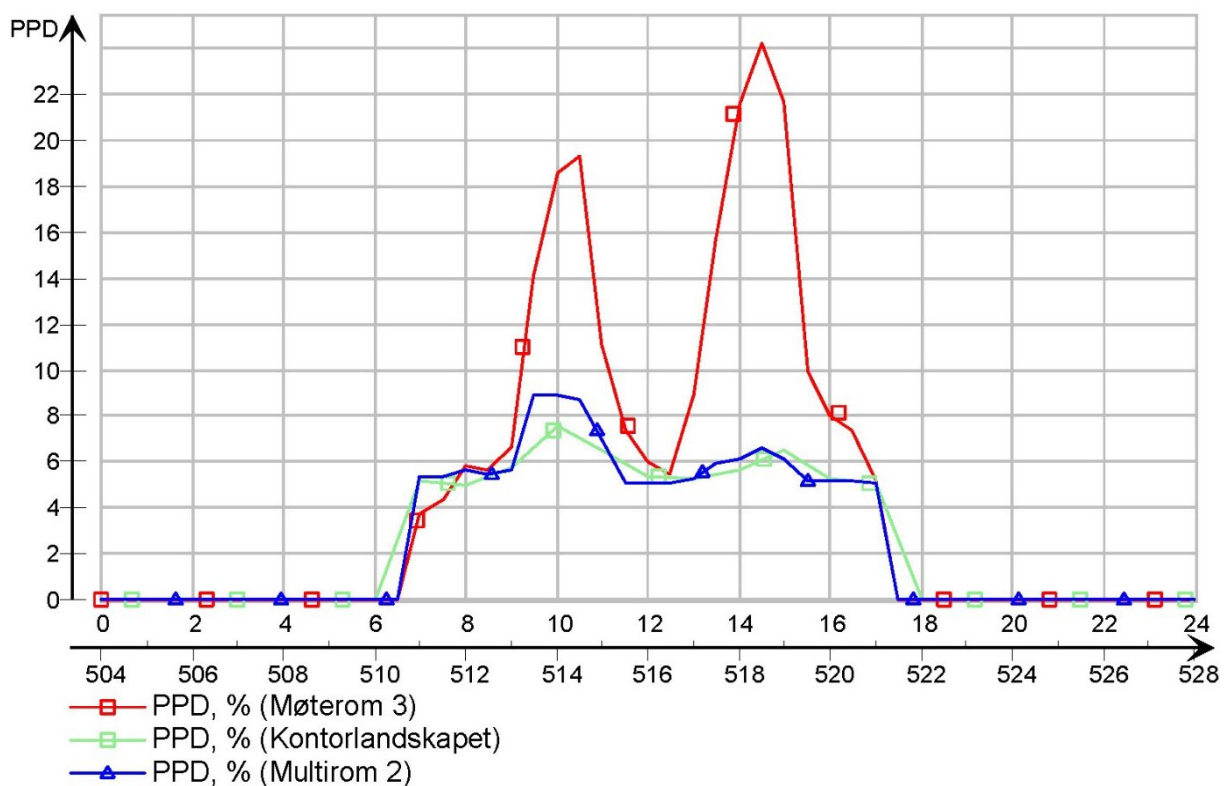
Figur 23: CO₂-nivået i møterom 3 gjennom året.

4.5 Resultater vintersimulering

Resultatene av vintersimulering for de ulike ventilasjonsprinsippene presenteres i dette delkapittelet. For vintersimulering er det valgt å undersøke parametere som lufthastighet, operativ temperatur, PPD-indeks, samt CO₂-nivå. Dette gjøres for å forstå problematikken knyttet til termisk komfort i oppholdssonen på kalde dager. Numeriske så vel som grafiske resultater vurderes i dette kapittelet.

Ved vintersimuleringer i IDA ICE er det mulig å simulere med syntetisk værdata eller med data fra klimafilen. For denne oppgaven er det valgt å simulere med værdata fra klimafilen. Som beskrevet i kapittel 4.3, er det valgt å simulere over den kaldeste dagen iht. klimafilen – 22. januar 2015. Det er valgt å se på kun på én dag for å begrense simuleringstiden.

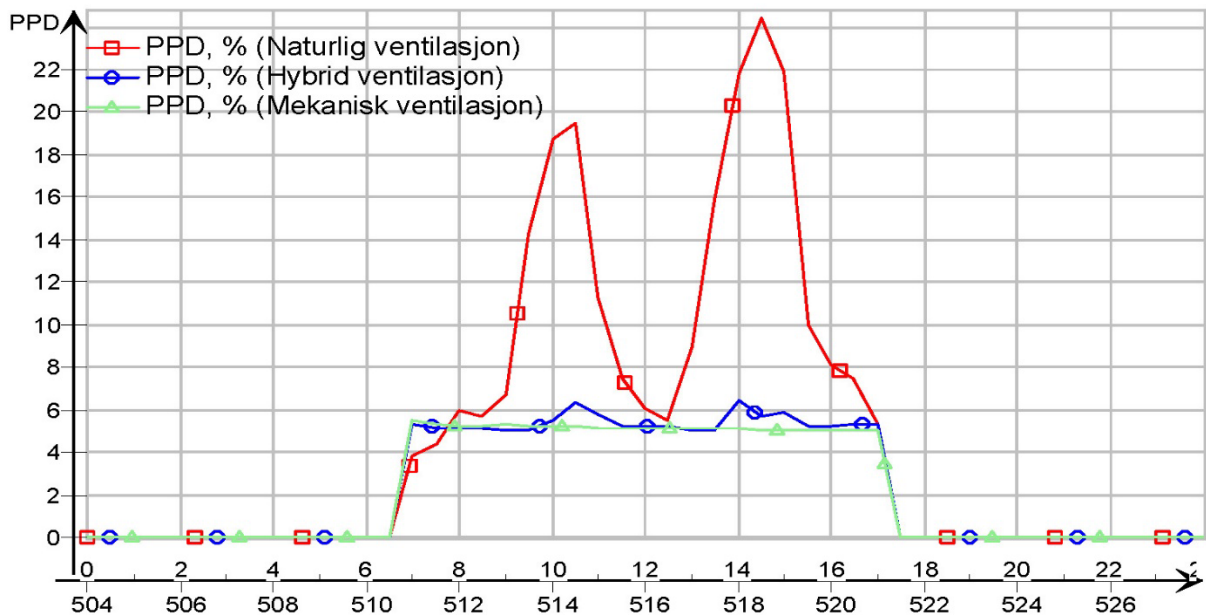
Som figur 20 viste, er det møterom 3 som opplever de kaldeste temperaturene uavhengig av ventilasjonsprinsipp. Dette styrkes av figur 24, som viser PPD-indeksen for de ulike sonene med naturlig ventilasjon. Hovedfokus i dette kapittelet vil derfor være på dette møterom 3. Resultater fra de andre rommene vil presenteres der det vil være hensiktsmessig.



Figur 24: PPD-indeks for alle soner med naturlig ventilasjon.

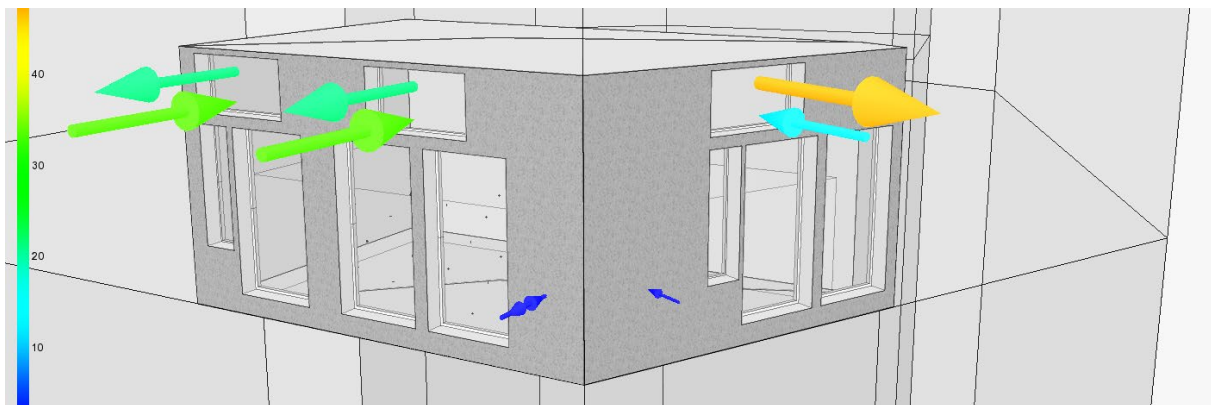
4.5.1 PPD-indeks

Figur 25 viser hvordan PPD-indeksen endrer seg gjennom vintersimuleringen for de ulike ventilasjonsprinsippene i møterom 3. Med naturlig ventilasjon vil en kunne få store svingninger gjennom dagen, og få en maksimal PPD over 24 %. Hybrid ventilasjon vil gi en mer stabil situasjon, ikke bare i møterom 3, men i alle rom. Med hybrid ventilasjon vil en videre kunne oppleve en maksimal PPD opp mot 7 %.

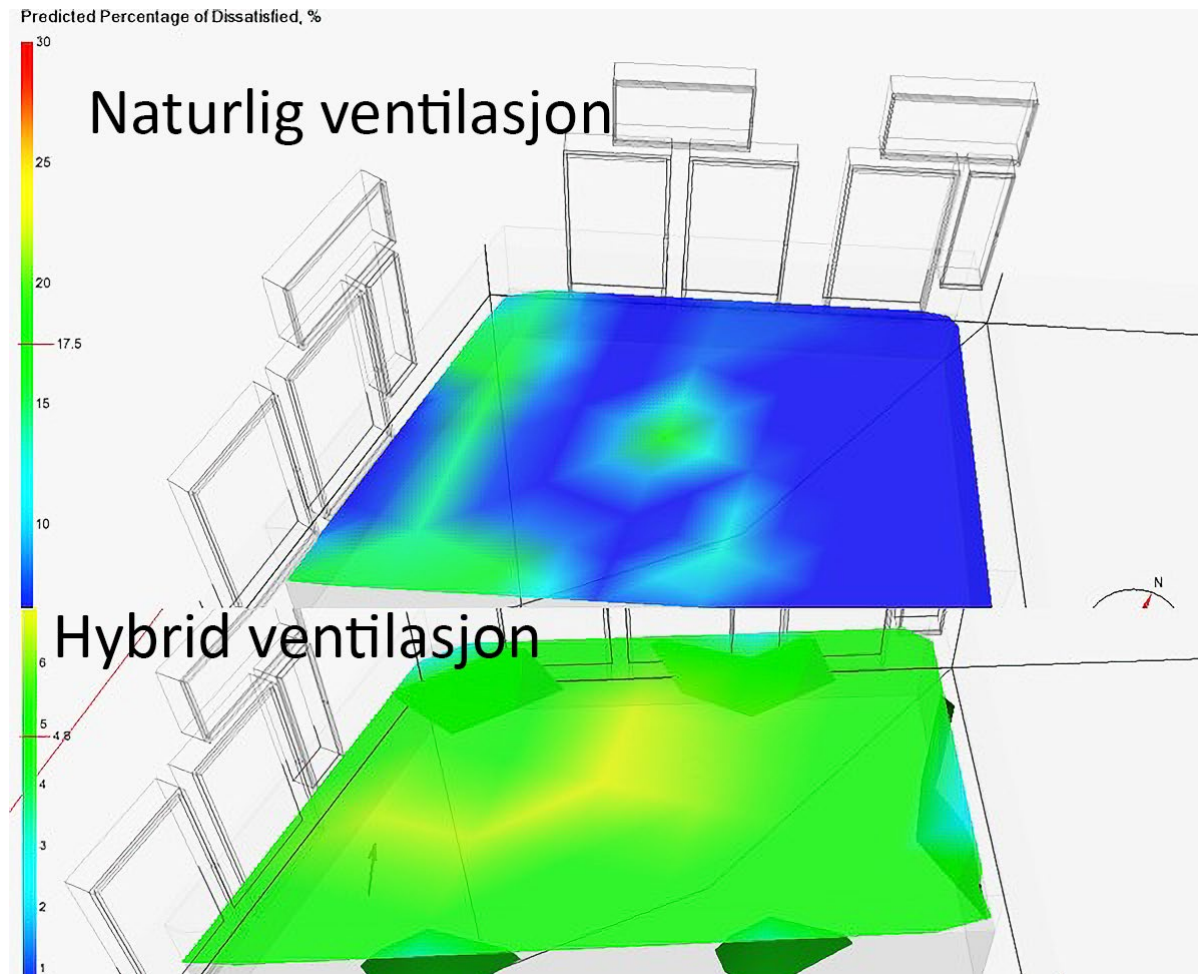


Figur 25: PPD-indeks for møterom 3.

Hvor i rommet PPD-indeksen slår ut varier mellom sonene, men er i større grad knyttet til fasaden ved vintersimuleringer. Figur 27 viser eksempel på hvordan en, ved å bytte fra naturlig til hybrid ventilasjon, kan en få færre steder med høy fare for misnøye. Ved naturlig ventilasjon vist i figur 27, oppstår det største luftskiftet i lukene langs fasaden YV_A5, som vist i figur 26. Dette kan tyde på den kalde luften i rommet dras dit.



Figur 26: Luftbevegelser i møterom 3 ved naturlig ventilasjon.

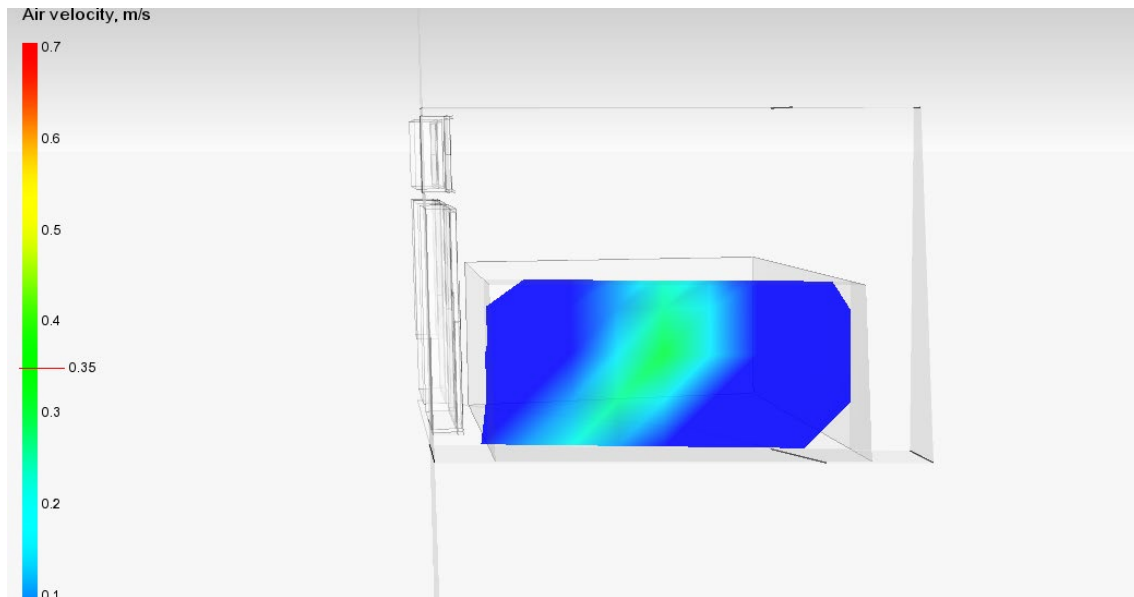


Figur 27: PPD i møterom 3.

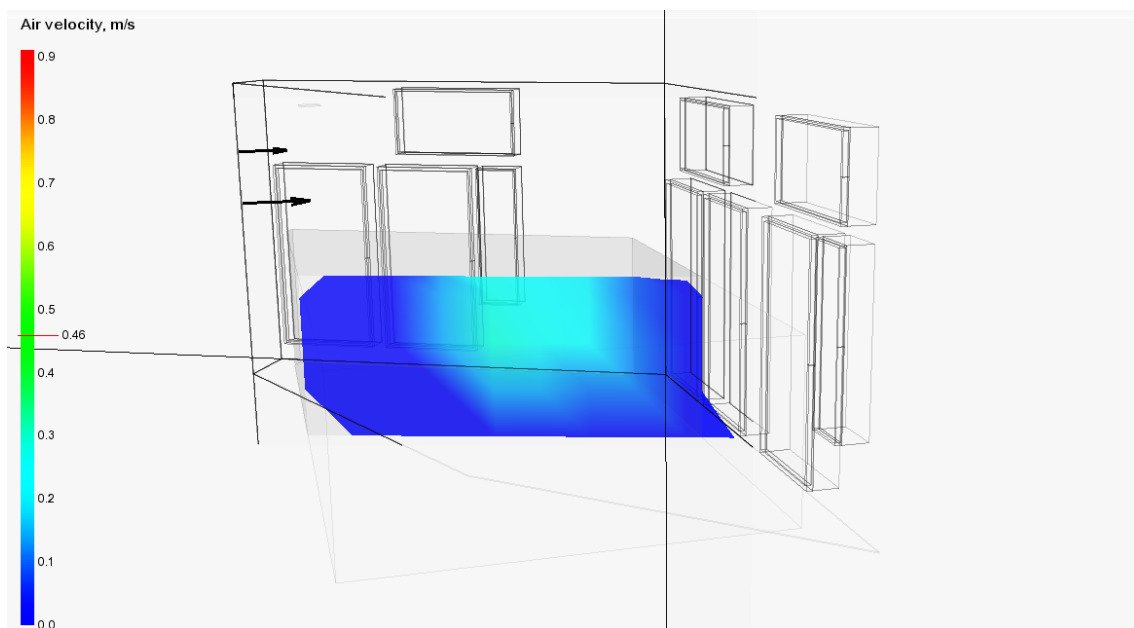
4.5.2 Lufthastighet

Som beskrevet i kapittel 2.3 og 2.4, er et kjent problem med naturlig ventilasjon faren for høye lufthastigheter og ubehag på grunn av dette om vinteren. Figur 28 viser hvordan luften kommer inn og faller langs gulvet og skaper hastigheten her, før den stiger opp langs og rundt brukeren i rommet. Ved naturlig ventilasjon kan en få hastigheter opp mot 0,3-0,4 m/s. Dette stemmer godt med hvordan luften kommer inn langs YV_A6 og faller, før den varmes opp og luftes ut gjennom YV_A5.

I møterom 3 med hybrid ventilasjon reduseres faren for de store hastighetene, vist i figur 29. Her reduseres hastigheten til maksimal 0,2 m/s. Hastigheten er også litt jevnere fordelt rundt brukeren. Ved mekanisk ventilasjon reduseres hastigheten til rundt 0,15 m/s, vist i Vedlegg E.



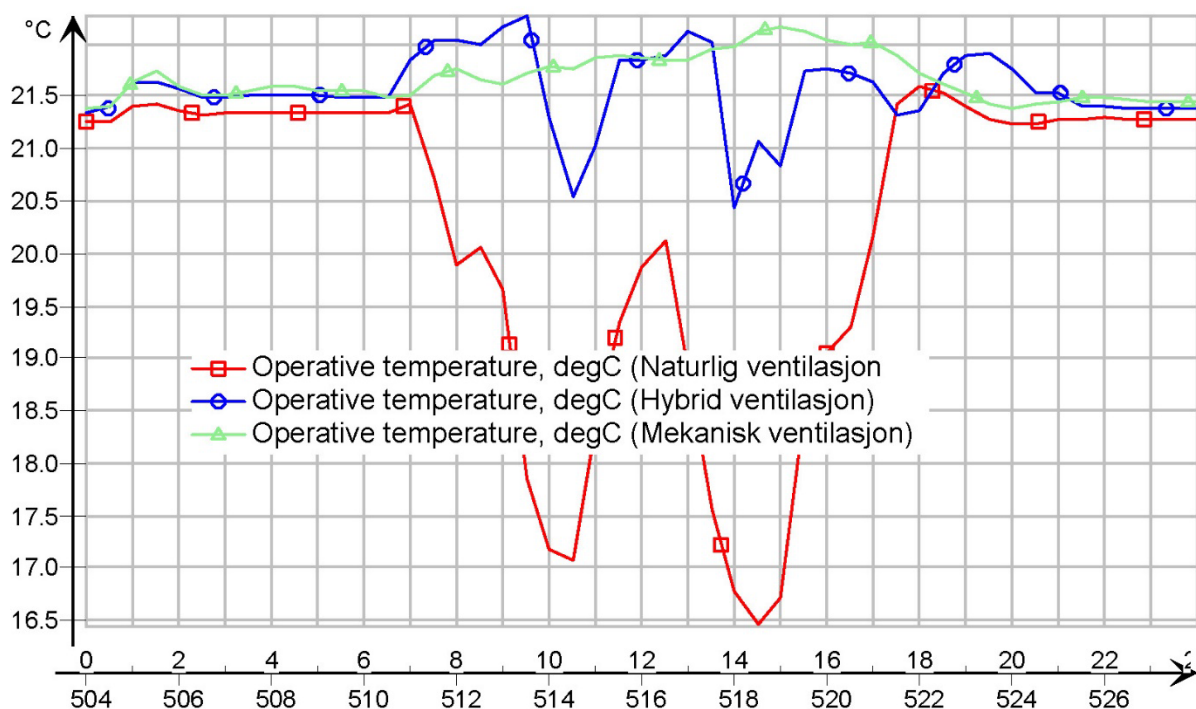
Figur 28: Lufthastighet i møterom 3 ved naturlig ventilasjon.



Figur 29: Lufthastighet i møterom 3 ved hybrid ventilasjon.

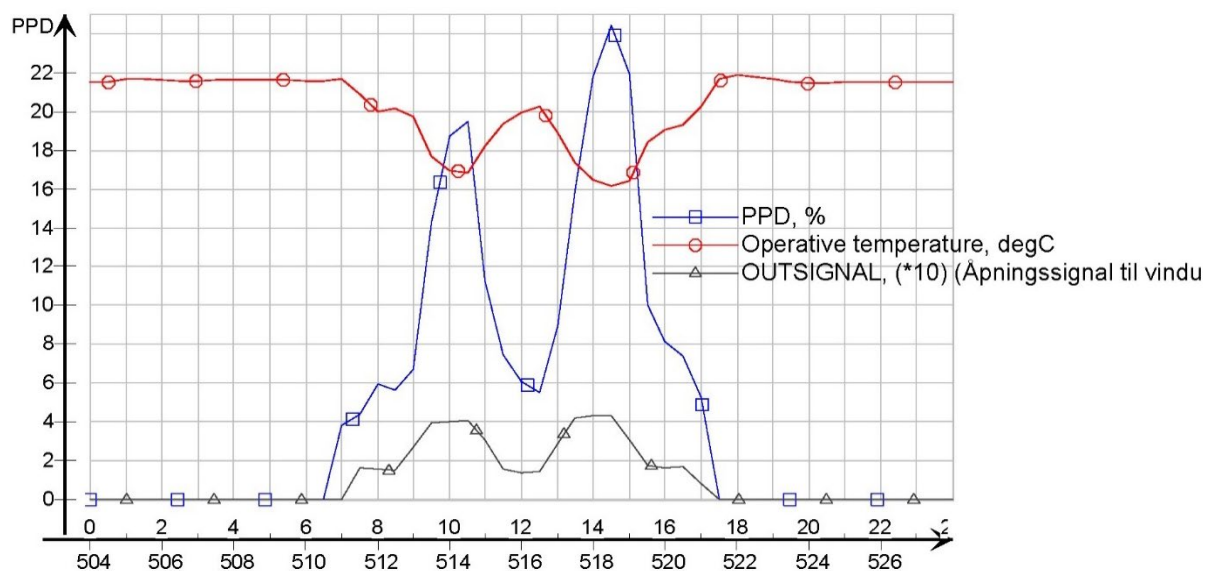
4.5.3 Temperatur

Figur 30 viser hvordan den operative temperaturen for de ulike ventilasjonsprinsippene endrer seg i løpet av en vinterdag i møterom 3. Mens hybrid og mekanisk ventilasjon har en temperaturer på over 19 °C gjennom hele dagen, kan en av figur 30, se at temperaturer beveger ned på mot drøye 16 °C ved naturlig ventilasjon. De daglige temperatursvingningene er størst ved naturlig ventilasjon. Her kan en få daglige svingninger opp mot 5 °C. Mekanisk og hybrid ventilasjon har en mer stabil drift, med daglige svingninger på rundt 1-2 °C.



Figur 30: Operativ temperatur i møterom 3.

Fra figur 31 kan en se hvordan PPD-indeksen endrer seg i møterom 3 ved naturlig ventilasjon når den operative temperaturen synker gjennom dagen. Operativ temperatur begynner å synke så fort arbeidsdagen starter fordi CO₂-nivået stiger som dermed regulerer åpningssignalet til luftelukene. Merk at åpningssignalet er representert med en faktor på 10.

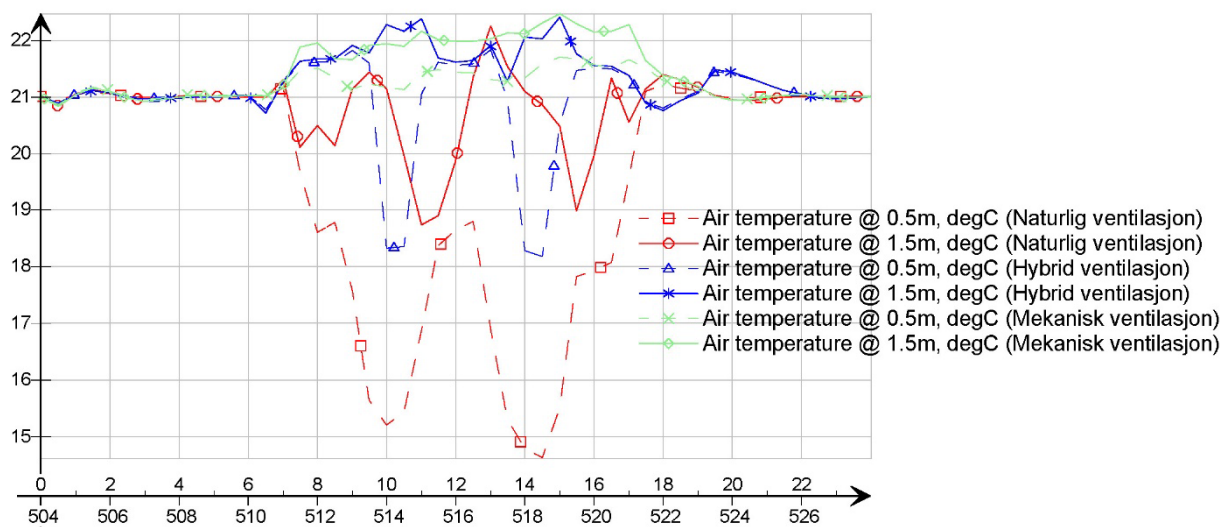


Figur 31: PPD, CO₂, Topr og åpningssignalet i møterom 3 ved naturlig ventilasjon.

Med direkte tilluft fra utendørs om vinteren, kan temperaturforskjellen mellom ankel og hode bli et problem, altså temperaturforskjellen mellom 0,1 og 1,1 meter over bakken (m.o.b).

Figur 32 viser temperaturforskjellen mellom 0,5 og 1,5 m.o.b i møterom 3. Figuren viser at en kan få en temperaturforskjell på 5-6 °C ved naturlig ventilasjon. En kan forvente en lignende gradient i multirom 2. I kontorlandskapet vil gradienten vil ligge på rundt 4 °C.

Av samme figur kan en også se at hybrid og mekanisk ventilasjon igjen yter mer stabilt, sammenlignet med naturlig ventilasjon. Figuren viser temperaturforskjellen mellom 0,5 og 1,5 m.o.b. i møterom 3 med hybrid ventilasjon. Figuren viser at en kan få en temperaturforskjell opp mot 3,5 °C. I kontorlandskapet vil maksimal temperaturforskjellen i høyden være på ca. 2 °C. Med mekanisk ventilasjon har kontorlandskapet den største temperaturforskjellen i høyden. Sonen kan oppleve en temperaturforskjell på 1,5 °C mellom 0,5 og 1,5 meter over bakken. De små sonene opplever en lavere temperaturforskjell med en forskjell på ca. 1 °C mellom lagene.

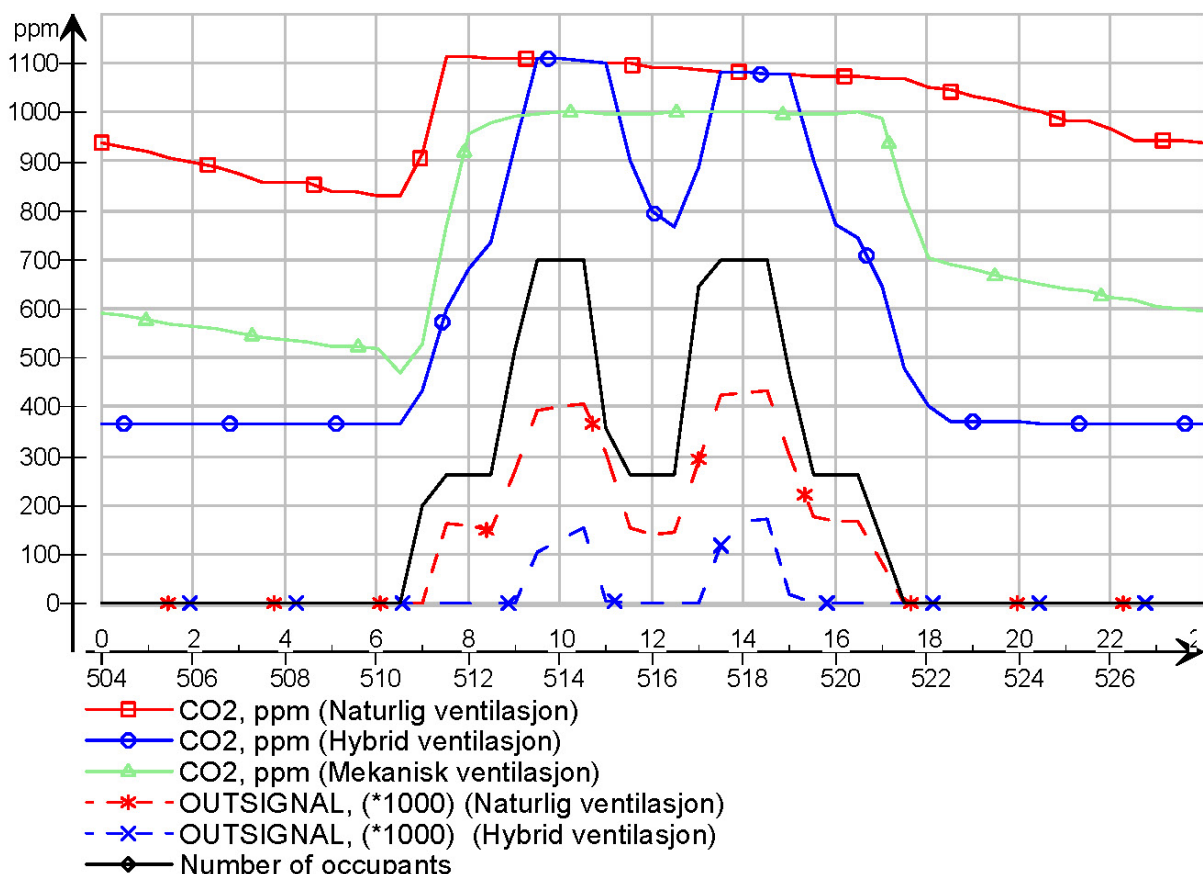


Figur 32: Temperatur per lag i møterom 3.

Som beskrevet i kapittel 4.5.1 og 4.5.2, om hvordan PPD-indeksen og hastigheten fordeler seg i rommet mot YV_A5, forekommer dette også med temperaturen. Vedlegg E viser at den kaldeste luften er mot YV_A5, mens luften er varmere lengre inn i rommet fra denne veggen. Dette stemmer godt med beskrivelsen i kapittel 4.5.1, at luften kommer inn via YV_A6, før den beveger seg i retning av YV_A5, uten at den blander seg skikkelig med resten av rommet.

4.5.4 CO₂-nivå

Figur 33 viser hvordan CO₂-nivået endrer seg i møterom 3 ved de forskjellige ventilasjonsprinsippene, sammen med åpningssignalet til luftelukene (i stiplet linje). Merk at åpningssignalene er representert med en faktor på 1000. Som tidligere beskrevet, styres ventilasjon etter maksimalt CO₂-nivå om vinteren. Dette tydeliggjøres av figur 33, som viser hvordan en lar nivået stige til maksimalt setpunkt ved naturlig ventilasjon, før luftelukene åpnes. Lukene reguleres akkurat nok til å holde nivået under maksimalt ønsket nivå. Utsignal til luftelukene ved naturlig ventilasjon ligner derfor i stor grad på bruksmønsteret til brukerne, vist som svart linje i samme figur. For hybrid ventilasjon greier CAV-anlegget å ta unna en del av CO₂-stigningen i rommet, som forsinker åpningssignalet til lukene. Størrelsen på signalet reduseres også da behovet ikke er like stort på grunn av mekanisk tilført luft. Ved «lunsj-tider» midt på dagen vil det hybride anlegge greie å drifte rommet alene, det fører til at åpningssignalet går mot 0. For det mekaniske ventilasjonsanlegget tilføres det – som ved naturlig ventilasjon – akkurat nok luft til å holde seg innenfor ønskede setpunkt.



Figur 33: CO₂-nivå i møterom 3.

4.6 Resultater sommersimulering

Resultatene av sommersimulering for de ulike ventilasjonsprinsippene følger i dette delkapittelet. For sommersimuleringen er det også valgt å se på operativ temperatur, lufthastigheter og PPD-indeks. Dette gjøres for å forstå problematikk knyttet til termisk komfort i oppholdssonen på varme sommerdager. CO₂-nivået er ikke vurdert, det er tidligere vist at inneklimate reguleres etter temperaturen om sommer. CO₂-nivået antas derfor å være under kontroll.

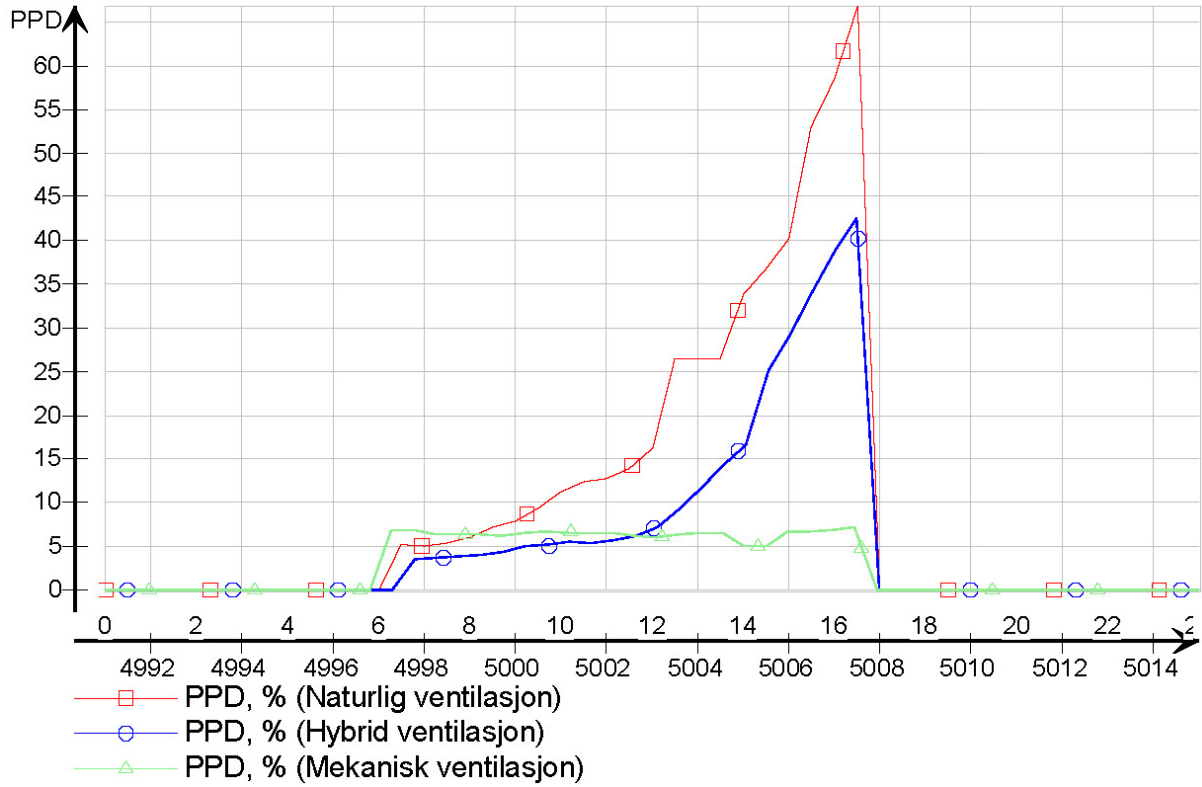
Under sommersimulering i IDA ICE er den lokale klima-filen benyttet. Som beskrevet i kapittel 4.3, er det valgt å simulere over den varmeste dagen iht. klimafilen – 28. juli 2015, dette for å begrense simuleringstiden. Numeriske så vel som grafiske resultater er vurdert.

Forventet misfornøyde er relativt høye for alle soner i sommersimuleringen med naturlig ventilasjon. Basert på kapittel 4.4.1 og figur 20, hvor det var multirom 2 som hadde de høyeste operative temperaturene, vil hovedfokus i dette kapittelet derfor være på multirom 2. Resultater fra de andre rommene vil presenteres der det vil være hensiktsmessig.

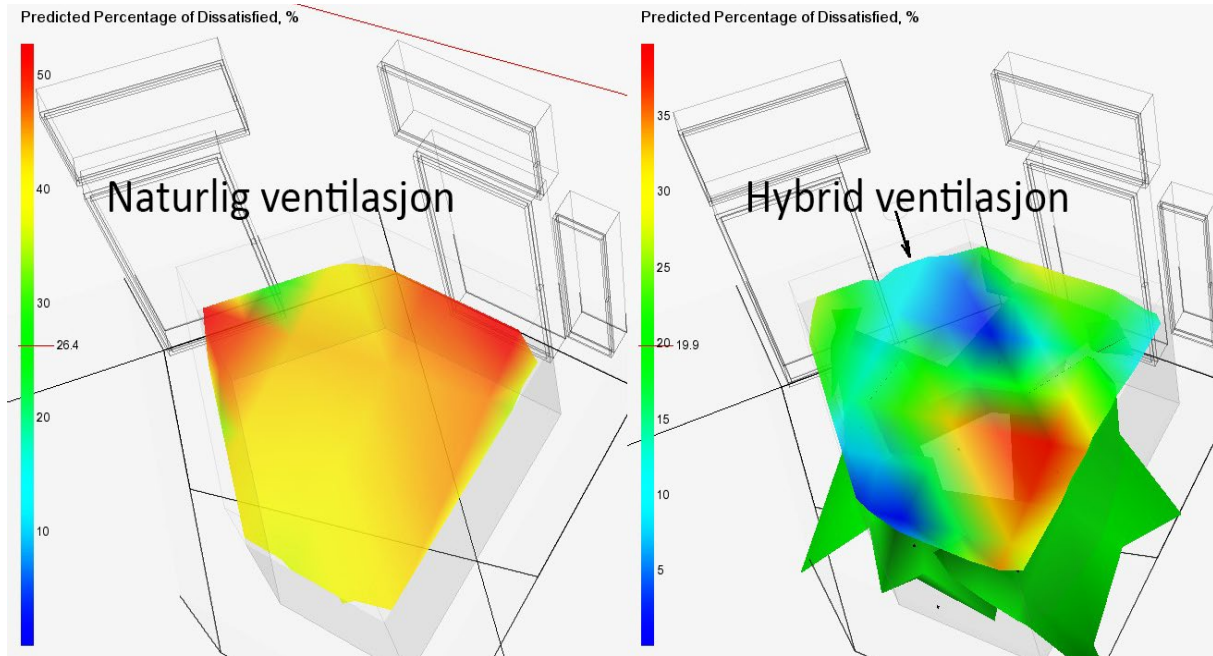
4.6.1 PPD-indeks

Figur 34 viser hvordan PPD-indeksen endrer seg gjennom sommersimuleringen for de ulike ventilasjonsprinsippene i multirom 2. For både naturlig og hybrid ventilasjon kan en forvente en stor andel misfornøyde brukere på de varmeste sommerdagene. Ved naturlig ventilasjon kan en forvente en andel misfornøyde opp mot 75 %. For hybrid ventilasjon vil dette tallet falle til under 50 %. For mekanisk ventilasjon holder PPD-indeksen seg stabil gjennom hele dagen og under 10 %. Felles for hybrid og naturlig ventilasjon er at PPD-indeksen stiger jevnt utover arbeidsdagen.

Hvor i sonen PPD-indeksen slår ut varierer etter prinsippet. For mekanisk ventilasjon kan det forventes omtrent like mange misfornøyde over hele rommet, vist i Vedlegg F. I motsetning til vintersimulering, hvor den største andelen misfornøyde vendes mot en enkelt fasade for hybrid og naturlig ventilasjon, knyttes de misfornøyde i sommersimuleringen for naturlig og hybrid ventilasjon til begge fasader (YV_A5 og YV_A6). Dette vises på figur 35, spesielt for naturlig ventilasjon. Også for hybrid ventilasjon får en økt misnøye mot begge fasadene, men det høyeste PPD-nivået kan forventes innerst i rommet for hybrid ventilasjon.

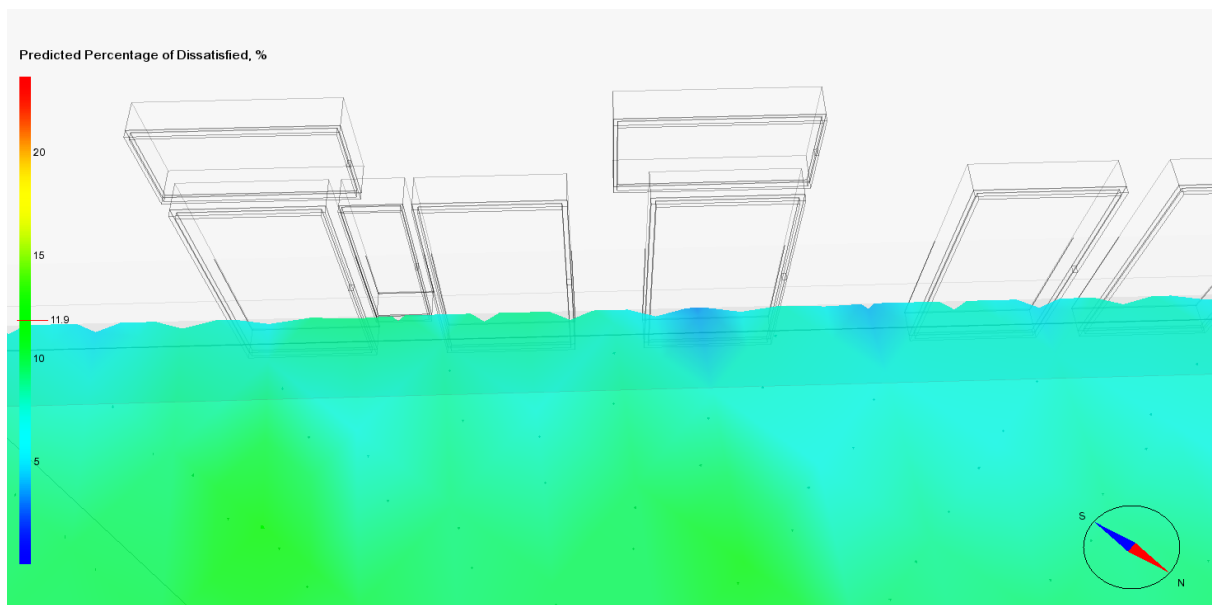


Figur 34: PPD-indeks i multirom 2.



Figur 35: PPD-indeks i multirom 2.

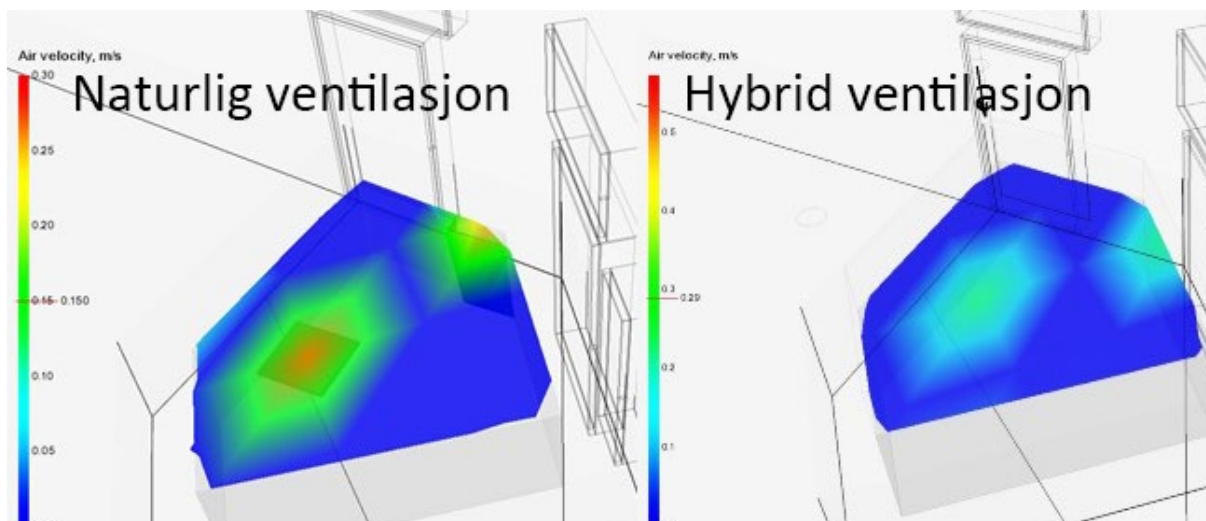
Selv om de høyeste PPD-verdiene i multirom 2 knyttes til fasaden, kan en likevel også få situasjoner på sommeren hvor andel misfornøyde reduseres i nærheten av luftlukene. Dette vises i figur 36, hvor en får litt reduserte PPD-verdier i nærheten av luftlukene i kontorlandskapet med hybrid ventilasjon. På dette tidspunktet kommer luften inn langs denne fasaden (YV_B1). For både naturlig og hybrid ventilasjon reduseres maksimal PPD-indeks i større rom som møterom 3 og kontorlandskapet.



Figur 36: Lokal PPD i kontorlandskapet ved hybrid ventilasjon.

4.6.2 Lufthastighet

På de varmeste sommerdagene vil åpningsukene stå i tilnærmet åpen posisjon døgnet rundt. Styringsprinsippene for lukene, vist i kapittel 3.2.5, vil kreve maksimal åpning på dagtid på grunn av den høye operative temperaturen. Siden utetemperaturen ikke synker under 10 °C, og innnetemperaturen holder seg over 20 °C, vil lukene også kreve maksimal åpning nattetid. Når lukene styrer mot maksimal åpning, kan det derfor bli store luftskiftninger i rommet. Vedlegg F viser at en kan få direkte kryssventilasjon i multirom 2, med store luftskiftninger opp mot 200 liter per sekund. Dette medfører at en kan få en hastighet opp mot 0,2-0,3 m/s i punktet mellom YV_B1 og YV_A5, vist på figur 37, sammen med hastighets-ploomen rundt okkupanten. Ovennevnte scenario er også beskrivende for møterom 3 i sommersimuleringen. På grunn av CAV-anlegget ved hybrid ventilasjon tilføres det mindre luft gjennom lukene. Med hybrid ventilasjon reduseres den maksimale lufthastigheten til under 0,15 m/s for alle soner, vist for multirom 2 på figur 37. For mekanisk ventilasjon er det ifølge simuleringen minimal hastighet på luften i oppholdssonen.

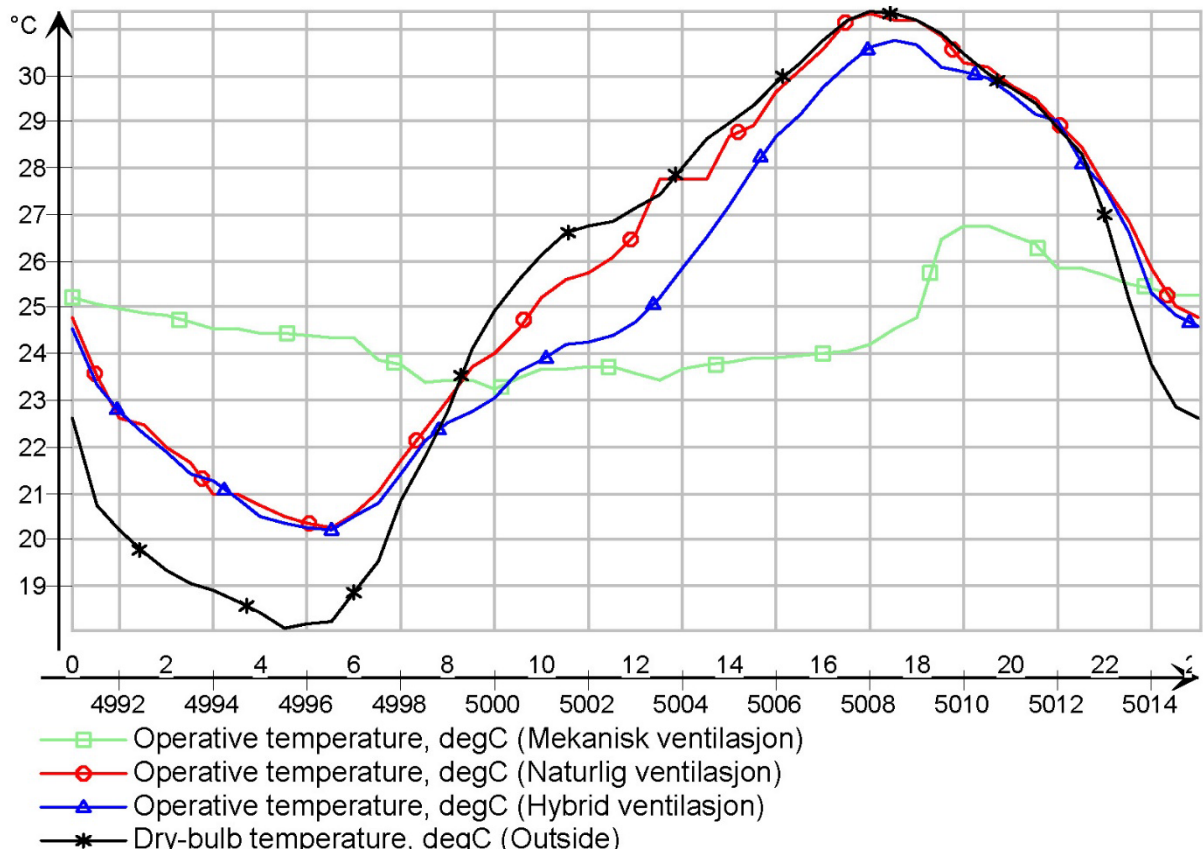


Figur 37: Lufthastighet i multirom 2.

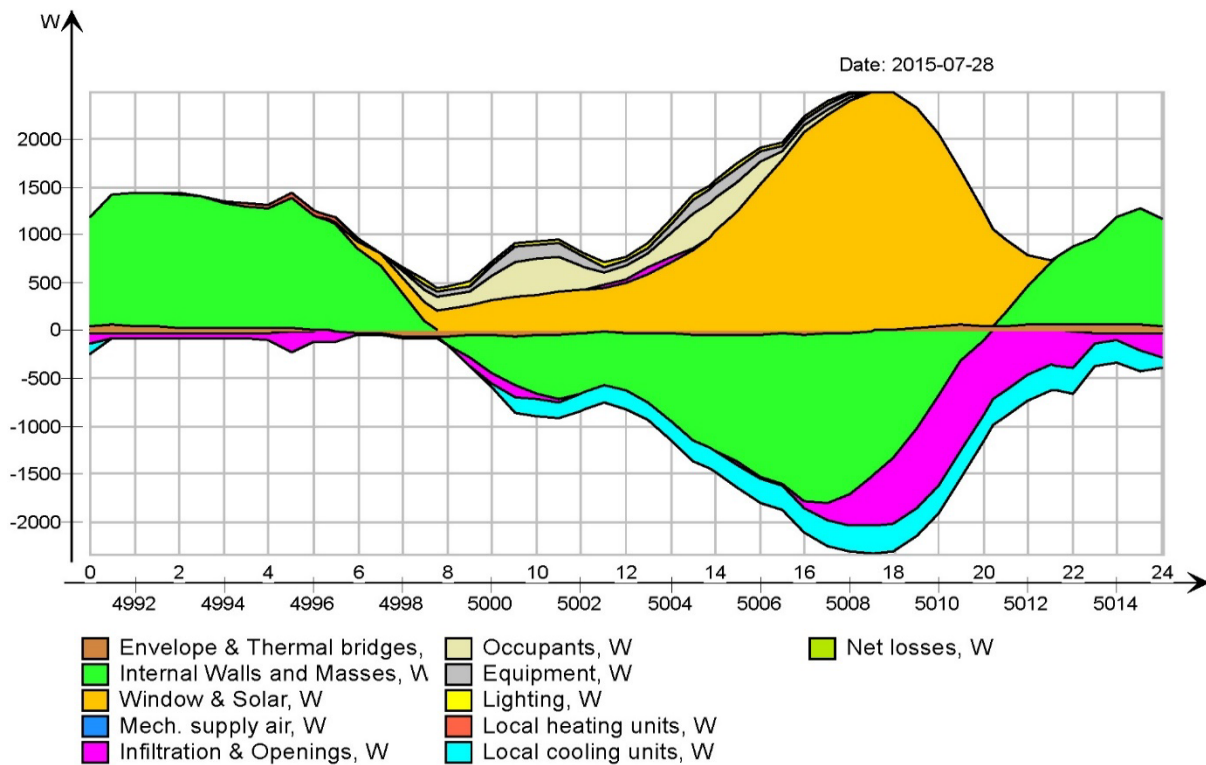
4.6.3 Temperatur

Figur 38 viser hvordan den operative temperaturen endrer seg i løpet av en sommerdag i multirom 2 for de ulike ventilasjonsprinsippene. Mekanisk ventilasjon sørger for en stabil temperatur i driftstiden, og tillater så vidt temperaturen å stige fra rett under til rett over 24 °C mot slutten av driftsdagen. Siden modellen for mekanisk ventilasjon, som tidligere beskrevet, kun driftes i perioden 0600-1800, stiger temperaturen utenfor disse tidspunktene. Ovennevnte er beskrivende for alle rom med mekanisk ventilasjon.

Naturlig og hybrid ventilasjon opplever et mye mer ustabilt temperaturløp gjennom dagen, sammenlignet med mekanisk ventilasjon. Nattestid, når lukene står oppe for nattkjøling, er temperaturforløpet for naturlig og hybrid ventilasjon ganske like. Når CAV-anlegget starter på morgenvisten forsinkes temperaturutviklingen litt for det hybride ventilasjonsanlegget, vist i figur 38. Den naturlige ventilasjonen følger den utvendige temperaturen i ganske stor grad på dagtid, vist på samme figur. Temperaturutviklingen ved naturlig ventilasjon er likevel noe forsinket gjennom dagtid, før en oppnår lik maksimal temperatur inne og ute på samme tidspunkt. Forsinkelsen kan skyldes magasineringen av energi i betongen, vist som grønt felt i figur 39. Nattestid avgir betongen energi til omgivelsene, som kjøler ned betongen. På dagtid foregår prosessen motsatt, som er med på å kjøle ned omgivelsene. Den maksimale operative temperaturen i multirom 2 ved naturlig og hybrid ventilasjon begrenses til henholdsvis drøye og snaue 31 °C.



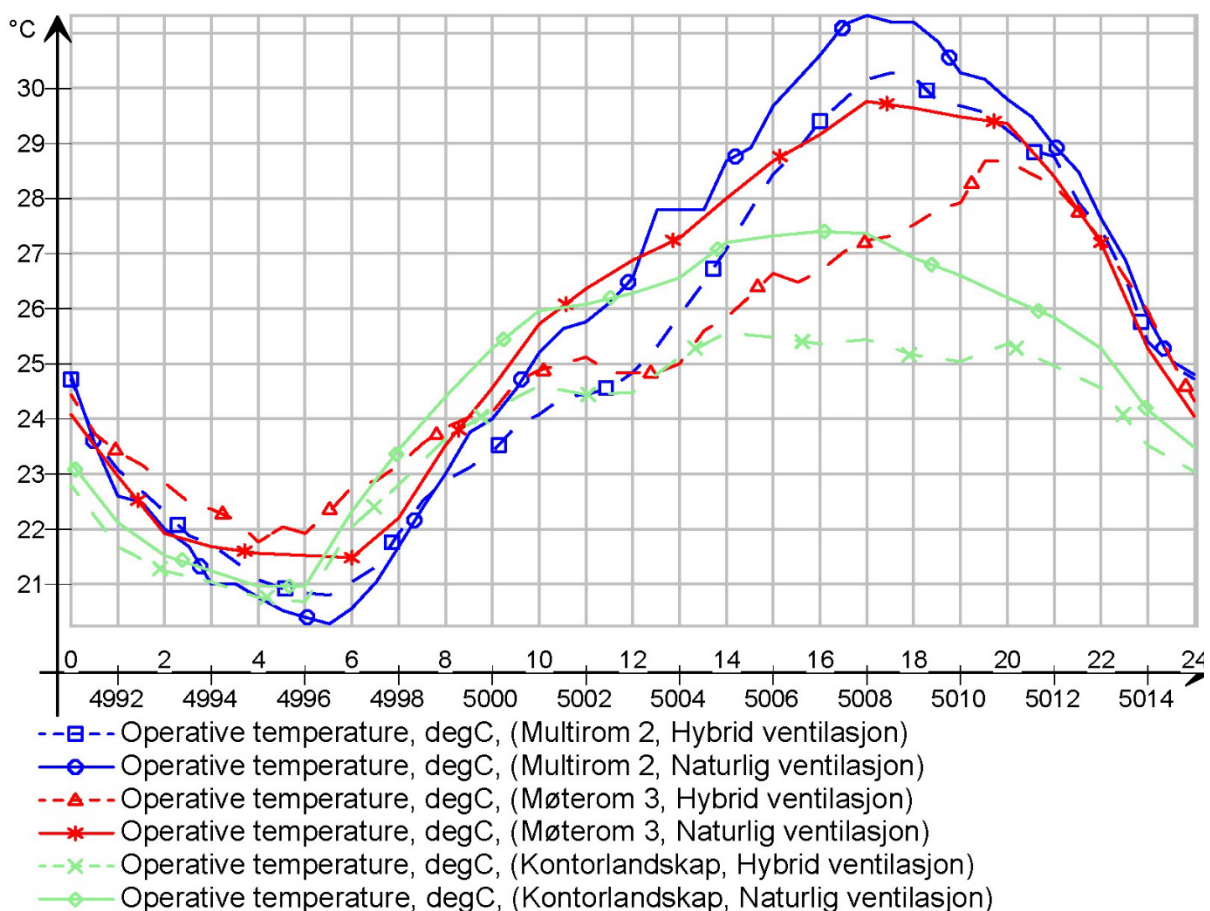
Figur 38: Operativ temperatur i multirom 3.



Figur 39: Energibalanse i multirom 2 ved naturlig ventilasjon.

Overgang fra naturlig til hybrid ventilasjon senker den maksimale operative temperaturen i alle soner vist på figur 40. I kontorlandskapet reduseres den maksimale temperaturen til under 26°C. Den største reduksjonen i operativ temperatur forekommer i møterom 3. I multirom 2, har CAV-anlegget minst effekt, og temperaturen reduseres med kun drøye 1°C.

Med overgang fra naturlig til hybrid ventilasjon, reduseres også de daglige temperatursvingningene, også vist på figur 40. Med naturlig ventilasjon kan temperaturen stige nærmere 10 °C i løpet av en arbeidsdag i multirom 2. Ved innføring av hybrid ventilasjon reduseres dette med 1-2 °C. Tidligere er det vist at mekanisk ventilasjon vil kunne sikre minimale temperatursvingninger, selv på de varmeste dagene.



Figur 40: Topr med naturlig og hybrid ventilasjon i alle soner.

Om sommeren tyder simuleringene på at de vertikale temperaturforskjellene i multirom 2, er lavest ved naturlig ventilasjon, og størst ved mekanisk ventilasjon (vist sist på Vedlegg F). Dette er motsatt fra vintersimuleringen, hvor mekanisk ventilasjon var mest stabil, som ble beskrevet i kapittel 4.5.3 og vist på figur 32.

5 Energisimulering

Dette kapittelet beskriver vurderingene som er gjort av energiytelsene for de ulike ventilasjonsprinsippene. Først i kapittelet er simuleringsprogrammet og inn-parameterne forklart. Mot slutten av kapittelet blir vurderingskriteriene og resultatene beskrevet. Videre diskusjon og tolkninger følger senere i henholdsvis kapittel 7.2 og 8.2. Resultatene fra dette kapittelet vil bli brukt videre i klimagassberegningene i kapittel 6.

5.1 Simuleringsprogram

Det ble tidlig foreslått å benytte IDA ICE til også å dokumentere energiytelsene. På grunn av manglende kompetanse knyttet til denne delen av programmet, ble programmet Simien benyttet til energisimuleringene. Simien er et dynamisk simuleringsverktøy originalt utviklet av ProgramByggerne, i dag Simenergi AS.

Simien er et omfattende program som simulerer blant annet netto og levert energibehov på rom- og bygningsnivå. Programmet kan også energimerke hus, i tillegg til å validere mot både offentlige forskrifter i TEK17, passivhusstandarden og kriterier stilt i FutureBuilt (Simenergi, 2021). Programmet er validert mot NS 3031:2007, og den siste versjonen mot SN-NSPEK 3031:2020 (ibid.). Dette betyr at bildet Simien skaper av energibruken har stor validitet.

I denne oppgaven er versjon 7 benyttet, som er i en betaversjon av en kommende storoppdateringen av Simien. Det betyr at versjonen er tilnærmet ferdig utviklet, men med forbehold om feil. I den siste versjonen av programmet er simulering av energibruken forbedret. Dette er gjort ved å øke detaljene i simuleringene knyttet til energiproduksjon, energidistribusjon og energilagring. En ny funksjon med en mer detaljert modell av naturlig ventilasjon er også lagt inn til programmet.

Det er tatt utgangspunkt i den innebygde klimafilen i Oslo. Det er derfor ikke helt like klimafilene i Simien og IDA ICE.

5.2 Inndata

Tre modeller av bygget er blitt lagd i Simien, en for hver av de tre ventilasjonsprinsippene. Selv om det i denne oppgaven er valgt å fokusere på tre soner, er det valgt å simulere hele plan 7 i den nordre delen av bygget ved energivurdering. Dette er gjort for å få et detaljert bilde av energibruken av planet som helhet, med fasader som vender mot flere himmelretninger.

Modellen er i stor grad bygd opp i henhold til parametere og informasjon beskrevet i kapittel 3. Vedlegg G viser sammendrag av dokumentasjon av inndata brukt i Simien-simuleringen for hybrid ventilasjon. Selve geometrien til bygget, med vinkler og arealer, er basert på IDA ICE-modellen, som igjen er basert på DWG-fil fra veileder. Den søndre delen av bygget er lagt inn som hindring av horisont for YV-B2/B3.

Selv om modellen har en høy grad av nøyaktighet, er det gjort noen forenklinger. For å begrense simuleringstiden og forenkle modelloppbygningen, er modellen lagt inn som én stor sone i Simien. Selv om dette vil kunne svekke oppløsningen, antas dette å være akseptabel forenkling for energiberegningene (Dokka, 2021). En annen forenkling ligger i helningen på fasaden. På grunn av begrensninger i programmet er fasadene lagt inn som vanlige vertikale yttervegger.

En annen forenkling ligger i regulering- og kontrollstrategiene forklart i kapittel 3.2.5 – forenklingene forklares nærmere i påfølgende underkapitler. Det er valgt å ha samme energiforsyning for de ulike ventilasjonsprinsippene. Selv om modellen for mekanisk ventilasjon vil ha varme- og kjølebatterier, vil muligheten for gulvvarme og -kjøling være til stede i modellen.

5.2.1 Naturlig ventilasjon

Modellen for naturlig ventilasjon er den enkleste av de tre modellene, og er bygd opp i henhold til de fleste beskrivelsene i kapittel 3.2. På grunn av begrensningen i simulering av naturlig ventilasjon i programmet, er det lagt inn tre ventilasjonskomponenter: *naturlig ventilasjonen vår*, *naturlig ventilasjon sommer*, og *naturlig ventilasjon høst*. Dette er gjort på grunn av manglende støtte for nattkjøling.

Naturlig ventilasjon sommer, som omhandler juni og juli, er lagt inn med en minimums luftmengde utenfor driftstiden. På denne måten «tvinges» det fram nattkjøling. Minimums luftmengde utenfor driftstid er basert på erfaringstall fra IDA ICE gjennom analyse av luftmengdene – og er satt til $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

I driftstiden er minimum luftmengde satt til $1,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, mens maksimal luftmengde er satt til $17 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. Dette tallet er også erfaringsbasert fra IDA ICE. Selve reguleringen av tilluftsmengden er litt forenklet, men foregår etter samme prinsipp som i IDA ICE, vist i figur 41.

Styres etter CO₂-konsentrasjon i inneluft

Fast settpunkt [PPM]:

Utetemperaturkompensert settpunkt

Min. utetemperatur [°C]:	<input type="text" value="-20"/>	Settpunkt ved min. temp. [PPM]:	<input type="text" value="1200"/>
Maks. utetemperatur [°C]:	<input type="text" value="20"/>	Settpunkt ved maks. temp. [PPM]:	<input type="text" value="750"/>

Styres etter romlufttemperatur

Fast settpunkt [C]:

Utetemperaturkompensert settpunkt

Min. utetemperatur [°C]:	<input type="text" value="-5"/>	Settpunkt ved min. temp. [°C]:	<input type="text" value="24"/>
Maks. utetemperatur [°C]:	<input type="text" value="30"/>	Settpunkt ved maks. temp. [°C]:	<input type="text" value="22"/>

Figur 41: Regulering av naturlig ventilasjon i Simien.

5.2.2 Hybrid ventilasjon

Den hybride modellen tar utgangspunkt i modellen for naturlig ventilasjon, men med innslag av mekanisk ventilasjon i henhold til foreslått løsning i kapittel 3.3.1. Luftmengdene for CAV-anlegget for hele planet i Simien er basert på et vektet gjennomsnitt av beregnede luftmengder i samme kapittel = $5,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

5.2.3 Mekanisk ventilasjon

Den mekaniske ventilasjonsmodellen er bygd opp til foreslått løsning i kapittel 3.3.2. Det er lagt inn mulighet for nattkjøling når kravene møtes, som ved naturlig ventilasjon.

5.3 Vurderingskriterier

For vurdering av energiytelsene i seg selv, men også til bruk i senere klimagassberegninger, er det valgt å fokusere på netto og levert energibehov. For dette kapitlet er det valgt å se på de totale energiytelsene som helhet. Dette er gjort gjennom årssimuleringer. Det simulerte netto energibehovet vil bli vurdert opp mot krav stilt i TEK 17 §14-2, presentert i kapittel 2.2.5. For kontorbygg er kravet på 115 kWh/m².

For å få en større forståelse for energiytelsene og validiteten til simuleringsmodellen er det månedlige energibudsjettet og –varmebalansen også blitt vurdert. På grunn av Simiens beta-versjon, og relativt nye modeller for naturlig ventilasjon, skal en være forsiktig med å akseptere alle resultater uten å forstå dem.

5.4 Resultater

Resultatene fra årssimuleringen for de ulike ventilasjonsprinsippene følger i dette delkapittelet. Først blir resultatene for netto energibehov beskrevet, etterfulgt av levert energibehov. Til slutt beskrives energibalansen og varmebudsjettet.

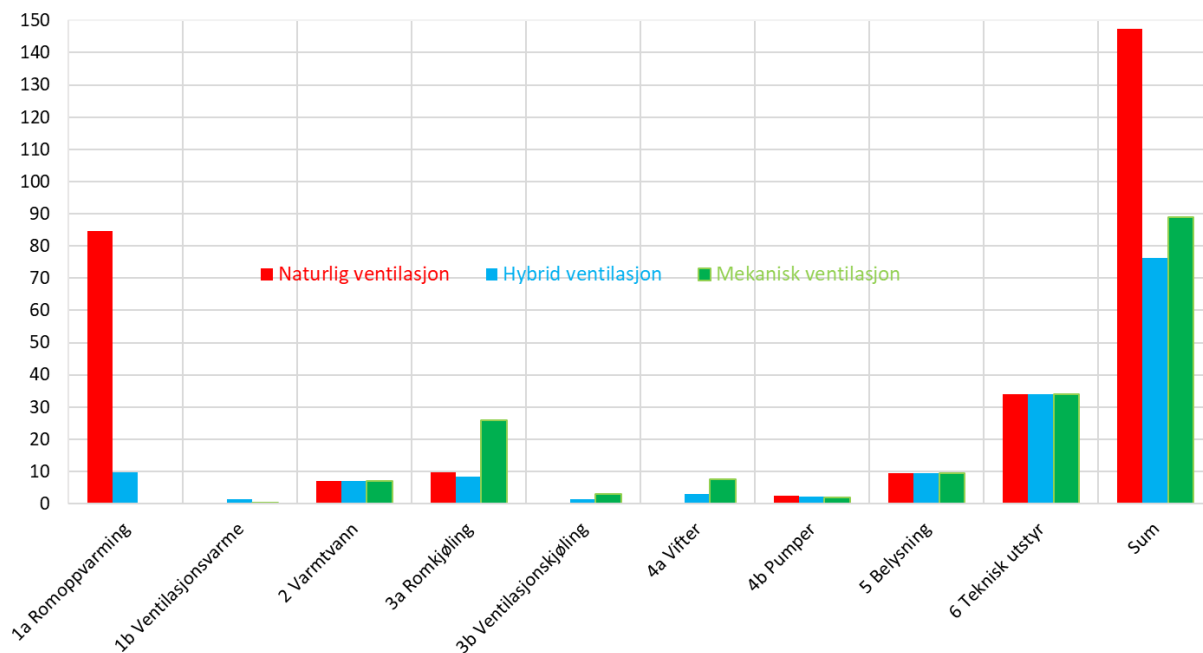
5.4.1 Netto energibehov

Tabell 15 viser beregnet netto energibehov for de ulike ventilasjonsprinsippene for kontordelen av GT2A. Som det framgår av tabellen, har naturlig ventilasjon et dobbelt så stort netto energibehov som mekanisk og hybrid ventilasjon. Fra tabellen er det kun hybrid og mekanisk ventilasjon som kommer under TEK17 kravet på 115 kWh/m².

Tabell 15: Netto energibehov for de ulike ventilasjonstypene.

Energipost	Naturlig ventilasjon [kWh/m ²]	Hybrid ventilasjon [kWh/m ²]	Mekanisk ventilasjon [kWh/m ²]
1a Romoppvarming	84,7	9,8	0,0
1b Ventilasjonsvarme	0	1,5	0,2
2 Varmtvann	7	7	7
3a Romkjøling	9,8	8,5	25,9
3b Ventilasjonskjøling	0	1,3	3
4a Vifter	0	2,9	7,6
4b Pumper	2,6	2,1	1,9
5 Belysning	9,4	9,4	9,4
6 Teknisk utstyr	33,9	33,9	33,9
Sum	147,4	76,4	88,9

Gjennom visualisering, på figur 42, ser en at de ulike ventilasjonsprinsippene har relativt like store behov ved de ulike energipostene. Den største forskjellen ligger i oppvarmingsbehovet med naturlig ventilasjon på drøye 84 kWh/m². Energiforbruk til kjøling med mekanisk ventilasjon skiller seg også en god del ut fra de andre ventilasjonsprinsippene med et behov på snau 26 kWh/m².



Figur 42: Netto energibehov for de ulike ventilasjonsprinsippene.

5.4.2 Levert energibehov

Tabell 16 viser beregnet levert energibehov for de ulike ventilasjonsprinsippene for kontordelen av GT2A. Sammenlignet med netto energibehov, har naturlig ventilasjon en 53 % nedgang ved levert energibehov. Hybrid og mekanisk ventilasjon har en nedgang på henholdsvis 27 % og 36 %.

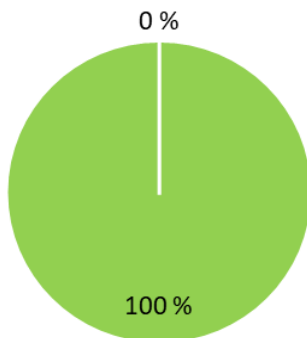
Felles for de ulike ventilasjonsprinsippene er at levert energibehov er lave. Også ved levert energibehov, har de ulike ventilasjonsprinsippene relativt like store utslag innenfor de ulike energipostene. Energipostene for romoppvarming ved naturlig ventilasjon skiller seg også her, det samme med romkjøling ved mekanisk ventilasjon. Tross det innovative LowEx-systemet trenger naturlig ventilasjon 21,2 kWh/m² tilført til romoppvarmingen.

Hvor mye av energibehovet som kan tilskrives selve ventilasjonsanlegget varierer ut ifra ventilasjonsprinsippet. Figur 43 viser hvordan andelen energibehovet til bare ventilasjonsinstallasjonene øker i takt med ventilasjonstypen. Figur 44 viser forholdet mellom energibehovet til helle VVS-anlegget og det totale energibehovet. Her ser en at energibehovet til VVS-installasjonene er størst ved naturlig ventilasjon. Behovet går ned med 10 prosentpoeng ved hybrid ventilasjon. Med mekanisk ventilasjon står VVS-installasjonene for 8 prosentpoeng lavere energibehov sammenlignet med naturlig ventilasjon.

Tabell 16: Levert energibehov for de ulike ventilasjonstypene.

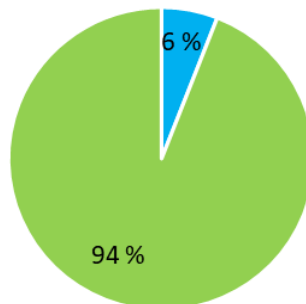
Energipost	Naturlig ventilasjon [kWh/m ²]	Hybrid ventilasjon [kWh/m ²]	Mekanisk ventilasjon [kWh/m ²]
1a Romoppvarming	21,2	4,5	0,2
1b Ventilasjonsvarme	0	0,3	1,1
2 Varmtvann	1,8	1,8	1,8
3a Romkjøling	0,2	0,2	0,6
3b Ventilasjonskjøling	0	0,1	1,6
4a Vifter	0	2,9	7,6
4b Pumper	2,6	2,1	1,9
5 Belysning	9,4	9,4	9,4
6 Teknisk utstyr	33,9	33,9	33,9
Sum	69,1	55,2	57,3

Naturlig ventilasjon



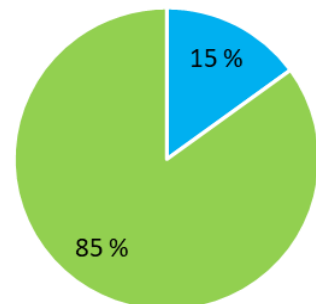
■ Ventilasjon ■ Totalt

Hybrid ventilasjon



■ Ventilasjon ■ Totalt

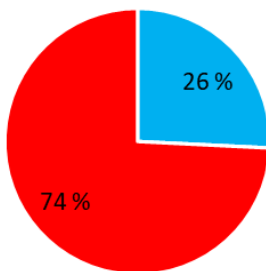
Mekanisk ventilasjon



■ Ventilasjon ■ Totalt

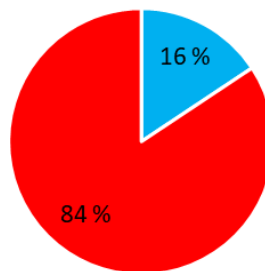
Figur 43: Energiforbruk for ventilasjonsinstallasjoner.

Naturlig ventilasjon



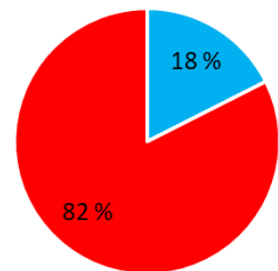
■ VVS ■ Totalt

Hybrid ventilasjon



■ VVS ■ Totalt

Mekanisk ventilasjon

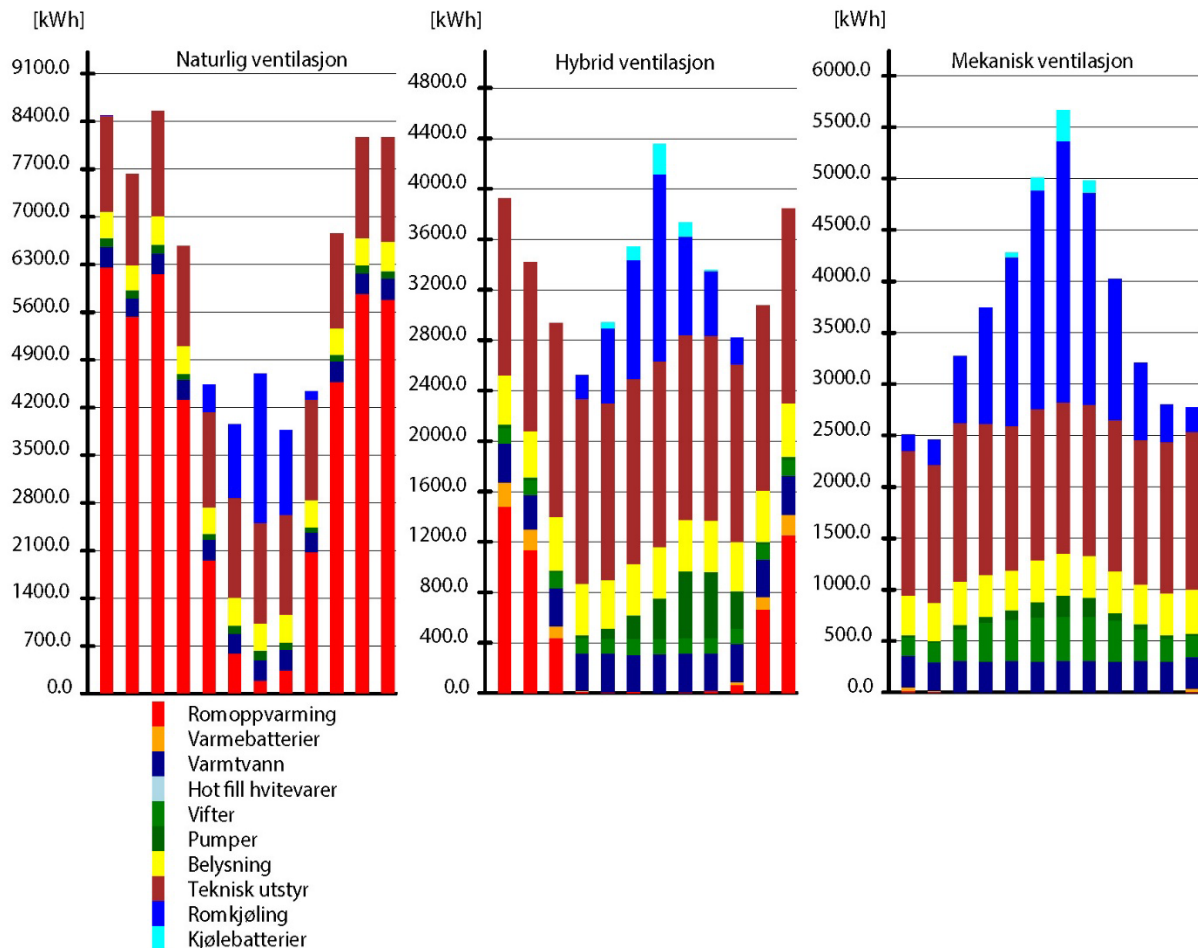


■ VVS ■ Totalt

Figur 44: Energiforbruk for VVS-installasjoner.

5.4.3 Energibalanse og varmebudsjett

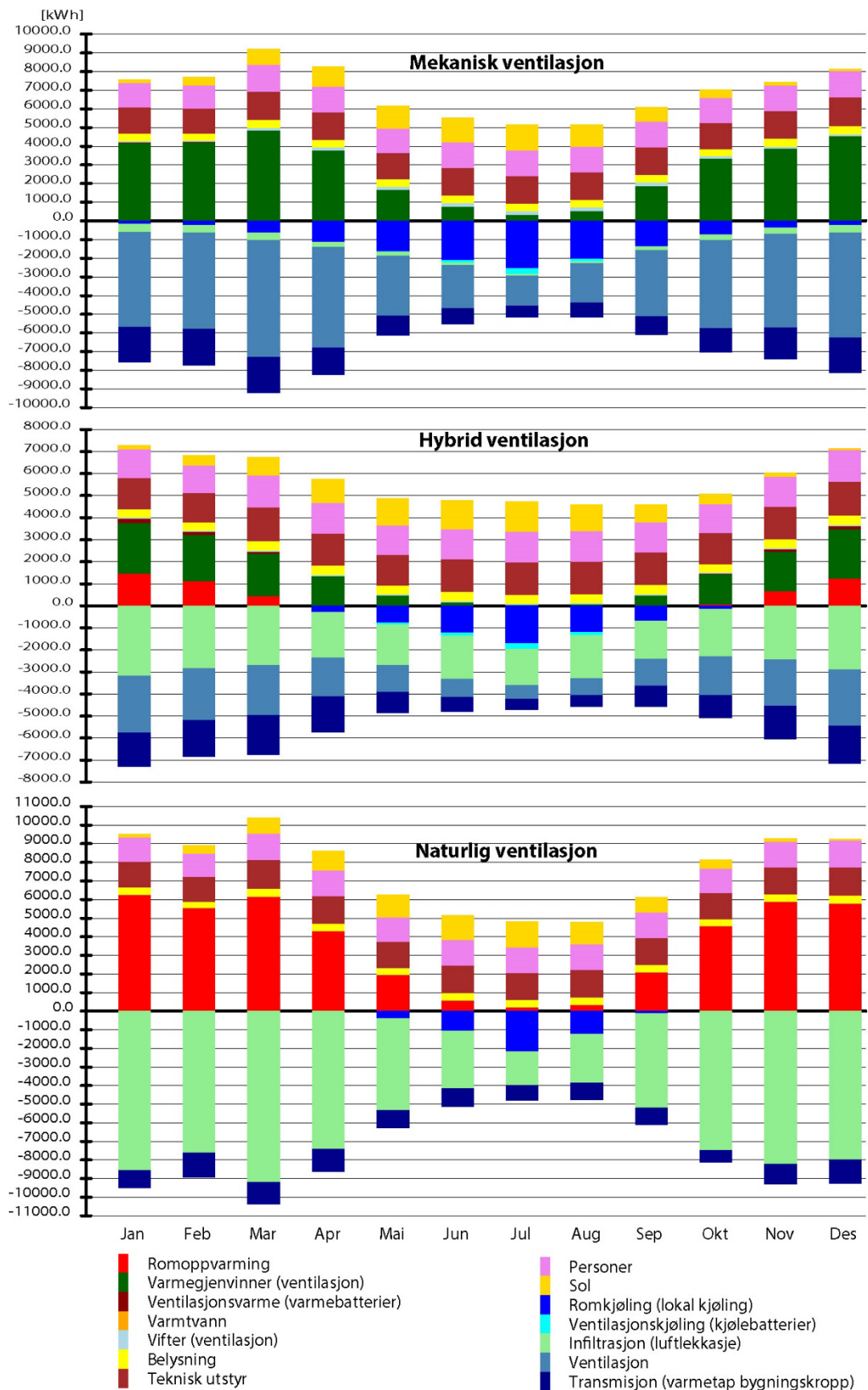
Figur 45 viser hvordan energibudsjettet endrer seg gjennom året for de ulike ventilasjonsprinsippene. Naturlig ventilasjon har et lite kjølebehov om sommeren. Naturlig ventilasjon har, som beskrevet i foregående kapitler, er stort oppvarmingsbehov. Fra samme figur kan en også se at det er hybrid ventilasjon som har den laveste energibehovs-toppen om sommeren.



Figur 45: Energibalanse for de ulike ventilasjonsprinsippene.

Figur 45 antyder at også hybrid ventilasjon har det jevneste energibehovet gjennom året. Naturlig ventilasjon har et stort energibehov vinterstid kontra sommerstid. For mekanisk ventilasjon er det motsatt. Mekanisk ventilasjon har også knapt energibehov til romoppvarming og varmebatteriet på grunn varmegjenvinner. Figuren viser også at det vil være behov for eventuell romkjøling året rundt med mekanisk ventilasjon.

Varmebalansen for de ulike ventilasjonsprinsippene framstår logiske, vist i figur 46.



Figur 46: Varmebalanse for de ulike ventilasjonsprinsippene.

6 Klimagassberegning

Dette kapitlet beskriver vurderingen som er gjort av miljøpåvirkningene for de tre ulike ventilasjonsprinsippene. Først i dette kapitlet er oppbygningen av ventilasjonsmodellene i BIM-programvaren beskrevet. Videre forklares det hvordan livssyklusanalysen er gjennomført. Mot slutten av kapitlet blir resultatene beskrevet. Diskusjon og konklusjon av resultatene er vist senere i henholdsvis kapittel 7.3 og 8.3.

6.1 Design av ventilasjonsløsninger

For å utføre klimagassberegningene for scenarioene er det nødvendig å designe en modell for hver løsning. Det er gjort ved først å tegne opp ventilasjonsanleggene i MagiCAD for Revit. Grunnprogrammet er Autodesk Revit, et BIM-verktøy (Building Information Modelling) utviklet for ingeniører og arkitekter, utgitt av Autodesk. I denne oppgaven er versjon 21.0.0.383 av Autodesk Revit benyttet. MagiCAD er blitt brukt med versjon 2021 UR-2. Selve tegningen i MagiCAD er først gjort for mekanisk ventilasjon, da denne framstår som mest konvensjonell og enklest å gjennomføre, etterfulgt av hybrid ventilasjon.

Det er gjort en del forenklinger ved oppbygningen av anleggene på tvers av ventilasjonsprinsippene. Felles for forslagene er at kostnad ikke er hensyntatt. Dette betyr at det er ikke gjort noen vurdering av kostnad mot nytte. Her er det kun fokusert på å skape realistiske og representative løsninger. Det er lagt opp til noen klimatiltak, som aktiv nedtrapping av kanalføringer ved hybrid og mekanisk ventilasjon for å sikre så lite bruk av materialer som mulig. Det er likevel ikke tatt stilling til bruk av andre klimatiltak som bruk av kanaler av andre kvaliteter som plast og tekstil, eller muligheten for bruk av doble roterende varmegjenvinnere.

Andre felles forenklinger og antagelser for oppbygging av modellene til hybrid og mekanisk ventilasjon er angitt under:

- Aggregat plasseres i rommet ved siden av trapperommet mot YV_A6, som benyttes som teknisk rom. Rommet utformes slik at det blir tilstrekkelig fri avstand foran aggregat til inspeksjon og service. Endring av romfunksjonen medfører at EL-tavle, EF-rom, VVS-sjakt og sluse til trapperom må flyttes. Det antas at sluse og dør til trapp flyttes til veggen mot kontorlandskapet. For hybrid ventilasjon skapes det plass til

VVS-sjakt og EL-tavle i foreslått teknisk rom. For mekanisk ventilasjon må disse elementene, samt EF-rom, flyttes ut av teknisk rom. Hvordan dette skal løses i praksis er ikke hensyntatt i denne oppgaven. Videre er det antatt at etablering av teknisk rom ikke påvirker bærende punkter i konstruksjonen.

- En vertikal ventilasjonssjakt antas plassert der dagens VVS-sjakt er plassert mot YV_A6. Sjakten er tiltenkt å være avkastkanal for kontoretasjene på plan 3-7. Det antas at avkastet er gjort på tak eller i yttervegg noen etasjer over plan 7, slik at faren for kortslutning reduseres. Selve utførelsen for vertikalsjakten, og hvordan dette vil påvirke boligetasjene i plan 8 og eventuelt oppover er ikke hensyntatt.
- Inntak til aggregat antas lokalisert direkte i fasaden i tilknytning til YV_A6.
- Den antas ett sentralavtrekk i kontorlandskapet, rett utenfor teknisk rom, og overluftsventiler med lydemping fra møterommene. Regulering av avtrekksmengden antas regulert med reguleringsspjeld for CAV, og med VAV-spjeld og lydfelle for DCV. For overluftsventilene mellom møterommene og kontorlandskapet, må veggene til møterom bygges bedre enn veggkravet, slik at det samlede resultatet av vegg og overluftsventil holder krav til lyd (Ingebrigsten, 2019a). I MagiCAD er Swegon ORTO overluftsventil benyttet. WC har standard kontrollventiler.
- Selv om utfordringer knyttet til ventilasjons-løsninger og lydytelser må hensyntas, er dette ikke blitt vurdert i denne oppgaven. Det er likevel lagt til lydempere på strategiske punkter som etter bends og inn til møterom, dette for å skape et realistisk bilde av materialene som går med til støy-tiltak i et anlegg.
- Spørsmål omkring brann er ikke hensyntatt. Dette gjelder blant annet brannstrategier i trappeløp og bruk av brannspjell mellom brannsoner.
- Luftmengdene for hybrid og mekanisk ventilasjon er basert på beregninger vist i kapittel 3.3.1 og 3.3.2, vist i detalj på Vedlegg A.
- Kanalene er dimensjonert etter hastighetsmetoden for å gi tilfredsstillende hastigheter i kanalnettet med begrenset trykkfall og støy. Det er antatt en samtidighet på 100 % ved dimensjonering av kanalnettet. Cirka maksimal hastighet ved design vil være:
 - Hovedkanal = 7 m/s.
 - Fordelingskanal = 5 m/s.
 - Uttakskanal = 3 m/s.

Basert på kontinuitetsligning kan en finne nødvendig tverrsnitt fra ligning (6-1).

$$F = \frac{Q * 10^3}{3600 * w} [m^2] \quad (6-1)$$

Q luftmengder [m³/h]

w valgt hastighet for kanalstrekk [m/s]

- Utformingen av ventilasjonsanleggene har ikke hensyntatt fleksibilitet og mulige fremtidige endringer av planløsning og bruksmønster.
- Aggregatene brukt i MagiCAD er de samme som beskrevet i Vedlegg B, og er av typen Swegon GOLD F RX 7 og 14 for henholdsvis hybrid og mekanisk ventilasjon.

6.1.1 Naturlig ventilasjon

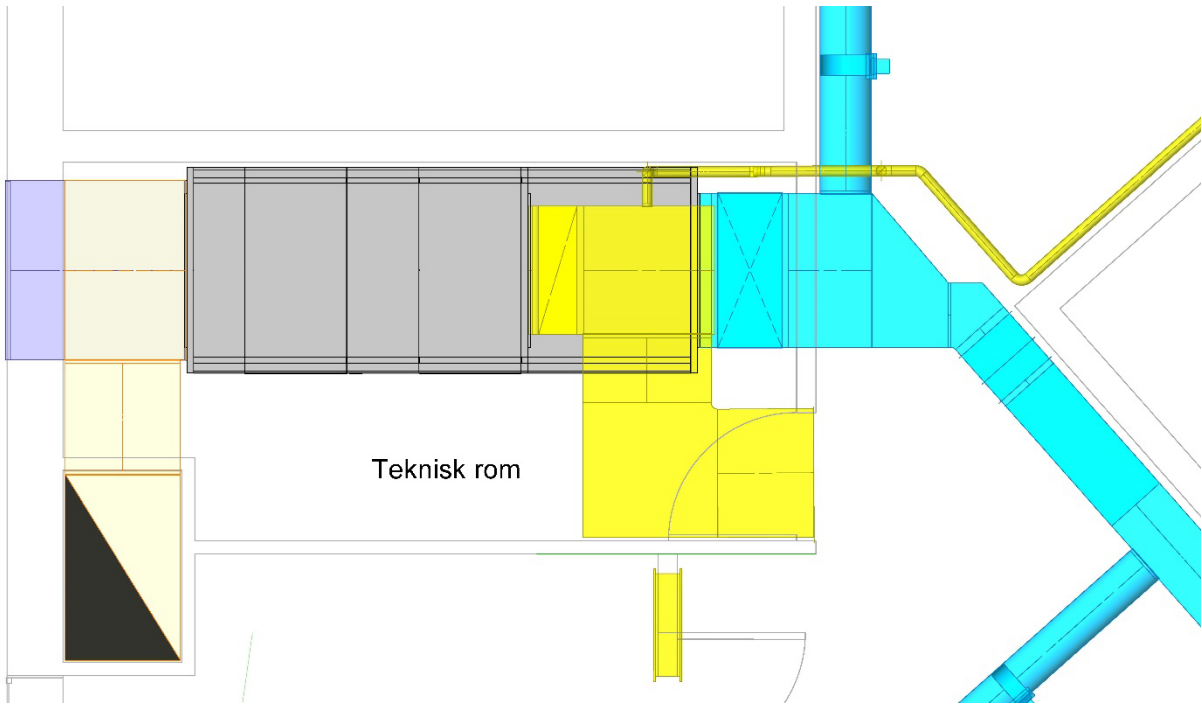
For naturlig ventilasjon er det ikke laget noen modell i MagiCAD, men vil være bygd opp etter sin naturlige form beskrevet i kapittel 3.2. Det er ikke lagd noen modell siden det kun vil være automasjon og motorene som regulerer åpning av lukene som vil være bidragsytere for klimagassberegningene.

6.1.2 Mekanisk ventilasjon

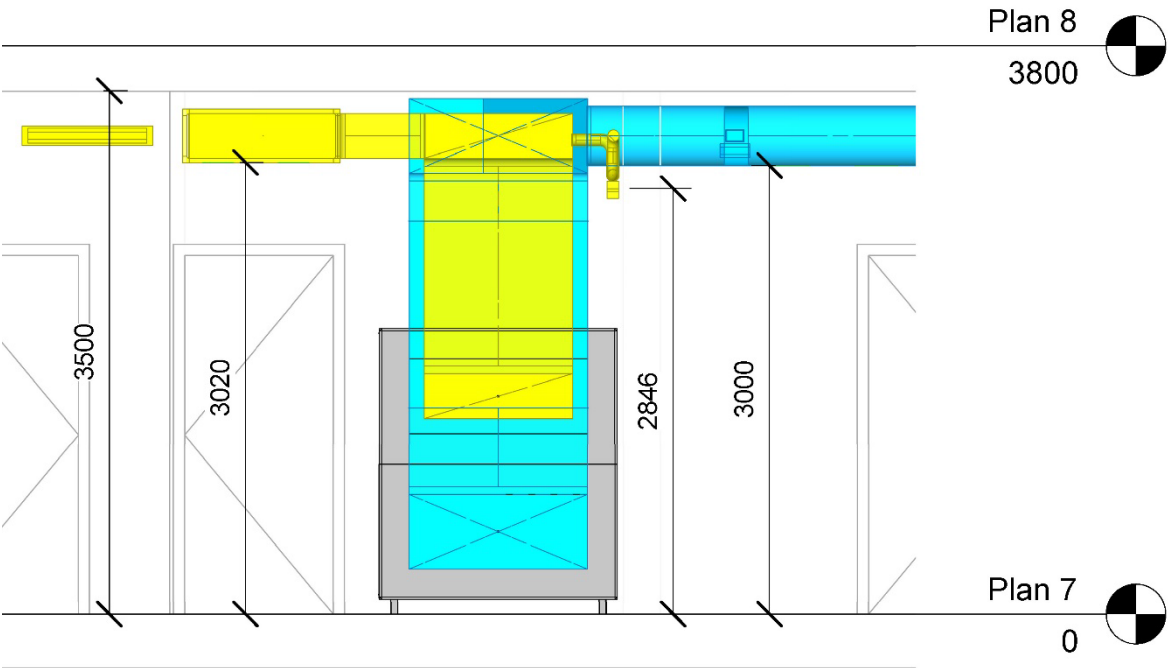
Det mekaniske ventilasjonsanlegget er designet og tegnet opp i MagiCAD i henhold til forutsetningene beskrevet innledningsvis i kapittel 6.1, samt kapittel 3.2 og 3.3.2.

På grunn av aggregatets størrelse, og for å sikre 900mm anbefalt klaring foran aggregat, er deler av den vertikale ventilasjonssjakten flyttet delvis inn i møterom 3, vist i figur 47.

Kanalene er, som tidligere beskrevet, dimensjonert etter hastighetsmetoden. Beregnede dimensjoner er vist i Vedlegg H. Som hovedregel er det brukt spirokanal på tilluft da disse vil ha mindre omkrets og dermed inneholde «mindre» materialer. På avtrekk er det benyttet rektangulære kanaler i landskapet på grunn av store luftmengder. Figur 48 viser at en får en fri høyde på nesten 3,0 meter for planet.



Figur 47: Teknisk rom ved mekanisk ventilasjon.



Figur 48: Snitt ved kanalkrysning ved mekanisk



Figur 49: Kastelengder og kanalføringer ved mekanisk ventilasjon.

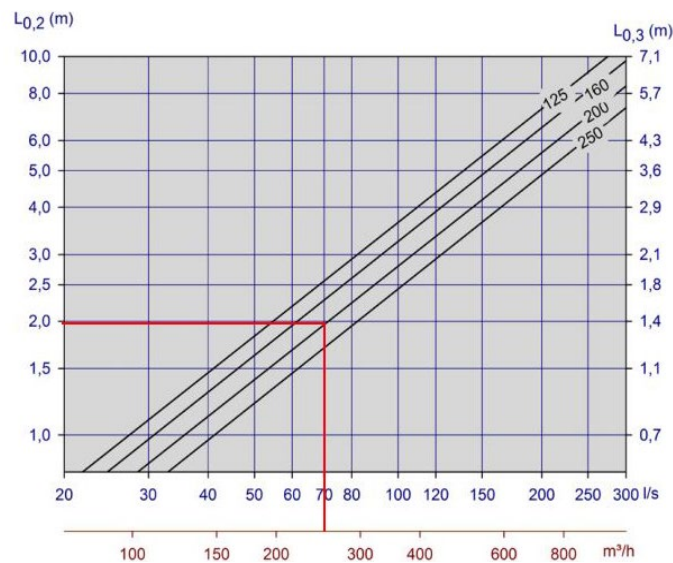
Føringsveiene er basert på ønsker om å bruke så lite materiale som mulig, og på god plassering av tilluftsventilene i kontorlandskapet. Før tilluftskanalene ble tegnet, ble anbefalt kastelengde beregnet for de ulike rommene i henhold til formel (6-2). Videre ble kastelengdene tegnet opp og fordelt utover plan 7, vist på figur 49. Dette ble gjort for å finne den naturlige plassering av tilluftsventilene og føringsveiene, som kanskje ikke var like logisk for et bygg som GT2A. Beregning av kastelengdene er vist på Vedlegg H, oppsummert på tabell 17. For kontorlandskapet ble det antatt en kastelengde på 3 meter.

$$0,75 * (B + C) < L_{0,2} < (B + C) \quad [m] \quad (6-2)$$

- B Avstand fra senter ventil til vegg [m]
 C Avstand fra tak ned til oppholdssonen [m]

Tabell 17: Anbefalte kastelengder på plan 7.

Rom	L _{0,2} -min	L _{0,2} -max
Møterom 1	2,1	2,6
Møterom 2	2,0	2,1
Møterom 3	1,4	2,1
Multiroom 1 og 2	1,8	2,4
Kontorlandskap	3	3



Figur 50: Kastelengde i møterom 2. Kilde: TROX

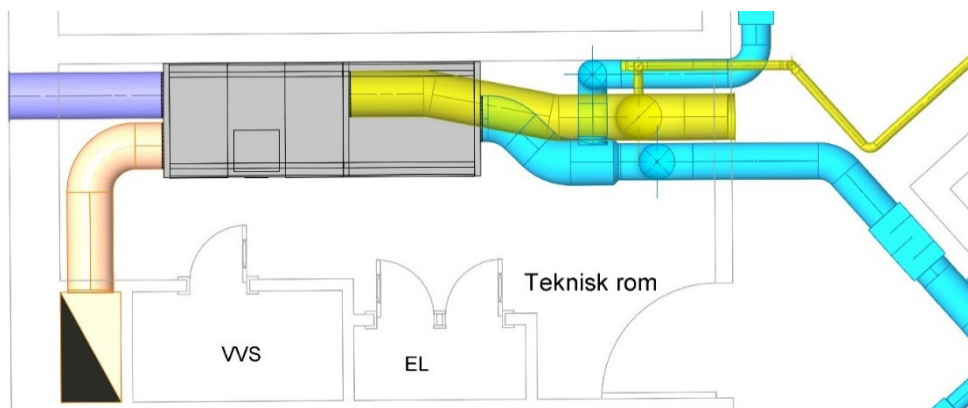
Selve tilluftsventilene i modellen er lagt inn som TROX Tellus LØV-VAV. Dette er aktive tilluftsventiler med innebygget VAV-regulator for behovsstyring av luftmengdene. Ventilen eksistere i flere størrelser og håndterer et stort spenn av luftmengder. Ventilen har også innebygd lyddemper og kan derfor strupe høy trykk og opprettholde lavt lydnivå. Siden den aktive tilluftsventilen vil kunne skape støy om trykket foran ventilen blir for høyt, benyttes sonespjeld for å holde det statiske trykket til et minimum.

En 3D-presentasjon av ventilasjonsløsningen er vist på Vedlegg I.

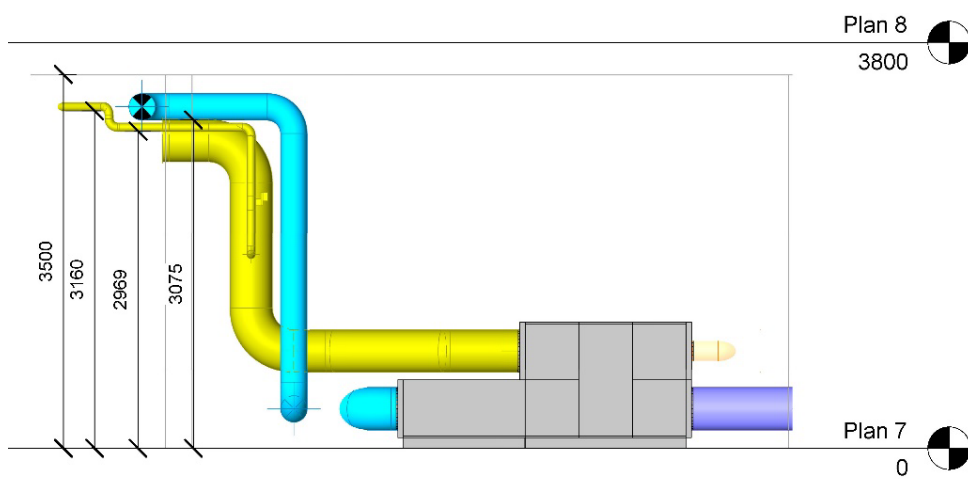
6.1.3 Hybrid ventilasjon

Det hybride ventilasjonsanlegget er blitt designet henhold til forutsetningene beskrevet innledningsvis i kapittel 6.1, samt kapittel 3.2 og 3.3.1. Selve framgangsmåten for designet er likt som ved mekanisk ventilasjon. Foreslått løsning er vist på figur 53.

Det er som tidligere beskrevet litt bedre plass i teknisk rom med aggregatet til det hybride anlegget. Det vil være tilstrekkelig plass i rommet til 900 mm anbefalt fri klaring foran aggregatet, og til VVS-føringer og EL-skap, vist på figur 51. Det er videre antatt samme kastelengder som beregnet i foregående kapittel. Det er likevel benyttet andre ventiler i MagiCAD-modellen for å få til samme kastelengder med mindre luftmengder. I modellen er det valgt å bruke tilluftsventilene Trox Tellus OPUS.



Figur 51: Teknisk rom ved hybrid ventilasjon.



Figur 52: Snitt ved kanalkrysning ved hybrid ventilasjon.

CAV-anlegget inneholder en rekke reguleringsspjeld, men disse er kun generiske i modellen. Beregnede dimensjoner for kanalene er vist i Vedlegg H. 3D-presentasjon av ventilasjonsløsningen vises på Vedlegg I.



Figur 53: kanalføringer ved hybrid ventilasjon.

6.2 LCA

Dette delkapittelet beskriver LCA-beregningene som er gjort for denne oppgaven i detalj. Først beskrives mål og omfanget bak klimagassberegningene, etterfulgt av livsløpsregnskapet med forklaring av metoden. Så gjøres en vurdering av livsløpseffekten. Siste fase av LCA-analysen, tolkning, er utført i kapittel 8.3.

6.2.1 Mål og omfang

Formålet med analysen er å gi et grovt overslag av miljøpåvirkningene knyttet til de ulike ventilasjonsprinsippene og deres produkter foreslått for GT2A i oppgaven. Det er derfor valgt å utføre en screening LCA, beskrevet i kapittel 2.5.2. Utviklingsnivå på BIM-modellene beskrevet i kapittel 6.1, antas å være på LOD300. Selv om dette utviklingsnivået tillater forenklet LCA-studier, antas mangel på miljødeklarasjoner innen VVS å være såpass begrensende, at screening LCA vil være å foretrekke.

Oppgaven tar utgangspunkt i en funksjonell enhet på 1m² brutto areal (BTA). I henhold til NS 3720 antas en levetid for bygget på 60 år (Standard Norge, 2018). Hvis levetiden til enkeltproduktene ikke er oppgitt i miljødeklarasjon eller produktblad, antas levetiden i henhold til ISO 15686-1 på 25 år (Standard Norge, 2011a).

I tillegg til å inneholde modulene A1-A3 (produksjon) og B6 (energiforbruk), inneholder denne analysen også modul B4 som omhandler miljøpåvirkninger knyttet til utskiftning av et produkt i løpet av beregningsperioden, vist på figur 7. Slik kan en se hvordan forholdet mellom indirekte- og direkte utslipp varierer. Oppgaven inneholder ikke modulene knyttet til riving (modul C) på grunn av varierende miljødeklarasjoner. Alle beregninger er utarbeidet som Kg CO₂-ekvivalenter/m² BTA.

Standarden NS 3720 skiller mellom to nivåer av datakvalitet brukt i en klimagassberegning: nivå 1 og nivå 2 (ibid.). Nivå 1 tilsvarer datakvalitet basert på miljødeklarasjoner som er laget i henhold til NS-EN 15804. Nivå 2 tilsvarer datakvalitet som ikke kvalifiserer til nivå 1. Oppgaven tar utgangspunkt i begge datakvaliteter. Datakilder som er brukt i klimagassberegningene er dokumentert på klimagassberegningen på Vedlegg K, men er hovedsakelig basert på data fra One Click LCA, IBU-EPD og data fra produsenter.

Klimagassberegningene i denne oppgaven vil være noe begrenset da den ikke tar for seg alle moduler i sine beregninger. Oppgaven vil også være litt begrensende da den ikke dekker alle aspekter beskrevet i NS-EN 14044, som sensitivitetsanalyse og allokeringsprinsipper (Standard Norge, 2006a). Andre relevante forutsetninger er beskrevet senere i oppgaven der det vil være relevant.

6.2.2 Livsløpsregnskap

Metoden for livsløpsregnskapet er basert på framgangsmåte beskrevet av NS 3720, men kan hovedsakelig deles inn i to deler: innhenting av materialmengder fra BIM (vist i Vedlegg J) og innhenting av dokumentasjon av miljøpåvirkningen til de ulike komponentene. Selve klimagassberegningene er utført med egenutviklet beregningsverktøy, laget i Excel, vist på Vedlegg K. Her blir komponentene lagt inn og satt opp mot de ulike miljøpåvirkningene.

Klimagassberegningene er basert på en del forenklinger. LCAen er gjort, som tidligere omtalt, med bakgrunn i modellen laget og beskrevet i kapittel 6.1. Selv om modellen er relativt nøyaktig laget, er komponenter knyttet til brann og oppheng utelatt. Oppgaven har valgt å fokusere på komponentene: aggregat, tilluftsventil, reguleringspjeld, lyddemper, kanal, påstikk, reduksjon og automasjon. For overluftsventil er det antatt samme klimagassdata som ved den aktive tilluftsventilen. De samme miljøverdiene for ventilene ved mekanisk ventilasjon er også brukt for ventilene ved hybride ventilasjon.

Modul A1-A3, miljøpåvirkning fra produksjonen, er beregnet som produktet av antallet og eller mengden av en komponent og tilhørende miljøpåvirkning. For produkter uten EPD er det benyttet data for tilsvarende referanseprodukter, ofte angitt som kg CO₂-ekv/kg komponent.

Da miljødeklarasjonen for kanaler kun spesifiserer kanalstrekk, er bend omregnet til lengdemeter i henhold til norske måleregler i MagiCAD. Selv om produksjonen av bend antageligvis er mer miljøpåvirkende enn ved produksjon av rettstrekk, antas de å ha tilsvarende miljøpåvirkninger. For komponenter som påstikk og reduksjoner er det antatt lik miljøpåvirkning til masse-ekvivalente kanallengder. For lyddempere antas miljøpåvirkningen å være masse-ekvivalent med miljøpåvirkning til en tilsvarende blanding av steinull og ventilasjonsplater. Dette antas å være en akseptabel forenkling, da de største utslippene ofte kan tilskrives modul A1 utvinning av råvarer (Simonen, 2014).

Modul B4, miljøpåvirkning fra utskiftning av den enkelte komponenten er beregnet som produkt av modul A1-A3 og forholdet mellom forventet levetid og beregningsperioden, vist i formel (6-3).

$$N = (A1 - A3) \frac{n_1}{n_2} \quad [Kg CO_2 - ekvivalenter] \quad (6-3)$$

A1-A3	Miljøpåvirkning under produksjon [kg CO ₂ -ekvivalenter]
n1	Beregningsperioden = 60 år [år]
n2	Forventet levetid til komponenten

Modul B6 omhandler energibruk, og er resultat av produktet til strømforbruket og GWP-faktoren til strømmen. For strømforbruk til de ulike ventilasjonsprinsippene, er det tatt utgangspunkt i det leverte energibehovet til postene som kan knyttes til VVS-installasjonene beregnet i kapittel 5, og ikke strømbehovet til bare ventilasjonsinstallasjonene. Dette vil i praksis si postene 1a, 1b, 3a, 3b, 4a og 4b. Dette er gjort for å skape et riktig bilde av strømforbruket til for eksempel naturlig ventilasjon. I teorien har naturlig ventilasjon et strømforbruk ≈ 0 kWh. I et bygg som GT2A, har naturlig ventilasjon et stort behov for romoppvarming via LowEx-løsning. For å få et riktig bilde av klimagassutslippene til hybrid og naturlig ventilasjon, vil det derfor være naturlig og ta med alle poster knyttet til strømbehovet til VVS-installasjonene. Det er antatt to ulike GWP-faktorer til strømmen, norsk el-miks = 18 gram CO₂/kWh og europeisk el-miks = 136 gram CO₂/kWh (Standard Norge, 2018). Den europeiske miksen er basert på et beregnet gjennomsnitt for 2015-2017 (ibid.).

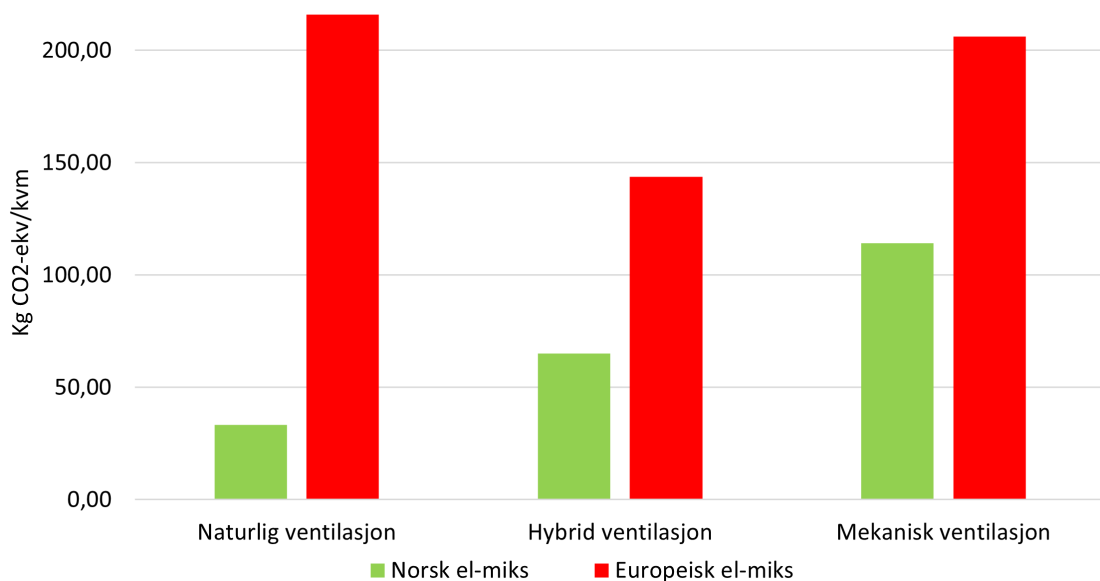
6.2.3 Effektvurdering og resultater

Resultatene av klimagassberegningene framgår av tabell 18, både som totalt og spesifikt utslipp for de ulike ventilasjonsprinsippene med norsk og europeisk el-miks. Sammenligning av spesifikt klimagassutslipp er grafisk framstilt på figur 54. Med norsk el-miks øker klimagassutslippene i takt med graden av kompleksiteten i ventilasjonsprinsippene. Klimagassutslippene fra hybrid ventilasjon er 100 % større enn naturlig ventilasjon. Mekanisk ventilasjon har 245 % større klimagassutslipp enn naturlig ventilasjon. Mellom hybrid og mekanisk ventilasjon øker utslippene med 75 %.

Tabell 18: Beregnede klimagassutslipp.

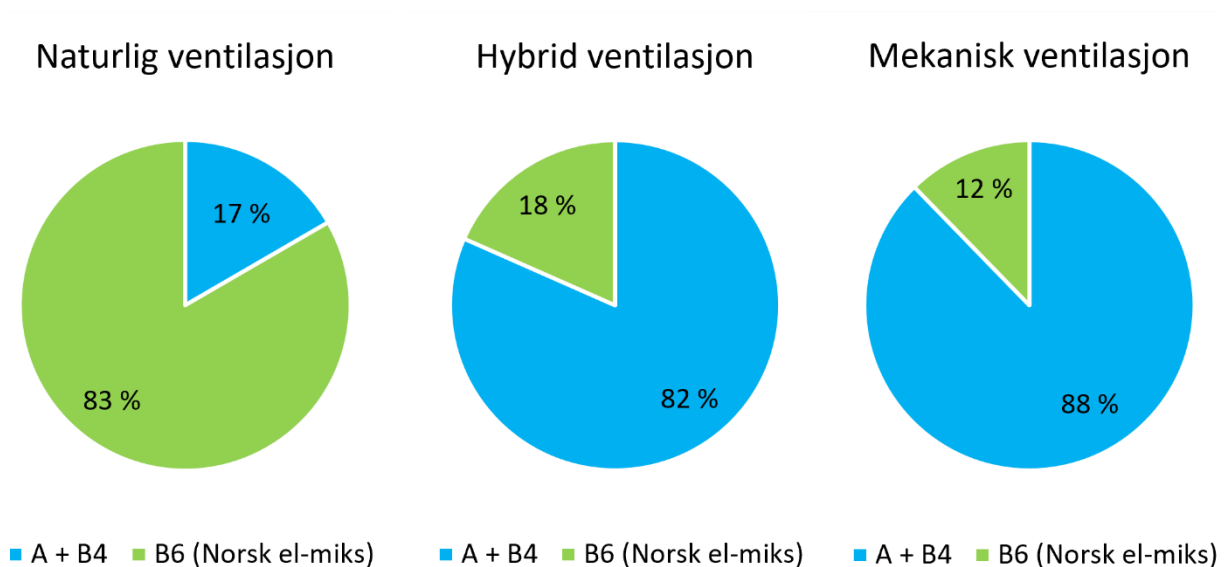
Ventilasjonsprinsipp	Modul	norsk el-miks	europaisk el-miks
Naturlig ventilasjon	Materialer (A+B4)	2.864 Kg CO ₂ -ekv.	
	Energiforbruk (B6)	14.350 Kg CO ₂ -ekv.	108.422 Kg CO ₂ -ekv.
	Totalt	17.214 Kg CO ₂ -ekv.	111.286 Kg CO ₂ -ekv.
	Spesifikt	33 Kg CO₂-ekv./m²	215 Kg CO₂-ekv./m²
Hybrid ventilasjon	Materialer (A+B4)	27.407 Kg CO ₂ -ekv.	
	Energiforbruk (B6)	6.174 Kg CO ₂ -ekv.	46.647 Kg CO ₂ -ekv.
	Totalt	33.581 Kg CO ₂ -ekv.	74.053 Kg CO ₂ -ekv.
	Spesifikt	65 Kg CO₂-ekv./m²	143 Kg CO₂-ekv./m²
Mekanisk ventilasjon	Materialer (A+B4)	51.655 Kg CO ₂ -ekv.	
	Energiforbruk (B6)	7.231 Kg CO ₂ -ekv.	54.631 Kg CO ₂ -ekv.
	Totalt	58.886 Kg CO ₂ -ekv.	106.287 Kg CO ₂ -ekv.
	Spesifikt	114 Kg CO₂-ekv./m²	206 Kg CO₂-ekv./m²

For europeisk el-miks ser klimagassutslippene ulikt ut. Naturlig ventilasjon har de største utslippene, så vidt høyere enn klimagassutslippene ved mekanisk ventilasjon. Med europeisk el-miks har hybrid ventilasjon desidert lavest klimagassutslipp, i snitt 32 % lavere enn naturlig og mekanisk ventilasjon.

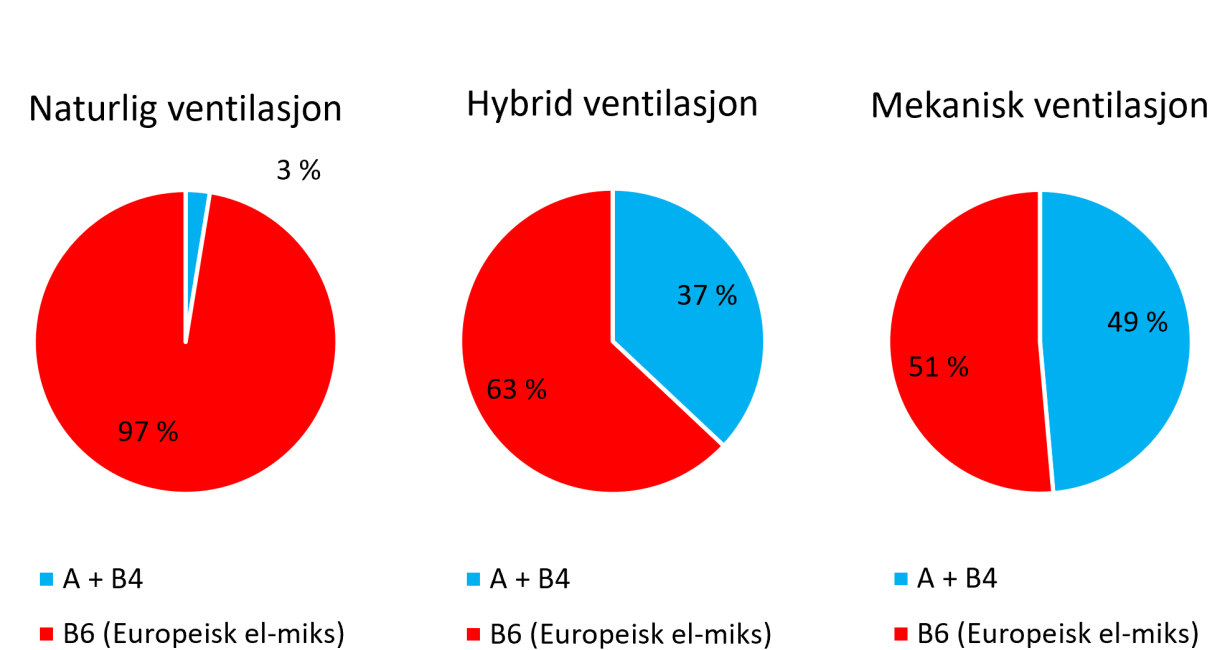


Figur 54: Spesifikt klimagassutslipp.

Figur 55 viser fordelingen av direkte- og indirekte utslipp med norsk el-miks, mens figur 56 viser fordelingen med europeisk el-miks. Med norsk el-miks øker andelen av indirekte utslipp markant med graden av kompleksiteten i ventilasjonsprinsippene. For hybrid og mekanisk ventilasjon er de indirekte utslippene desidert størst, mens naturlig ventilasjon har størst utslipp knyttet til strømforbruket. Med europeisk el-miks skjer de samme endringene, bare i lavere grad. Her er de direkte utslippene fra strømforbruket størst for alle prinsippene.

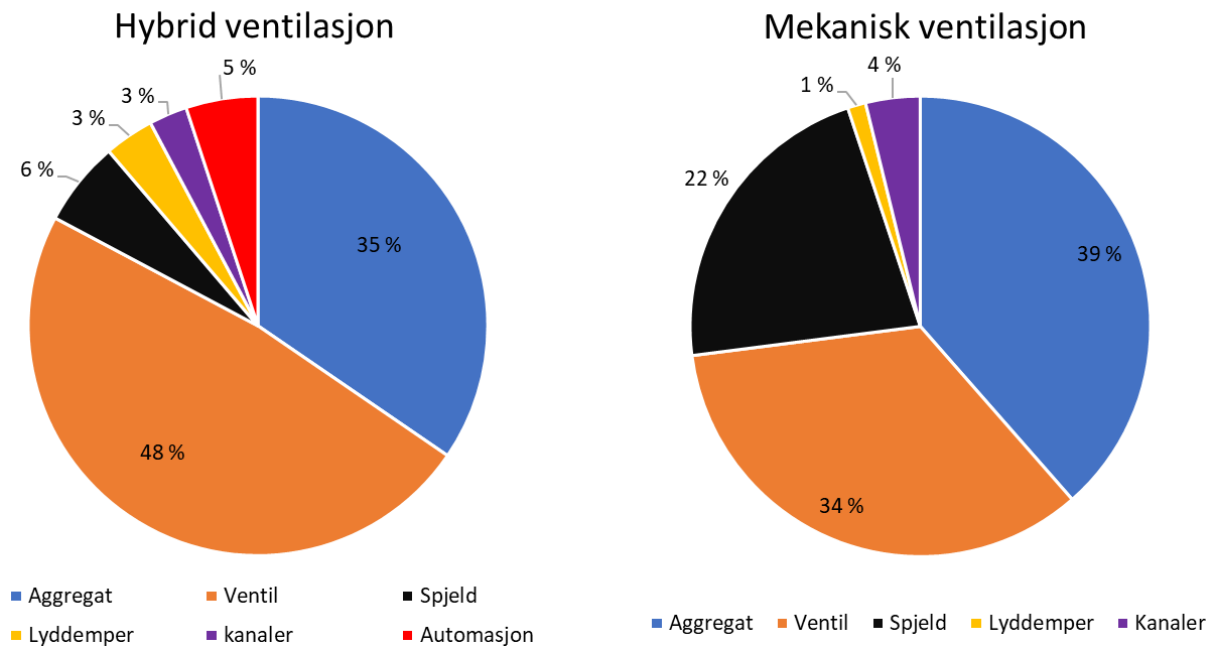


Figur 55: Material vs. energi ved norsk el-miks.



Figur 56: Material vs. energi ved europeisk el-miks.

Figur 57 viser de indirekte utslippene (modul A + B4) for hybrid og mekanisk ventilasjon, ut fra de ulike komponentene. For hybrid ventilasjon utgjør ventiler nesten halvparten av de indirekte utslippene, mens dette reduseres til en tredjedel ved mekanisk ventilasjon. Felles for de ventilasjonsprinsippene er at aggregatet utgjør drøye en tredjedel av de indirekte utslippene. Merk at ved mekanisk ventilasjon står spjeld (sonespjeld) for 22 % av indirekte utslippene tross bruk av aktive tilluftsventiler.



Figur 57: Forholdet mellom indirekte utslipp fra ulike ventilasjonskomponenter.

7 Diskusjon

I dette kapittelet blir resultatene fra de foregående kapitlene diskutert i større detalj, hver for seg. Resultatene blir sammenlignet med teorier og eksisterende litteratur fra teorikapittelet. I tillegg blir valgte metoder diskutert, sammen med eventuelle usikkerhetsmomenter som kan ha hatt en betydning for resultatene.

7.1 Inneklima

Utallige simuleringer av inneklimaet er blitt gjennomført i denne oppgaven. Selv om det er ulike momenter som bør nevnes og diskuteres, tyder resultatene fra simuleringene på at robustheten av inneklimaet reduseres i takt med at bruken av naturlig ventilasjon øker.

Resultatene og vurdering av inneklimaet fra simuleringene, er basert på tradisjonelle krav til inneklima, gitt av blant annet TEK17 og AT. Her viser resultatene at det mekaniske ventilasjonsanlegget vil kunne gi et stabilt og driftssikkert inneklima, selv på de varmeste og kaldeste dagene. Det mekaniske anlegget vil kunne møte de aktuelle krav gitt av myndigheter og standarder.

Naturlig ventilasjon vil, på andre siden av skalaen, kunne få problemer med å møte de tradisjonelle inneklimakravene gitt av TEK17 og AT. Vinterstid vil en kunne oppleve veldig lave temperaturer, ned mot 16°C i de minste rommene. I større rom som kontorlandskapet vil temperaturen ikke falle like mye. Dette kan skyldes flere ting, som lavere luftvekslinger på grunn av lavere persontetthet eller energimagasineringen i de tunge dekkene. Sommerstid vil en kunne få tilsvarende høye temperaturer.

Videre viser simuleringene at naturlig ventilasjon vil kunne gi både daglige og vertikale temperaturforskjeller utenfor dagens anbefalte grenseverdier fra TEK, spesielt vinterstid. Simuleringen viser likevel at det er lavere vertikal temperaturforskjell i små rom med naturlig ventilasjon i stedet for mekanisk ventilasjon. Om dette er reelt eller ikke, er usikkert. Tradisjonelt har omrøringsventiler gode muligheter for å blande luften i et rom. Høyere vertikal temperaturforskjell med mekanisk enn naturlig ventilasjon kan skyldes mangelen på omrøringsventiler i modellen til IDA ICE. Eventuelt kan ulikheten forklares med at ventilene var for høyt plassert i simuleringsprogrammet.

Simuleringene visere videre at naturlig ventilasjon vil kunne gi stor fare for forhøyede lufthastigheter i oppholdssonene. Dette gjelder spesielt i små rom med høy persontetthet om vinteren. Her vil de største hastighetene oppstå i nærheten av fasadene. CO₂-nivåene vil holde seg over de anbefalte maksimalverdiene. Dette er likevel brukerbestemt, for å minimere lukeåpningene og luftbevegelser vinterstid, da resultatene viser at lukene vil styres av CO₂ om vinteren og temperatur om sommeren.

På grunn av ovennevnte, vil naturlig ventilasjon kunne gi fare for lokal og temporær misnøye, med høyere PPD-verdier enn anbefalte maksimalverdier. De største PPD-verdiene oppstår på sommeren, mens simulering viser likevel at en kan få færre misfornøyde i nærheten av lukeåpningene på varme sommerdager. Her vises det tydelig at tilgang til frisk uteluft og utemiljø vil kunne bedre inneklimate for brukere ved enkelte scenarier.

Sammenlignet med naturlig og mekanisk ventilasjon, viser simuleringene at hybrid ventilasjon vil prestere mellom disse to ytterpunktene av ventilasjonsprinsipper. Hybrid ventilasjon med CAV-anlegget i bunn, vil vintertid redusere bruken av lufteluker og dermed også faren for trekk, høye temperaturvariasjoner i høyden og gjennom dagen, samt lave operative temperaturer. Sommerstid vil hybrid ventilasjon, i kombinasjon med luftelukene sikre økte luftskiftebehov når CAV-anlegget ikke strekker til. Oppgaven har ikke vurdert egnetheten til de ulike ventilasjonsprinsippene for ulike romkategorier og -størrelser. Resultatene tyder likevel på at små rom er mer utsatt for dårlig inneklimate ved naturlig ventilasjon – større rom og større volumer har mulig en større treghet og bedre stabilitet. I små rom følger inneklimateprestasjonene tydelig variasjonene i personbelastningen.

For norske klima finnes det, som nevnt i kapittel 2.3 og 2.4, noen studier som vurderer naturlig og hybrid ventilasjon, mot mekanisk ventilasjon. Likevel foreligger det få teoretiske studier av inneklimate i et referansebygg med varierende ventilasjonsløsninger og norsk inneklimate. Resultatene kan derfor ikke direkte sammenliknes fullstendig med andre studier, og det er derfor også vanskelig å argumentere for at alle elementer presterer som forventet. Visse elementer fra andre studier og faglitteraturer kan likevel gi veiledning. Det kan antagelig argumenteres for at forholdene mellom de ulike ventilasjonsprinsippene presteres som forventet, bare enda mer tydeliggjort i denne oppgaven med fokus på et bygg med norsk uteklimate.

Oppgaven har som tidligere nevnt, tatt utgangspunkt i eksisterende og tradisjonelle kvantifiserbare krav for vurdering av inneklimaet. Det finnes likevel, som tidligere beskrevet, god litteratur som indikerer at inneklimaet bør vurderes som et resultat av entalpi (fukt og temperatur). Her vises det at en er mottakelig for «lave» temperaturer og «høye» CO₂-nivåer når entalpien legger til rette for det. Folk er også mer mottagelig for «dårlig» inneklima når uteklimaet blir en direkte del av inneklimaet. Derfor kan det i oppgaven argumenteres for forhøyede CO₂-verdier er greit vinterstid så lenge temperaturen er i orden. Det kan derfor være vanskelig å vurdere inneklimaet kun på bakgrunn av tradisjonelle krav, uten å hensynta andre parametere knyttet til det psykiske og hvordan en mentalt opplever innemiljøet. For vurdering av inneklimaet med naturlig ventilasjon vil det muligens, på bakgrunn av ovennevnte, være naturlig å hevde at en oppnår intensjonen bak lovverket – å sikre godt inneklima, selv om de tradisjonelle kvantifiserbare kravene ikke møtes fullt ut.

For validering av resultatene i oppgaven er det flere usikkerhetsmomenter som bør nevnes, spesielt knyttet til forenklinger av modellene i IDA ICE. Det er spesielt stor usikkerhet knyttet til den foreslåtte klimakanoen i GT2A. Denne er, som tidligere nevnt, ikke modellert i IDA ICE på grunn av begrensninger i programmet. Hvordan dette påvirker inneklimabildet er litt usikkert. Hensikten bak kanoen er å spre tilluften inn i rommet. Dette vil være avgjørende på de kaldeste dagene når kald luft ofte vil velte inn i rommet, og ned langs ytterveggen. Det kan derfor antas at inneklimaet vil være en del bedre i virkeligheten, sammenlignet med resultatene i denne oppgaven. En annen usikkerhet er knyttet til IDA ICE sin mangel på simulering av omrøringsventiler. Selv om det var antydninger til ubehag på grunn av trekk i modellen, kan det antagelig argumenteres for at dette skyldes tilluftsventilen i modellen. I virkeligheten vil en omrøringsventil sikre god omrøring og minimere faren for lokal trekk.

Videre er det også usikkerhet knyttet til selve bruken av programmet. På grunn av omfattende og langvarige simuleringproblemer med IDA ICE, og for å begrense simuleringstidene, ble filene delt opp etter sone, ventilasjonsprinsipp og simuleringstype (årssimulering, sommer-simulering eller vintersimulering). Dette medførte 27 ulike filer som det måtte holdes styr på – ble det endret noe i én fil, måtte det også utføres i andre relevante filer og modeller. Det kan derfor tenkes at det eksisterer noen minimale følgefeil bak inneklimasimuleringene.

Som tidligere nevnt ble det mekaniske anlegget ikke utstyrt med mulighetene for frikjøling nattetid. Det er derfor her usikkert om inneklima ville vært mer stabilt på grunn av magasineringen i de tunge materialene om for eksempel sommeren. Det kan likevel argumenteres for at et riktig og effektivt dimensjonert mekanisk anlegg vil bruke mer energi til å drifte anlegget nattetid, sammenlignet med å kjøre det på dagtid, men med litt økt bruk av kjølebatterier.

Å konkludere basert på kun inneklimatestingene for ventilasjonssystemet vil kunne være problematisk da hele VVS-systemet vil bli levert som pakkedøsninger. Med mekanisk ventilasjon vil en få et mer responsivt og robust anlegg, samtidig som det antageligvis er mer egnet for fremtidig endringer i bruksmønster og bygningskategori, selv om dette ikke er vurdert i oppgaven. Den har heller ikke vurdert effekten av å bruke større under- og overtemperert tilluft for mekanisk og hybrid ventilasjon. En kan godt ha lavere tilluftstemperaturen enn foreslått i denne oppgaven (Ingebrigsten, 2019a). Det kan argumenteres for at dette ville ha redusert den maksimale operative temperaturen på de varmeste sommerdagene med hybrid ventilasjon, uten å gå på akkord med inneklimatestingene.

Selv om det kan tyde på at det er de minste rommene, som multirom 2, som får det dårligste inneklimatestingene, er det spørsmål knyttet til faktisk personbelastning av dette rommet. I simuleringen er det antatt likt bruksmønster for alle sonene i bygget. Det kan argumenteres for at slike små rom blir bli brukt til korte møter og telefonsamtaler. Et annet bruksmønster vil videre endre behovet for tilluft, og spesielt for lukeåpningene ved hybrid og naturlig ventilasjon. Det kan derfor antas at et lavere og mer frekventert bruksmønster vil endre vurderingen av inneklimatestingene i de aller minste rommene.

Til slutt bør det også nevnes at simuleringene er basert på klimafilmer med «gamle» værdata fra 2014. Hva som faktisk er normalt vær i dag, kan diskuteres. Det kan derfor hevdes at inneklimatestingene på kalde dager, vil oppstå i mindre grad i fremtiden.

7.2 Energiytelser

Det er blitt gjennomført flere ulike energisimuleringer i denne oppgaven. Selv om det er noen momenter som bør nevnes og diskuteres, tyder resultatene på at hybrid ventilasjon har lavest netto og levert energibehov. Ved å sammenligne netto energibehov er forskjellen mellom ventilasjonsprinsippene relativt betydelige. Mekanisk ventilasjon har et lavt netto energibehov og møter, sammen med hybrid ventilasjon, kravet fra TEK17.

I GT2A er det som tidligere nevnt, planlagt et moderne energiforsyningssystem. Det kan derfor hevedes at en bør se på levert energibehov. Ved netto energibehov vil naturlig ventilasjon prestere langt unna kravet i TEK17 med 147 kWh/m². Hvis en vurderer levert energibehov, presterer naturlig ventilasjon mye bedre, med et behov på 69 kWh/m². Videre kan det derfor argumenteres for at også naturlig ventilasjon, sammen med hybrid og mekanisk ventilasjon, tilfredsstiller hensikten bak TEK17 §14-1 (1) *Bygninger skal prosjekteres og utføres slik at det tilrettelegges for forsvarlig energibruk.*

Resultatene stemmer godt med eksisterende teori om energiytelsene knyttet til både mekanisk, hybrid og naturlig ventilasjon. Som forventet vil naturlig ventilasjon ha et enormt oppvarmingsbehov om vinteren. Dette skyldes antagelig at det ikke er mulig å varmegjenvinne naturlig ventilasjon.

Det er litt usikkerhet knyttet til forholdet mellom totalt energibehov og energibehovet til hele VVS-systemet og kun til ventilasjonssystemet. Siden naturlig ventilasjon har så stort oppvarmingsbehov kan det argumenteres for at en bør inkludere energibehov til for gulvvarmesystemet i beregningen av forholdet mellom totalt energibehov og energibehov til kun ventilasjonsløsningen.

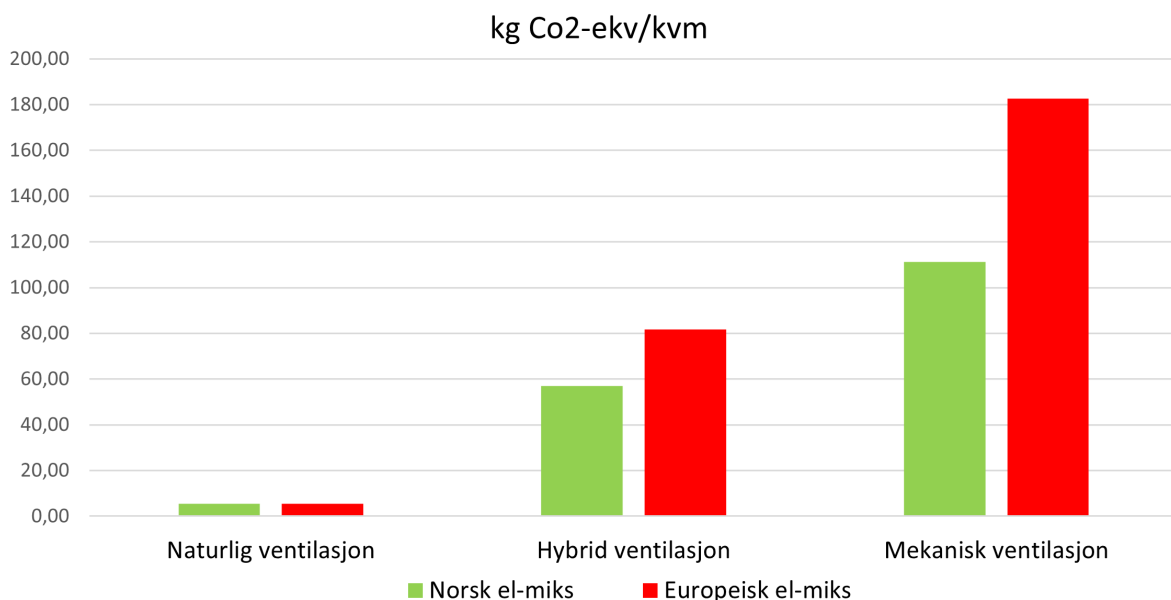
Resultatene viser videre at hybrid ventilasjon kan utnytte styrkene med de naturlige elementene, slik at både netto og levert energibehov reduseres en anelse, sammenlignet med mekanisk ventilasjon. Selv om resultatene er som forventet, er det noen usikkerhetsmomenter som bør nevnes. Det er også usikkerhet knyttet til potensielle følgefeil. For eksempel er det ikke mulig å legge inn helt like utekompenserte CO₂-kurver i Simien og IDA ICE. Det er derfor også usikkerhet knyttet til simuleringene av energibehovet ved naturlig ventilasjon.

Det er også noe usikkerhet knyttet til versjonen av simuleringsprogrammet Simien. Mekanisk ventilasjon har et større romkjølingsbehov enn de to andre ventilasjonsprinsippene. Dette kan skyldes at LowEx-systemet og aggregatet ikke jobber optimalt sammen. Hvis aggregatets adaptive tilluftstemperatur ikke fungerer skikkelig i simuleringsprogrammet, vil det medføre økt romkjølingsbehov i kjølingssesongen. Det kan likevel argumenteres for at dette ikke vil påvirke levert energibehov i stor grad, på grunn av LowEx sin høye kjølefaktor.

Videre er det heller ikke sikkert hvordan nattkjøling og termisk magasinering blir simulert i Simien. Det er i utgangspunktet ikke mulig å regulere nattkjøling på samme måte i Simien som i IDA ICE. Dette vil sannsynligvis ha påvirkning for hvordan den termiske massen blir utnyttet på sommertid, også videre for energibehovet på sommerstid.

7.3 Klimagassberegninger

Resultatene fra klimagassberegningene viser tydelig at de totale klimagassutslippene reduseres ved kompleksiteten av ventilasjonsanlegget, forutsatt norsk forbrukermiks. Med europeisk el-miks har hybrid ventilasjon de laveste klimagassutslippene. Dette gjelder likevel kun når en hensyntar strømforbruket fra alle VVS-installasjonene. Ved å hensynte strømforbruket til kun ventilasjonssystemet, ser en fra figur 58 at forskjellen mellom ventilasjonsprinsippene er en god del annerledes, spesielt for europeisk el-miks. Ved en slik beregning øker utslippene i takt med ventilasjonsprinsippene, uavhengig av strøm-miksen, samtidig som naturlig ventilasjon ikke har noen utslipp i seg selv. Som tidligere beskrevet ville det vært problematisk å vurdere klimagassutslippene basert på strømforbruket fra kun ventilasjonsposter, da hele VVS-anlegget leveres som en pakke, og påvirker hverandre.



Figur 58: Alternativt spesifikt klimagassutslipp.

Resultatene viser videre at de indirekte utslippene har størst miljøpåvirkning for ventilasjonsprinsippene som inneholder en grad av mekanisk ventilasjon med norsk el-miks. Her vil klimagassene fra strømforbruket til ventilasjonsanleggene utgjøre maksimalt 18 % av de totale klimagassutslippene beregnet i denne oppgaven. Ved en europeisk el-miks vil de direkte klimagassutslippene være størst for alle ventilasjonsprinsippene. Beregning av forholdet mellom direkte og indirekte utslipp vil være noe misvisende da en kun har hensyntatt de direkte utslippene fra andre VVS-installasjoner, og ikke de indirekte utslippene. Dette gjelder utslipp knyttet til for eksempel produksjon og utskifting av komponenter som pumper, varme- og kjølerør, samt boring etter bergvarme.

Aggregatet står for en betydelig del av de totale indirekte klimagassutslippene til ventilasjonsanleggene. Dette stemmer godt med eksisterende teori beskrevet i kapittel 2.5. Det er likevel litt usikkerhet i resultatene, vist på figur 57, da det er brukt tilsvarende aktive tilluftsventiler på det hybride anlegget som ved det mekaniske. De hybride passive tilluftsventilen vil antagelig ha betydelig lavere indirekte utslipp, sammenlignet med de den aktive tilluftsventilen brukt i det mekaniske anlegget.

Det er utfordrende å sammenligne resultatene fra oppgaven med lignende studier, da det eksisterer lite litteratur på området, som beskrevet i kapittel 2.5.6. Sammenlignet med masteroppgaven til Josefine Willkomm fra 2020, får denne oppgaven så vidt høyere GWP-verdier (Willkomm, 2020). I hennes studie beregnes det klimagassutslipp til 21 og 57 Kg/CO₂-ekv/m² for henholdsvis hybrid- og mekanisk ventilasjonsanlegget, sammenlignet med 65 og 114 Kg CO₂-ekv./m² i denne oppgaven. Det må nevnes at Willkomm hensyntar modul D. Hadde beregningene i denne oppgaven tatt med modul D, ville antageligvis klimagassutslippene vært noe lavere. Denne oppgaven har også hensyntatt flere komponenter sammenlignet med studien til Willkomm.

Sammenlignet med masteroppgaven til Alexander Borg, som vurderte et mekanisk ventilasjonsanlegg, får denne oppgaven også betydelig høyere resultater med 114 mot hans 34 Kg CO₂-ekv./m² (Borg, 2016). Som beskrevet innledningsvis i kapittel 2.5, viser nyere forskning at ventilasjon- og VVS-installasjoner står for betydelig større utslipp, og andel av de totale utslippene, enn tidligere antatt. Det kan derfor argumenteres for at resultatene fra denne oppgaven stemmer med den siste forskningen. Det er likevel andre usikkerhetsmomenter bak klimagassregnskapet i oppgaven som bør nevnes.

Opgaven har kun hensyntatt modulene A1-A3, B4 og B6 i sine klimagassberegninger. Dette er gjort fordi de fleste eksisterende miljødeklarasjonene er begrenset til disse modulene. Kun EPDen for spirokanaler og reguleringsspjeld inneholder modulen D, spart utslipp på grunn av gjenvinning. For klimagassberegningene i denne oppgaven, betyr det at faktorer som vedlikehold, reparasjon, riving og avhending ikke er hensyntatt.

Som beskrev i kapittel 2.5.6, utgjør produksjonsfasen til et produkt, ofte den største andelen av utslipp gjennom livsløpet til produktet. At ikke alle moduler blir hensyntatt, er en svakhet for beregningene. En vil likevel fra ovennevnte kunne hevde at resultatene fra klimagass-

beregningene og forholdet mellom de ulike ventilasjonsprinsippene, vil være representative for hele livsløpet. Hvis miljødeklarasjonen for spirokanalen og reguleringspjeldet hadde vært illustrerende for alle ventilasjonsprodukter, ville en fått cirka 25 % lavere indirekte klimagassutslipp ved å hensynta modul C og D. Dette er på grunn av verdien av å gjenvinne et produkt. Det er likevel noe usikkerhet knyttet til hva som skjer ved avhending av ventilasjonsprodukter i Norge. Ved å utelate modul D, vil en kunne anta at klimagass-resultatene er konservative.

En annen usikkerhet bak klimagassregnskapet er bruken av generisk data. Beregninger utført av Erichsen & Horgen kan tyde på at generiske verdier oftere er høyere enn verdier hentet fra produkter med egne miljødeklarasjoner (Erichsen & Horgen, 2021). Siden denne oppgaven har brukt både generisk data og produktspesifikke miljødeklarasjoner, kan det også her argumenteres for at de beregnede klimagassutslippene er konservative.

Det er også andre usikkerhetsmomenter bak klimagassberegningene, for eksempel knyttet til forenklingen rundt brann og lyd, samt neglisjering av noen produktkategorier. En av de største usikkerhetene er sannsynligvis likevel basert på de foreslåtte ventilasjonsløsningene. Foreslått hybrid og mekanisk ventilasjonsløsning er ikke nødvendig representative for de faktiske løsninger hvis en skulle designet et ikke-naturlig ventilasjonssystem i GT2A.

Forskjellen mellom det som har blitt lagt inn i MagiCAD, Simien og IDA ICE kan også bidra til noe usikkerhet. Det kan godt hende at det er følgefeil mellom de ulike kapitelenes – for eksempel kan det ha bli gjort feil i ventilasjonsbehov-beregningene som igjen kan ha resultert i for lite aggregat, og dermed feil klimagassutslipp fra denne komponenten. Videre kan det også være en del feil i foreslåtte ventilasjonsdesign. Det er vanlig å ha aggregatlydfeller på inntak og avkast. Selv om Erichsen og Horgen erfarer at Swegon Gold-aggregater, tatt ut med lav SFP, er svært støysvake, og det da kanskje ville vært tilstrekkelig med vinkellydfeller ved tilluft og avtrekk, bør det sannsynligvis vært lydfeller ved inntak og avkast (Erichsen & Horgen, 2021). Dette ville mest sannsynligvis endret tilgjengelig plass i foreslått teknisk rom. Videre er det derfor flere argumenter for at de foreslåtte ventilasjonsløsningene og designet ville sett annerledes ut.

Å konkludere basert på kun klimagassregnskapet for ventilasjonssystemet vil kunne være problematisk da hele VVS-systemet vil endre resultatene drastisk, som vist tidligere. Her vil prosjekter bli levert som pakkeløsninger. Hvis en hadde brukt kun mekanisk ventilasjon i GT2A, ville sannsynligvis LowEx-systemet blitt nedskalert en hel del (selv om oppgaven ikke har sett på indirekte klimagassutslippene fra et slikt system). Dette ville kompensert for de økte klimagassutslippene til det mekaniske anlegget, sammenlignet med det hybride. Slik ville klimagassutslippene fra VVS-løsningen vært en anelse mindre.

Det bør også nevnes at klimagassutslippene for hele bygget, med ulike ventilasjonsløsninger, hadde sannsynligvis sett annerledes ut hvis en hadde hensyntatt elementer som økt takhøyde og da mer betong til veggene. Oppgaven har heller ikke vurdert andre effekter som å ha slette yttervegger i stedet for åpningsbare luker, selv om forskjellen i klimaregnskapet ville vært minimalt. Til slutt bør det også nevnes at resultatene for de direkte utslippene er basert på energisimuleringer. Her vil det også kunne være flere usikkerhets-momenter, som vil kunne gi følgefeil for klimagassregnskapet. Dette er omtalt i kapittel 7.2.

7.4 Diskusjon rundt valgt metoder

Felles for diskusjonen fra de foregående kapitlene, som også bør nevnes, er problematikken knyttet til valgt metode i oppgaven. Alle resultater er basert på simuleringer og personlige tolkninger. Selv om de ulike modellene og beregningene er gjort, så langt det lar seg gjøre, etter gjeldene regler og standarder, vil bruken av simuleringer by på en del usikkerhet knyttet til resultatene. Uten god erfaring fra bransjen, vil en ikke kunne vite med sikkerhet graden av validiteten av resultatene til simuleringene. Dette vil være ekstra gjeldende for temaene belyst her, knyttet til naturlig ventilasjon og LCA av ventilasjonsanlegg i nordiske land.

Oppbyggingen av simuleringene er kun basert på lærdom fra skolebenken, og ikke basert på erfaring. Det vil i praksis bety at de foreslåtte ventilasjonsløsningene, utforming, og beregninger, kan være basert på feil bruk av kunnskap. Ved å ikke ha erfaring fra områdene belyst i denne oppgaven, er faren for følgefeil og feilberegninger noe til stede.

En måte en kunne unngått usikkerhet til resultatene av inneklimasimuleringene, er ved å sammenligne simulert inneklima med målt inneklima i et aktuelt case-bygg over en lengre periode, helst sommer og vinter.

Gjennom sammenligning av ulike case-bygg kunne en også validitert klimagassberegningene. Her kunne en sammenlignet inventaret og antall komponenter brukt i ventilasjonsanleggene for de ulike byggene. Her kunne en også vurdert de beregnede og faktiske energiytelsene. Dette ville forutsatt tilgang til bygg med like ventilasjonsprinsipper, bygd i samme byggestil etter like standarder og krav.

Foreslåtte løsninger hadde likevel vært vanskelig å gjennomføre for GT2A i denne oppgaven. Det skyldes hovedsakelig to ting, at oppgaven er utarbeidet på cirka et halvt års tid, og mangel på tilsvarende bygg i Norge. Det hadde vært behov for betydelig lengre tid med foreslått løsning enn et halvt år. Videre eksisterer det altså ikke noen andre bygg i Norge som er bygd på samme prinsipp som GT2A, og som inneholder de ulike foreslåtte ventilasjonsprinsippene (Stoknes et al., 2018).

8 Konklusjon

Formålet med denne oppgaven er blant annet, som beskrevet i kapittel 1.2, å vurdere inneklimate i GT2A med eksisterende naturlige klimatiseringen og den foreslåtte hybride og mekaniske løsningen. Videre er det et mål å dokumentere hvordan ventilasjonsprinsippene ville påvirke det totale energibehovet i bygget. Formålet er også å dokumentere klimagassutslippene for de ulike ventilasjonsløsningene. Dette kapitlet redegjør for de sentrale konklusjonene og vurderingene for denne oppgaven.

8.1 Inneklima

Oppgaven har belyst inneklimate til de ulike ventilasjonsløsningene foreslått i kontordelen i GT2A. Det er vist når og hvordan de store negative utslagene i inneklimate oppstår. Målet bak innklimasimuleringene må derfor anses som oppnådd. Selv om oppgaven kun har sett på en del av et planlagt bygg på Nydalen i Oslo, kan det på bakgrunn av innklimasimuleringene og diskusjoner i foregående kapiteler, utledes noen generelle konklusjoner om inneklimate med mekanisk, hybrid og naturlig ventilasjon i kaldere klima.

Resultatene viser at det mekaniske anlegget presterer stabilt over hele året, og har et meget godt inneklimate på både varme og kalde sommerdager. Her holdes den operative temperatur innenfor 19-26 °C hele året i arbeidstiden. De daglige og vertikale temperaturforskjellene er innafor de anbefalte verdiene. Det samme kan sies om lufthastighetene, som holder seg under 0,15 m/s for alle soner.

Resultatene viser at de største inneklimateproblemer vil kunne oppstå med naturlig ventilasjon i små rom. I disse rommene vil en kunne få større utslag på den operative temperaturen utenfor 19-26 °C flere timer i året. En vil likevel ikke overskride 26 °C mer enn 50 timer i året. For store soner som kontorlandskapet vil den operative temperaturen holde seg over 19 °C hele året. Om sommeren skli temperaturer i kontorlandskapet så vidt over 26 °C. Dette er på grunn av de store termiske massene i rommet som reduserer de store temperaturutslagene. Bruk av nattkjøling vil derfor være viktig om sommeren.

Resultatene viser videre at det kan være stor fare for trekk nær luftelukene, med hastigheter opp mot 0,4 m/s. Med naturlig ventilasjon vil en kunne få daglige og vertikale variasjoner godt utenfor de anbefalte maksimalverdiene. Simuleringene viser at det er store luftbevegelser selv om en har gitt tilgang til litt forhøyede CO₂-verdier gjennom vinteren for å begrense lukeåpningene og dermed faren for trekk. Resultatene viser at lukene blir styrt av CO₂-verdiene om vinteren og temperatur om sommeren, for både naturlig og hybrid ventilasjon.

Resultatene viser at hybrid ventilasjon, med konstant tilluft i bunnen, vil redusere bruken av lufteluker om vinteren. På denne måten reduseres risikoen for at brukerne vil føle trekk og høye daglige og vertikale temperatursvingninger i fyringssesongen, selv om verdiene fortsatt er så vidt utenfor de anbefalte maksimalverdiene. Om sommeren vil det hybride anlegget bidra til å redusere de forhøyede temperaturene i en viss grad. Oppsummert kan det sies at de forhøyede PPD-verdiene og dårlig inneklima oppstår på grunn av trekk og lave temperaturer om vinteren, og høye temperaturer om sommeren.

Vurdering av inneklimaet med de ulike ventilasjonsprinsippene, inneholder som tidligere nevnt, flere usikkerhetsmomenter. Inneklimaytelsene til hybrid og spesielt naturlig ventilasjon er noe usikkert på grunn av manglende mulighet for simulering av klimakanoen i IDA ICE. En slik klimakano hadde sannsynligvis forbedret en del av problemene knyttet til inneklima og naturlig ventilasjon. Det er også noe usikkerhet knyttet til selve vurderingen av inneklimaet på bakgrunn av nyere forskning, som taler for at en tillater «dårligere klimaverdier» hvis uteklimaet blir en større del av inneklimaet. Dette gjelder spesielt på de kaldeste og varmeste dagene. Forskningen viser også at en ikke skal undervurdere den positive effekten av «bringe» omverdenen inn i et bygg.

8.2 Energiytelser

Oppgaven har belyst potensielt energibehov og energibruk til kontordelen av GT2A med de foreslåtte ventilasjonsløsningene. Målet bak energisimuleringene må derfor anses som oppnådd. Selv om oppgaven kun har sett på en del av et planlagt bygg på Nydalen i Oslo, kan det på bakgrunn av energisimuleringene, utledes noen generelle konklusjoner om energiytelsene med mekanisk, hybrid og naturlig ventilasjon.

Med naturlig ventilasjon, vil ikke kontordelen av bygget tilfredsstillende kravet til netto energibehov gitt i §14-2 (1) på 115 kWh/m². Med naturlig ventilasjon vil en kunne forvente et netto energibehov på godt over dette kravet, opp mot 150 kWh/m². Hybrid og mekanisk ventilasjon vil kunne møte kravet, med et netto energibehov på henholdsvis 76 og 89 kWh/m². Ved å se på levert energibehov, faktisk tilført strøm fra strømmettet, blir forskjellen mellom de ulike ventilasjonsprinsippene mye mindre. Hybrid har både det laveste netto og leverte energibehovet.

Som det ble vist i inneklimasimuleringene, er bruken av nattkjøling en viktig del av klimatiseringsprinsippet sommerstid og en viktig forutsetning for å utnytte den termiske massen optimalt. På grunn av noe usikkerhet knyttet til modellering av dette i simuleringsprogrammet, kan det derfor antas at romkjølingsbehovet er på den konservative siden.

Resultatene viser at andelen av energibehovet som går kun til ventilasjonsløsningene øker med graden av kompleksiteten i ventilasjonsprinsippet. Hvis en hensyntar energibehovet til hele VVS-systemet, har en pakkeløsning med hybrid ventilasjon lavest andel av det totale energibehovet.

8.3 Klimagassberegninger

Opgaven inneholder et grovt overslag av miljøpåvirkningene knyttet til de ulike ventilasjonsprinsippene foreslått for kontordelen i GT2A, som også har vært formålet med klimagassberegningene. Selv om oppgaven kun har sett på en del av et planlagt bygg på Nydalen i Oslo, kan det på bakgrunn av berginger og diskusjoner i foregående kapiteler, utledes noen generelle konklusjoner om miljøpåvirkninger fra ventilasjonsløsninger.

De indirekte utslippene fra ventilasjonsanleggene er desidert størst ved hybrid og mekanisk ventilasjon med norsk forbruksmiks. Ved naturlig ventilasjon står klimagassutslipp fra strømforbruket for de største utslippene. For majoriteten av norske kontorbygninger, som tross alt benytter seg av mekanisk eller hybrid ventilasjon, vil det derfor være viktigst å redusere klimagassutslippene fra installasjonene og velge så rene produkter som mulig. I land med mer «skitten» strøm vil det kunne være vel så viktig å redusere CO₂-faktoren til strømmen og strømforbruket. Videre kan det også konkluderes at i fremtiden, med forhåpentligvis enda lavere CO₂-faktorer enn benyttet i denne oppgaven, vil det bli enda viktigere å redusere de indirekte utslippene. Dette kan for eksempel skje gjennom økt gjenbruk gamle ventilasjonskanaler, færre nybygg, mer rehabilitering eller bruk av mer naturlige ventilasjonsløsninger.

Resultatene viser tydelig at de totale klimagassutslippene fra ventilasjonsanleggene reduseres med graden av kompleksiteten til ventilasjonsprinsippet med norsk el-miks. Bruk av hybrid fremfor mekanisk ventilasjon vil nesten halvere klimagassutslippene. Hvis beregningene utført i denne oppgaven, er representativt for resten av kontorarealene i GT2A, ville dette medført en total besparelse på nesten 230 tonn CO₂-ekvivalenter med norsk el-miks. Ved å velge naturlig fremfor mekanisk ventilasjon, ville besparelsen vært på 379 tonn CO₂-ekvivalenter. Den største besparelsen mellom ventilasjonsprinsippene er mellom mekanisk og hybrid ventilasjon. Med europeisk el-miks har hybrid ventilasjon de laveste klimagassutslippene.

Dokumentasjonen av utslippene fra ventilasjonsanlegg inneholder generelt, som tidligere nevnt, flere usikkerhetsmomenter, da kvaliteten på miljødeklarasjoner fra VVS-produkter varierer veldig. Det er også usikkerhet knyttet til foreslått utformingen av det hybride og mekaniske anlegget i MagiCAD.

8.4 Hovedkonklusjon

Samlet sett viser resultatene at det er mye strøm og store klimautslipp å spare ved å benytte seg av hybrid eller naturlig ventilasjon, sammenlignet med mekanisk ventilasjon. På bakgrunn av resultatene fra inneklimasimuleringene, kan det likevel være utfordrende å forsvare bruken av kun naturlig klimatisering i kaldere strøk. Flere momenter kan tilsi at hybrid ventilasjon vil være den mest optimale løsningen.

For det første har et bygg med hybrid ventilasjon mindre behov for tilført strøm sammenlignet med mekanisk og naturlig ventilasjon. Dette vil være positivt for driftskostnadene, selv om det ikke er vurdert i oppgaven. For det andre vil hybrid ventilasjon også bety store klimagassbesparelser, sammenlignet med mekanisk ventilasjon. Hybrid ventilasjon vil videre redusere bruken av lufteluker om vinteren og derfor redusere faren for trekk og lave temperaturer, samt til en viss grad redusere de høyeste temperaturene om sommeren. Ved å bringe litt av utemiljøet inn i bygget, gjennom hybrid ventilasjon, vil det totalt sett også kunne argumenteres for at hybrid ventilasjon vil gi en bedre totalopplevelse for brukerne, sammenlignet med mekanisk ventilasjon.

Som vist, er det god argumenter for bruken av hybrid ventilasjon i kalde strøk. Likevel er det som nevnt relativt stor usikkerhet knyttet til dokumentasjonen av inneklimate med naturlig ventilasjon. Dette skyldes i hovedsak manglende simuleringsmuligheter av foreslått klimakano i nåværende versjon av valgt simuleringsprogram. Det er redegjort for at denne kanoen vil endre synet på inneklimate med naturlig ventilasjon. På bakgrunn av dette, støttet av at naturlig ventilasjon vil gi et veldig godt inneklimate i majoriteten av driftstiden gjennom resten av året, kan ikke dette ventilasjonsprinsippet avskrives helt.

Oppgavens problemstilling hvorvidt det er mulig å benytte seg av mer naturlige ventilasjonsprinsipper for å redusere energibruken og klimagassutslipp knyttet til ventilasjonsanlegg, og samtidig sikre godt inneklimate, selv i kaldere strøk, kan samlet sett svares bekræftende. En må bare være oppmerksom på hvilke utfordringer som kan oppstå knyttet til inneklimate.

På bakgrunn av ovennevnte kan denne oppgaven brukes til å skape forståelse og oppmerksomhet rundt noen av tilfellene som kan gi dårlig inneklimate ved, helt eller delvis, bruk av naturlig ventilasjon i kontorbygninger i land med kaldt klima som Norge. En endelig anbefaling og valg av ventilasjonsprinsipp bør inngå som en del av en totalvurdering som vurderer inneklimate, energibruk, klimagassutslipp opp mot andre elementer som kostnad, kvalitet, brann, arkitektonisk framtoning og estetikk, fremtidig robusthet for klimaendringer, teknologisk utvikling, ønsker om forenkling av ventilasjonsanleggene og videre samfunnsutvikling.

Oppsummert vil formålet bak oppgaven anses som oppnådd, da den har besvart og belyst flere av problemstillingene oppstilt i kapittel 1.2. Oppgaven har kastet lys over problematikk rundt inneklimate og bruken av naturlig klimatisering i kaldere strøk. Videre har oppgaven også vist at mange av disse problemene kan løses ved å implementere et mindre mekanisk ventilasjonsanlegg som tilfører konstante luftmengder. Oppgaven har likevel også dokumentert noen av fordelene det er ved å bruke naturlige drivkrefter til å regulere inneklimate. Dette gjelder ikke bare gjennom reduserte mekaniske anlegg og energibehov, dermed også lavere klimagassutslipp. Fordelene er også vist gjennom forbedring av inneklimate i henhold til nyere forskning. Delvis bruk av naturlig ventilasjon vil også, ved enkelte scenarier, kunne gi bedre inneklimate sammenlignet med mekanisk ventilasjon, basert på tradisjonelle vurderingskriterier.

9 Forslag til videre arbeid

Selv om oppgaven har belyst flere spørsmål, finnes det flere relevante problemstillinger som ikke er blitt vurdert på grunn av vinklingen i prosjektet. Oppgaven har videre også reist noen spørsmål. Forslag på videre studier er listet opp under:

- Hvor står effekt har en klimakano, som foreslått i GT2A, for inneklimaet med naturlig ventilasjon?
- Hvor nøyaktig er energisimuleringene i Simien sammenlignet med IDA ICE når det kommer til naturlig og hybrid ventilasjon?
- Hvor mye luft kan tilføres rom på de kaldeste dagene før det vil oppleves som trekk?
- Hvordan blir inneklima hvis den blir styrt av entalpien?
- In situ-målinger av fysisk inneklima sammenlignet med simulert inneklima.
- Hvordan kan en effektivt simulere omrøringsventiler i IDA ICE?
- Hvor realistisk er laveksreguleringer med tanke på levert energibehov?
- Hvordan er klimagassutslippene hvis en hensyntar elementer som økte romhøyder og gulvarealer (med forutsetning om at fri høyde beholdes etter installasjon av kanaler, samt arealer til ventilasjonsaggregater)?
- Klimagassberegninger for ulike ventilasjonsprinsipper, og hele VVS-installasjoner som omhandler hele livsløpet og alle modulene ved LCA-regnskap.
- Klimagassregnskap som vurderer utslippene ved installeringa av bergvarme.
- Klimagassregnskap som vurderer utnyttelse av kapp og restoverskudd fra byggeplassen.

Referanser

- Algrøy, M. (2014). *Energibruk og inneklime i skoler og barehager med "mixed-mode" ventilasjon* [Masteravhandling, NTNU].
- Arbeidstilsynet. (2003). *Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen* (444, Issue. <https://www.arbeidstilsynet.no/contentassets/3f86f6d2038348d18540404144f76a22/luftkvalitet-pa-arbeidsplassen.pdf>
- Bakke, J. V. (2014). Samfunnskostnader ved dårlig inneklime i Norge. *Helsebiblioteket.no*, 22(20/14), 147. https://www.helsedirektoratet.no/rapporter/helseradet-spesialnummer-om-inneklime/Helser%C3%A5det%20nr%2020-14%20%E2%80%93%20spesialnummer%20om%20inneklime.pdf/_attachment/inline/6e0ec654-244f-4b1a-9852-1639aafed8f3:2f0d018f7b1423161312edc6443c1437e926a365/Helser%C3%A5det%20nr%2020-14%20%E2%80%93%20spesialnummer%20om%20inneklime.pdf
- BAMSE projektet. (2020). Karolinska Institutet. Retrieved 6. november 2020 from <https://ki.se/imm/bamse-projektet>
- Bedrick, J., Reinhardt, J., & Ikerd, W. (2020, 2020). *Level of Development Specification*. BIMFORUM. <https://bimforum.org/lod/>
- Bolseth, E. (2013). *Hvorfor øker boligprisene?* Norsk Prisbok & AS Bygghanalyse. Retrieved 12. mai 2021 from <https://www.norskiprisbok.no/BookContentFile.aspx?id=84886d72-b83a-4af0-aa9a-e65336ab4cbc>
- Borg, A. A. (2016). *The Environmental Impact of Ventilation Systems in a Norwegian Office Building from a Life Cycle Perspective* [Masteravhandling, NTNU].
- Brager, G. (2020, 2013). *About Mixed-Mode*. Center for the Built Environment, . <https://cbe.berkeley.edu/mixedmode/aboutmm.html>
- Brager, G., Borgeson, S., & Lee, Y. (2007). *Summary report: Control strategies for Mixed Mode Buildings*. Center for Built Environment. <https://escholarship.org/uc/item/8kp8352h>
- Brager, G. S., Paliaga, G., & Dear, R. d. (2004). *Operable Windows, Personal Control, and Occupant Comfort*. R. a. A.-C. E. American Society of Heating, Inc. ., https://www.researchgate.net/publication/280014860_Operable_windows_personal_control_and_occupant_comfort
- Bruijn, H. d., Duin, R. v., & Huijbregts, M. A. J. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment* (Vol. 7). Kluwer Academic Publishers.

- Byggforsk. (2014). *Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper* (470.101). SINTEF.
https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper#i22
- Byggforsk. (2017). *Godt inneklima i yrkesbygninger* (421.505). SINTEF.
https://www.byggforsk.no/dokument/195/godt_inneklima_i_yrkesbygninger
- Dear, R. d. (1999, 28. oktober 1999). *Adaptive Thermal Comfort in Natural and Hybrid Ventilation* International One day Forum on Natural and Hybrid Ventilation,, Sidney.
https://www.en.build.aau.dk/digitalAssets/403/403572_dedear.pdf
- Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning, (2017).
<https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>
- Dokka, T. H. (2021, 10. mars 2021). *Forenkling i Simien* [Mailkorrespondanse].
- Dokka, T. H., Mysen, M., Schild, P., & Tjelflaat, P. O. (2003). *Bygningsintegrert ventilasjon - en veileder*. Økobygg. <https://www.arkitektur.no/bygningsintegrert-ventilasjon?pid=NAL-EcoPublication-Attachment>
- EeBGuide. (2020, 2012). *Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative*. European Commission Research & Innovation Environment. <https://www.eebguide.eu/eeblog/>
- EPD-Norge. (2020, 2019). *Det norske EPD-programmet 2019*. The Norwegian EPD Foundation. <https://www.epd-norge.no/retningslinjer/category364.html>
- Equa. (2021, 24. mars 2021). *IDA Indoor Climate and Energy* EQUA Simulation AB.
<https://www.equa.se/en/ida-ice>
- Erichsen & Horgen. (2021). *Interne notater*.
- Folkehelseinstituttet. (2020). *Inneklima og risiko for smitte av covid-19 - Råd om ventilasjon*.
https://www.fhi.no/contentassets/1af4c6e655014a738055c79b72396de8/inneklima-og-risiko-for-smitte-av-covid-19---rad-om-ventilasjon_27102020.pdf
- Førland-Larsen, A., & Halderaker, I. D. (2016). *Avanserte versus enkle tekniske systemer* (1: 2016). G. Byggallianse. <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Avanserte-versus-enkle-tekniske-systemer-Veileder-2016.pdf>
- Gjerstad, F. O., Hanssen, S. O., Novakovic, V., Thune, J. V., & Wangensteen, I. (2007). *ENØK i bygninger: effektivt energibruk* (3 ed.). Oslo : Gyldendal undervisning,.

- Hamdy, M., & Mauro, G. M. (2019). *Optimizing hybrid ventilation control strategies toward zero-cooling energy building* (10.3389). *Frontiers in Built Environment*.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2019.00097/full>
- Heiselberg, P. (2000). *Design Principles for Hybrid Ventilation*. Aalborg Universitet.
https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/197504067/Design_Principles_for_Hybrid_Ventilation.pdf
- Henriksen, P. (2016, 19. mai 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/>
- Hooper, M. (2015). Automated model progression scheduling using level of development. *Construction Innovation*, 15(4), 429-448. <https://doi.org/10.1108/CI-09-2014-0048>
- Ingebrigsten, S. (2019a). *Ventilasjonsteknikk Del 1* (6 ed.). VVS-foreningen,.
- Ingebrigsten, S. (2019b). *Ventilasjonsteknikk Del 2* (6 ed.). VVS-foreningen,.
- ITBaktuellet. (2020, 2017). *Nå kommer krav til miljødeklarasjon for tekniske installasjoner*. ITBaktuellet. <https://www.itbaktuellet.no/2017/12/20/na-kommer-krav-til-miljodeklarasjon-tekniske-installasjoner/>
- Kiamili, C., Hollberg, A., & Habert, G. (2020). Detailed Assessment of Embodied Carbon of HVAC Systems for a New Office Building Based on BIM. *MDPI*, 12(8).
<https://doi.org/10.3390/su12083372>
- Larsen, H. N. (2019). *BYGG- OG ANLEGGSSSEKTORENS KLIMAGASSTUTSLIPP*. A. Viak.
https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf
- Lie, M. (2015). *Hybrid ventilasjon i moderne bygninger* [Masteravhandling, NTNU].
- Markusson, C. (2011). *Efficiency of building related pump and fan operation* [Doktoravhandling, Chalmers tekniska högskola].
- Meex, E., Hollberg, A., Elke Knapen, L. H., & Verbeeck, G. (2018). Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. *Building and Environment*, 133, 228-236.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.016>
- Najjar, M., Figueiredo, K., Palumbo, M., & Haddad, A. (2017). Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of

- designing a typical office building. *Journal of Building Engineering*, 14, 115-126.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.005>
- NRK. (2016, 9. mai 2016). Mange er sykmeldt på grunn av pollenallergi. NRK.
<https://www.nrk.no/trondelag/mange-er-sykmeldt-pa-grunn-av-pollenallergi-1.12937831>
- Passer, A., Kreiner, H., & Mayd, P. (2012). Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(9), 1116-1130. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0435-6>
- Piasecki, M., Kostyrko, K., Fedorczyk-Cisak, M., & Nowak, K. (2020). *Air Enthalpy as an IAQ Indicator in Hot and Humid Environment—Experimental Evaluation*. MDPI.
<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/6/1481/pdf>
- Roetzel, A., Tsangrassoulis, A., Dietrich, U., & Busching, S. (2010). A review of occupant control on natural ventilation. *Elsevier Science Ltd.*, 13(3), 1001-1013.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002676>
- Santamouris, M., & Wouters, P. (2006). *Building Ventilation: The State of the Art* (1 ed.). Routledge.
- Sartori, I., & Hestnes, A. G. (2006). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 39(3), 249-257.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>
- Simenergi. (2021, 11. april 2021). *Simien*. Simenergi AS. <https://simenergi.no/produkt/>
- Simonen, K. (2014). *Life Cycle Assessment*. Routledge.
- Skree, J., & Vatndal, J.-D. (2008). *Energibruk i bygg – RAMMER, KRAV OG MULIGHETER*. N. Teknologi. <https://www.arkitektur.no/energibruk-i-bygg?pid=NAL-EcoPublication-Attachment>
- Stampe, O. B. (2013). *Varme og klimateknik - Ventilasjonsteknikk*. Danvak.
- Standard Norge. (2005). *Ergonomi i termisk miljø - Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende ved kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal termisk komfort* (NS-EN ISO 7730:2005). <https://www-standard-no.ezproxy.oslomet.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=158329>

- Standard Norge. (2006a). *Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Krav og retningslinjer* (ISO 14044:2006). <https://www-standard-no.ezproxy.oslomet.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=195484>
- Standard Norge. (2006b). *Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk* (ISO 14040:2006). <https://www-standard-no.ezproxy.oslomet.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=236802>
- Standard Norge. (2010). *Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer* (ISO 14025:2006). <https://www-standard-no.ezproxy.oslomet.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=474248>
- Standard Norge. (2011a). *Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework* (ISO 15686-1:2011). <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=482729>
- Standard Norge. (2011b). *Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøprestasjon - Beregningsmetode* (NS-EN 15978:2011). <https://www-standard-no.ezproxy.oslomet.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=600241>
- Standard Norge. (2014a). *Beregning av bygningers energiytelse Metode og data* (NS3031:2014). <https://www-standard-no.ezproxy.hioa.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS3031>
- Standard Norge. (2014b). *Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk* (NS-EN 15251:2007+NA:2014). <https://www-standard-no.ezproxy.hioa.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS+EN+15251&subscr=1>
- Standard Norge. (2018). *Metode for klimagassberegninger for bygninger* (NS 3720:2018). <https://www-standard-no.ezproxy.oslomet.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=992162>
- Stoknes, S. (2018). *Naturligvis*. Skanska. <https://www.futurebuilt.no/content/download/11951/85065>

- Stoknes, S., Løvold, T., Edwards, K., Lassen, N., Hegli, T., Dokka, T. H., Roth, J., Ellefsen, J., Myrup, M., Petersen, A., & Thoresen, G. (2018, 12. februar 2018). Naturligvis – erfaringsseminar. Oslo.
- Struhala, K., & Stránská, Z. (2016, 22. juni 2016). *Impact of Building's Lifespan on the Life Cycle Assessment* Central Europe towards Sustainable Building, Praha.
https://www.researchgate.net/publication/304538499_Impact_of_Building's_Lifespan_on_the_Life_Cycle_Assessment
- Veiledning om Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen, (2016).
<https://www.arbeidstilsynet.no/contentassets/3f86f6d2038348d18540404144f76a22/luftkvalitet-pa-arbeidsplassen.pdf>
- Vik, T. A., & Dokka, T. H. (2001). *Hybrid ventilasjon, Muligheter og barrierer – Eksempler – Kontrollstrategier og Prosjekteringsverktøy* (STF A01015). SINTEF Bygg og Miljø.
https://www.sintef.no/globalassets/upload/a01015_hybrid-ventilasjon.pdf
- Vaage, O. F. (2010, 9. oktober 2012). *Utendørs 2,5 time - menn mer enn kvinne*. Statistisk sentralbyrå. Retrieved 6. november 2020 from <https://www.ssb.no/kultur-og-fritid/artikler-og-publikasjoner/utendørs-2-time-menn-mer-enn-kvinner>
- Willkomm, J. N. (2020). *Comparison of a hybrid ventilation system and a mechanical exhaust air ventilation system with heat recovery through life cycle assessment* [Masteravhandling, Karlstads universitet].
- Ylmén, P., Peñaloza, D., & Mjörnell, K. (2019). Life Cycle Assessment of an Office Building Based on Site-Specific Data. *Energies*, 12(13).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en12132588>
- ZERO. (2021, 12. mai 2021). *Derfor jobber ZERO med å gjøre bygg- og anleggsektoren utslippsfri*. <https://zero.no/fagomrade/bygg-og-anlegg/#dette-gjor-zero>
- Ørnes, I. R., & Dokka, T. H. (2018). *LowEx Lindeberg sykehjem* [Presentasjon].
<https://avantor.no/wp-content/uploads/2019/11/Presentasjon-av-LowEx-for-SYE.pdf?d07f0e>

Vedlegg A Luftmengdebehov

LUFTMENGDER SAMMENDRAG

Sone	Vmax med tilstedeværelse pga. TEK17 [m3/h]	Vmax pga. kontroll på temperaturen [m3/h]	Dimensjonerende
Kontorlandskap	1551,9	4992,3	Temperatur
Møterom 3	411,6	687,9	Temperatur
Multirom 2	163,4	301,8	Temperatur
Sekundærrom	339,0		TEK17

LUFTMENGDE PGA. PERSONER OG EMISJONER

Kilde		1 L/s =	3,6 m ³ /h	15251 B.1.2		15251 tab B1		15251 tab B1/3031 tab H2		3031 tab H.2		Ventilasjon pga. personbelastning		Uten tilstedeværelse				Med tilstedeværelse				Avtrekk (uten samtidighet)		
Rom	kvm	Emisjon (l/s)/m2	Person (l/s)/pers	Antall personer	Persontetthet		Tilstedeværelse		Vmin m3/h	Vmin (m3/h)/m2	Vsnitt m3/h	Vsnitt (m3/h)/m2	Vmax m3/h	Vmax (m3/h)/m2	Vsnitt m3/h	Vsnitt (m3/h)/m2	Vmax m3/h	Vmax (m3/h)/m2	Vmin m3/h	Vsnitt m3/h	Vmax m3/h			
Primærareal	Kontorlandskap	273,7	0,35	7	40	10	5	60%	90%	344,9	1,3	1352,9	1034,6	3,8	1724,3	6,3	620,8	2,3	1551,9	5,7	344,9	1034,6	1724,3	
	Møterom 1	18,9	0,35	7	8	5	2	60%	90%	23,8	1,3	225,4	119,1	6,3	262,0	13,9	71,4	3,8	235,8	12,5	23,8	119,1	262,0	
	Møterom 2	12,2	0,35	7	6	5	2	60%	90%	15,4	1,3	166,6	76,9	6,3	169,1	13,9	46,1	3,8	152,2	12,5	15,4	76,9	169,1	
	Møterom 3	33	0,35	7	14	5	2	60%	90%	41,6	1,3	394,4	207,9	6,3	457,4	13,9	124,7	3,8	411,6	12,5	41,6	207,9	457,4	
	Multirom 1	13,9	0,35	7	4	5	2	60%	90%	17,5	1,3	118,3	87,6	6,3	192,7	13,9	52,5	3,8	173,4	12,5	17,5	87,6	192,7	
	Multirom 2	13,1	0,35	7	4	5	2	60%	90%	16,5	1,3	117,3	82,5	6,3	181,6	13,9	49,5	3,8	163,4	12,5	16,5	82,5	181,6	
Sekundærareal	Garderobe	15	0,35	0	-	-	-	-	-	18,9	1,3	18,9	18,9	1,3	18,9	1,3	18,9	1,3	18,9	1,3	18,9	18,9	18,9	
	Printerrom	8	0,35	0	-	-	-	-	-	10,1	1,3	10,1	10,1	1,3	10,1	1,3	10,1	1,3	10,1	1,3	10,1	10,1	10,1	
	3*WC	10,3	0	0	-	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	108,0	108,0	108,0	
	Trapperom	36,5	0,35	0	-	-	-	-	-	46,0	1,3	46,0	46,0	1,3	46,0	1,3	46,0	1,3	46,0	1,3	46,0	46,0	46,0	
	Heis	5,2	0	0	-	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	156,0	156,0	156,0	
Tekniske rom	9,2	0	0	-	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Sum	449								534,6		2449,8	1683,5		3061,9		1040,1		2763,2		798,6	1947,5	3325,9		
Primærareal	364,8	81%							1,2		5,5	3,7		6,8		2,3		6,2		1,8	4,3	7,4		
Sekundærareal	84,2	19%							0,33		1,52	1,04		1,89		0,64		1,71						
									17%		100%	55%		100%		34%		90%						
					Primærareal	Sekundærareal																		
					Kontor	Møterom																		
Generelt	Arealandel	61%	39%	19%																				
	(l/s)/person	7	7	-																				
	(l/s)/m2	0,35	0,35	0,35																				
	Snitt i driftstiden	m2/person	10	2	-																			
	tilstedeværelse	60%	60%	0%																				
	Snitt i driftstiden	m2/person	5	2	-																			
	tilstedeværelse	90%	90%	0%																				

Sannsynlig aggregatluftmengder bygget				
Vmin	1,5	(m3/h)/m2	0,4	(l/s)/m2
Vsnitt	5,4	(m3/h)/m2	1,5	(l/s)/m2
Vmax	8,7	(m3/h)/m2	2,4	(l/s)/m2

LUFTMENGDE PGA. VARMEOVERSKUDD

Tilskudd															
rom	kvm	personer	Person	lys	utstyr	Vindusarealer						soltransmisjon	avskjermingsfaktor		
			W/person	w/m2	w/m3	Fasade	A7	B3	B2	B1	A5			A6	
Kontorlandskap	273,7	45	80	3	20,9		11,04	24,84	6,9	16,56	0	0	0,34	0,65	
Møterom 3	33	14	80	3	10		0	0	0	0	5,52	8,28	0,34	0,65	
Multiroom 2	13,1	4	80	3	10		0	0	0	2,76	2,76	0	0,34	0,65	
Møterom 1	18,9	8	80	3	10		Vinduasareal	8,28		sol på fasade	110		0,34	0,65	
Møterom 2	12,2	6	80	3	10		Vinduasareal	2,76		sol på fasade	110		0,34	0,65	
Multiroom 1	13,9	4	80	3	10		Vinduasareal	2,76		sol på fasade	110		0,34	0,65	
							Person	Lys	utstyr	sol	total	Luftmengder			
												m3/h	l/s	l/s/m2	
							3600	821,1	5720,33	3270,0	13411,4	4999,3	1388,7	5,1	18,2655786
							1120	99	330	295,8	1844,8	687,7	191,0	5,8	20,8389504
Tinne	24						320	39,3	131	319,0	809,3	301,7	83,8	6,4	23,0290702
Ttil	16	deltT	8				640	56,7	189	201,2868	1087,0	405,2	112,6	6,0	21,438567
							480	36,6	122	67,0956	705,7	263,1	73,1	6,0	21,5620906
							320	41,7	139	67,0956	567,8	211,7	58,8	4,2	15,2268654
Fasade	A7	B3	B2	B1	A5	A6									
Asimut	70	120	180	230	278	341									
solinnstråling	100	100	602	426	97	97									
$\dot{V} = \frac{\Phi_o \cdot 3600}{c_{pl} \cdot \rho \cdot (T_i - T_t)} \quad [m^3/h]$															

Vedlegg B Aggregatdata

AGGREGATDATA – CAV

AHU Design Technical specification, general survey



Project: Masteroppgave_CAV
Unit name: CAV - Design data

Date: 06/03/2021
21 / 1.0.20210204.1180144
Unit ID: AD-10000879082

GOLD F RX
Manufactured by Swegon, Kvänum, Sweden

Dimensioning data		CAV
Unit size		007
Air density		1.200 kg/m ³
Supply air flow		1,944 m ³ /h
Static pressure drop	Outdoor air duct	30 Pa
	Supply air duct	100 Pa
Extract air flow		1,940 m ³ /h
Static pressure drop	Extract air duct	100 Pa
	Exhaust air duct	30 Pa
Climate data		Oslo, Norway
Design outdoor temperature, summer		23.7 °C
Design outdoor humidity, summer		54 %
Design outdoor temperature, winter		-18.4 °C
Design outdoor humidity, winter		97 %
Supply air temperature, summer		17.0 °C
Supply air temperature, winter		20.0 °C



Key Performance Data		
Specific fan power SFPv	Purging flow including leakage, clean filters	1,12 kW/(m ³ /s)
Dry-bulb temperature efficiency of supply air		85.2 %
Eurovent Energy Efficiency Class		A+ 2016
ErP Commission Regulation (EU) No 1253/2014		Compliant 2018

Functional sections viewed in the direction of air flow	Velocity m/s	Air Temperature in/out Winter °C	Air Temperature in/out Summer °C	Power kW	Design Pressure drop Pa	Noise Level dB(A)
Outdoor air duct					-30	61
Damper					-6	
End section					-14	
Filter	1.24				-90	
Rotary heat exchanger	1.93	-18.4/16.0	23.7/23.7		-118	
Fan				0.42	439	
Silencer	1.40				-12	
Heating coil, water, in casing	1.81	16.6/20.0		2.20	-12	
Cooling coil, water, in casing	1.81		24.3/17.0	5.28	-47	
End section					-11	
Supply air duct					-100	59
Extract air duct					-100	62
End section					-12	
Filter	1.16				-42	
Rotary heat exchanger	1.93	22.0/-12.5	25.0/25.0		-124	
Extra pressure drop					-79	
Fan				0.42	409	

AGGREGATDATA – VAV

AHU Design Technical specification, general survey



Project: Masteroppgave_DCV
Unit name: DCV - Design data

Date: 06/03/2021
21 / 1.0.20210204.1180144
Unit ID: AD-10000879083

GOLD F RX
Manufactured by Swegon, Kvänum, Sweden

Dimensioning data		DCV
Unit size		014
Air density		1.200 kg/m ³
Supply air flow		7,208 m ³ /h
Static pressure drop	Outdoor air duct	50 Pa
	Supply air duct	150 Pa
Extract air flow		7,208 m ³ /h
Static pressure drop	Extract air duct	150 Pa
	Exhaust air duct	50 Pa
Climate data		Oslo, Norway
Design outdoor temperature, summer		26.7 °C
Design outdoor humidity, summer		54 %
Design outdoor temperature, winter		-19.8 °C
Design outdoor humidity, winter		90 %
Supply air temperature, summer		17.0 °C
Supply air temperature, winter		20.0 °C




Key Performance Data		
Specific fan power SFPv	Purging flow including leakage, clean filters	1.37 kW/(m ³ /s)
Dry-bulb temperature efficiency of supply air		85.7 %
Eurovent Energy Efficiency Class		A+ 2016
ErP Commission Regulation (EU) No 1253/2014		Compliant 2018

Functional sections viewed in the direction of air flow	Velocity m/s	Air Temperature in/out Winter °C	Air Temperature in/out Summer °C	Power kW	Design Pressure drop Pa	Noise Level dB(A)
Outdoor air duct					-50	62
Air intake section					-46	
Connection frame					-2	
Damper					-1	
Filter	1.25				-89	
Rotary heat exchanger	1.76	-19.8/16.0	26.7/25.2		-104	
Fan				0.83	506	
Heating coil, water, in casing	1.42	16.7/20.0		4.11	-8	
Cooling coil, water, in casing	1.49		25.9/17.0	14.44	-38	
End section					-4	
Supply air duct					-150	74
Extract air duct					-150	64
End section					-4	
Filter	1.18				-42	
Rotary heat exchanger	1.76	22.0/-13.8	25.0/26.5		-110	
Extra pressure drop					-63	
Fan				0.74	429	

Vedlegg C IDA ICE inndata

Input data Report

Page 1 of 9

		Input data Report	
Project		Building	
		Model floor area	418.6 m ²
Customer		Model volume	1506.7 m ³
Created by	Lars Trygve Bekkeli	Model ground area	0.0 m ²
Location	Oslo-Blindern1	Model envelope area	235.9 m ²
Climate file	Synthetic (winter)	Window/Envelope	46.3 %
Case	Plan 7_hybrid	Average U-value	0.3891 W/(m ² K)
Simulated	07.04.2021 10:24:34	Envelope area per Volume	0.1565 m ² /m ³

file:///C:/Users/Larse/AppData/Local/Temp/idamod50/Plan%207 hybrid/indata repor... 07.04.2021

Fixed infiltration airflow rate				12.556 l/s
Building envelope	Area [m ²]	U [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	126.61	0.14	17.62	19.20
U0,14 gips innvendig	126.61	0.14	17.62	19.20
Walls below ground	0.00	0.00	0.00	0.00
Roof	0.00	0.00	0.00	0.00
Floor towards ground	0.00	0.00	0.00	0.00
Floor towards amb. air	0.00	0.00	0.00	0.00
Windows	109.26	0.56	60.67	66.10
U0,65 g0,4 t0,36	78.66	0.65	51.13	55.71
TettFelt	30.60	0.31	9.54	10.39
Doors	0.00	0.00	0.00	0.00
Thermal bridges			13.49	14.70
Total	235.87	0.39	91.77	100.00

Thermal bridges	Area or Length	Avg. Heat conductivity	Total [W/K]
External wall / internal slab	131.05 m	0.000 W/(m K)	0.000
External wall / internal wall	21.56 m	0.000 W/(m K)	0.000
External wall / external wall	10.84 m	0.000 W/(m K)	0.000
External windows perimeter	328.20 m	0.000 W/(m K)	0.000
External doors perimeter	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Roof / external walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External slab / external walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Balcony floor / external walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External slab / Internal walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Roof / Internal walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External walls, inner corner	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Roof / external walls, inner corner	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External slab / external walls, inner corner	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Total envelope (incl. roof and ground)	235.87 m²	0.057 W/(m² K)	13.487
Extra losses	-	-	-0.000
Sum	-	-	13.487

Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(m ² K)]	U Frame [W/(m ² K)]	U Total [W/(m ² K)]	U*A [W/K]	Shading factor
ENE	16.34	0.54	0.57	0.54	8.83	0.59
ESE	36.29	0.54	0.58	0.54	19.73	0.59
S	6.90	0.65	0.65	0.65	4.49	0.40
SW	25.82	0.56	0.58	0.56	14.57	0.55
W	12.38	0.53	0.58	0.54	6.67	0.60
NNW	11.53	0.55	0.58	0.55	6.39	0.57
Total	109.26	0.55	0.58	0.56	60.67	0.57

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
Standard air handling unit	422.50/360.00	0.65/0.60	0.65/0.60	0.60/1.00

DHW use	L/per occupant and day	No. of persons	Total, [l/s]
	0.000	63.000	0.000

Click to hide Occupant schedules in zones

Schedule name	Percentage of zones with this schedule (% of total zone area).
pers prNS3031	100.00

Click to hide Lighting schedules in zones

Schedule name	Percentage of zones with this schedule (% of total zone area)
7-17	100.00

Click to hide Equipment schedules in zones

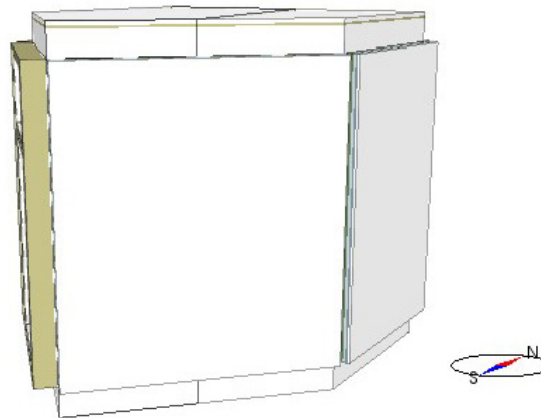
Schedule name	Percentage of zones with this schedule (% of total zone area)
pers prNS3031	8.75
utstyr prNS3031	91.25

Click to hide Controller setpoints in zones

Setpoints Max/Min	Percentage of zones with these setpoints (% of total zone area)
24.00/21.00	100.00

Click to hide more detailed zone input data

Multrom 2



Zone windows

No.	Window						Glazing				Frames		External shading		Internal shading		
	WM	ORI [°]	TIL [°]	H [m]	W [m]	A [m ²]	ID [-]	U _g [W/(m ² K)]	g [-]	T _v [-]	R _f [%]	U _f [W/(m ² K)]	r _d [m]	Type [-]	Type [-]	g _{int} [-]	Control [-]
1	Standard	230.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
2	Standard	230.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
3	Standard	278.0	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25				
4	Standard	278.0	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
5	Standard	278.0	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	

Glazings

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ID [-]	Name [-]	Manufacturer [-]	Thickness [mm]	U_p [W/(m ² K)]	g [-]	Tau_a [-]	T_v [-]	Layers Outside - inside	Thickness [mm]
G1	TettFelt			0.3	1.0	0.9998	1.0E-7		
G2	U0,65 g0,4 t0,36			0.3	1.0	0.9998	1.0E-7		

ID [-]	(ICE INDATA-REPORT WIN_INT_SHAD_TYP)
I1	Internal blind (BRIS)

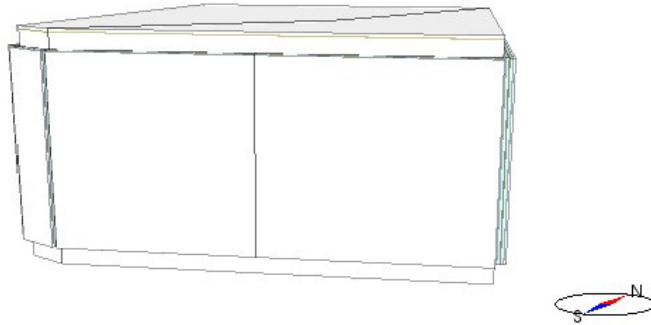
Wall data

ID [-]	Wall name [-]	Wall type [-]	A [m ²]	Connected to	Azimuth [°]	Slope [°]	U-value [W/(m ² K)]	Thickness [m]	Inner surface		Outer surface	
									ϵ	a	ϵ	a
S1	Ceiling	Int. ceiling	14.54	None		180.0	0.9343	0.375	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 5	Int. wall	11.62	Kontorlandskap	140.0	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 4	Int. wall	8.151	Kontorlandskap	98.36	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 3	Int. wall	14.45	None	7.993	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S3	Wall 2	Ext. wall	5.969	Building body.f1a	278.0	90.0	0.1392	0.273	0.9	0.5	0.9	0.5
S3	Wall 1	Ext. wall	4.989	Building body.f4cb	230.2	90.0	0.1392	0.273	0.9	0.5	0.9	0.5
S1	Floor	Int. floor	14.54	None		0.0	0.9343	0.375	0.9	0.5	0.9	0.5

Construction data

ID [-]	Construction name [-]	Wall type [-]	Thickness [m]	U-value [W/(m ² K)]	Layers Outside - inside	Thickness [m]
S1	0,3m betong	Int. floor	0.375	0.9343	Concrete	0.05
					Light insulation	0.025
					Concrete	0.3
S2	gips	Int. wall	0.198	0.5398	Gypsum	0.026
					Gypsum	0.026
					Air in 30 mm vert. air gap	0.032
					Light insulation	0.03
					Air in 30 mm vert. air gap	0.032
					Gypsum	0.026
					Gypsum	0.026
S3	U0,14 gips innvendig	Ext. wall	0.273	0.1392	Gypsum	0.013
					Light insulation (example)	0.25
					Render	0.01

Møterom 3



Zone windows

No.	Window						Glazing				Frames		External shading		Internal shading		
	WM	ORI [°]	TIL [°]	H [m]	W [m]	A [m ²]	ID [-]	U _g [W/(m ² K)]	g [-]	T _v [-]	R _f [%]	U _f [W/(m ² K)]	r _e [m]	Type [-]	Type [-]	g _{int} [-]	Control [-]
1	Standard	278.0	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
2	Standard	278.0	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25				
3	Standard	278.0	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65		
4	Standard	278.0	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65		
5	Standard	341.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
6	Standard	341.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
7	Standard	341.2	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25				
8	Standard	341.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65		
9	Standard	341.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65		
10	Standard	341.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65		

Glazings

ID [-]	Name [-]	Manufacturer [-]	Thickness [mm]	U _g [W/(m ² K)]	g [-]	Tau _e [-]	T _v [-]	Layers Outside - inside	Thickness [mm]
G1	TettFelt			0.3	1.0	0.9998	1.0E-7		
G2	U0,65 g0,4 t0,36			0.3	1.0	0.9998	1.0E-7		

ID [-]	(ICE INDATA-REPORT WIN_INT_SHAD_TYP)
I1	Internal blind (BRIS)

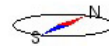
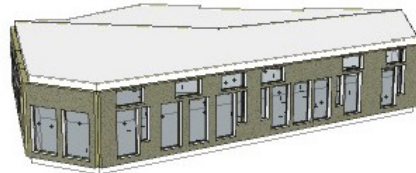
Wall data

ID [-]	Wall name [-]	Wall type [-]	A [m ²]	Connected to	Azimuth [°]	Slope [°]	U-value [W/(m ² K)]	Thickness [m]	Inner surface		Outer surface	
									ε	a	ε	a
S1	Ceiling	Int. ceiling	36.64	None		180.0	0.9343	0.375	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 5	Int. wall	2.858	None	188.0	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 4	Int. wall	28.32	Kontorlandskap	160.9	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 3	Int. wall	17.57	None	71.04	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S3	Wall 2	Ext. wall	10.98	Building body.f1b	341.2	90.0	0.1392	0.273	0.9	0.5	0.9	0.5
S3	Wall 1	Ext. wall	10.85	Building body.f1a	278.0	90.0	0.1392	0.273	0.9	0.5	0.9	0.5
S1	Floor	Int. floor	36.64	None		0.0	0.9343	0.375	0.9	0.5	0.9	0.5

Construction data

ID [-]	Construction name [-]	Wall type [-]	Thickness [m]	U-value [W/(m ² K)]	Layers Outside - inside	Thickness [m]
S1	0,3m betong	Int. floor	0.375	0.9343	Concrete	0.05
					Light insulation	0.025
					Concrete	0.3
S2	gips	Int. wall	0.198	0.5398	Gypsum	0.026
					Gypsum	0.026
					Air in 30 mm vert. air gap	0.032
					Light insulation	0.03
					Air in 30 mm vert. air gap	0.032
					Gypsum	0.026
					Gypsum	0.026
S3	U0,14 gips innvendig	Ext. wall	0.273	0.1392	Gypsum	0.013
					Light insulation (example)	0.25
					Render	0.01

Kontorlandskap



Zone windows

No.	Window	Glazing										Frames		External shading		Internal shading	
		WM	ORI [°]	TIL [°]	H [m]	W [m]	A [m ²]	ID [-]	U _g [W/(m ² K)]	g [-]	T _v [-]	R _f [%]	U _f [W/(m ² K)]	r _e [m]	Type [-]	Type [-]	g _{int} [-]
1	Standard	70.12	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
2	Standard	70.12	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
3	Standard	70.12	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
4	Standard	70.12	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25				
5	Standard	70.12	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25				
6	Standard	70.12	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
7	Standard	70.12	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
8	Standard	70.12	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
9	Standard	70.12	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
10	Standard	120.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
11	Standard	120.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
12	Standard	120.2	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25				
13	Standard	120.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
14	Standard	120.2	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25				
15	Standard	120.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
16	Standard	120.2	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25				
17	Standard	120.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
18	Standard	120.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
19	Standard	120.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
20	Standard	120.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
21	Standard	120.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
22	Standard	120.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
23	Standard	120.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
24	Standard	120.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
25	Standard	120.2	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25				
26	Standard	120.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
27	Standard	120.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25				
28	Standard	120.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
29	Standard	120.2	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25				
30	Standard	180.0	0	2.3	1.5	3.45	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	
31	Standard	180.0	0	2.3	1.5	3.45	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1		0.65	

32	Standard	230.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25			
33	Standard	230.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65	
34	Standard	230.2	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25			
35	Standard	230.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65	
36	Standard	230.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65	
37	Standard	230.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25			
38	Standard	230.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65	
39	Standard	230.2	0	0.8	1.5	1.2	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.3	0.25			
40	Standard	230.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65	
41	Standard	230.2	0	1.7	0.5	0.85	G1	0.3	1.0	0.9998	10.0	0.65	0.25			
42	Standard	230.2	0	2.3	1.2	2.76	G2	0.65	0.4	0.36	10.0	0.65	0.25	I1	0.65	

Glazings

ID [-]	Name [-]	Manufacturer [-]	Thickness [mm]	U_g [W/(m ² K)]	g [-]	τ_{au_e} [-]	T_v [-]	Layers Outside - inside	Thickness [mm]
G1	TettFelt			0.3	1.0	0.9998	1.0E-7		
G2	U0,65 g0,4 t0,36			0.3	1.0	0.9998	1.0E-7		

ID [-]	(ICE INDATA-REPORT WIN_INT_SHAD_TYP)
I1	Internal blind (BRIS)

Wall data

ID [-]	Wall name [-]	Wall type [-]	A [m ²]	Connected to	Azimuth [°]	Slope [°]	U-value [W/(m ² K)]	Thickness [m]	Inner surface		Outer surface	
									ϵ	a	ϵ	a
S1	Ceiling	Int ceiling	367.4	None		180.0	0.9343	0.375	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 12	Int. wall	23.3	None	340.7	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 11	Int. wall	3.752	None	250.9	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 10	Int. wall	25.02	None	340.9	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 9	Int. wall	4.299	None	69.71	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 8	Int. wall	15.23	Møterom 3	340.9	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 7	Int. wall	17.64	None	277.7	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 6	Int. wall	9.14	Multirom 2	278.3	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S2	Wall 5	Int. wall	11.89	Multirom 2	320.0	90.0	0.5398	0.198	0.9	0.5	0.9	0.5
S3	Wall 4	Ext. wall	31.84	Building body.f4cb	230.2	90.0	0.1392	0.273	0.9	0.5	0.9	0.5
S3	Wall 3	Ext. wall	6.827	Building body.f4ca	180.0	90.0	0.1392	0.273	0.9	0.5	0.9	0.5
S3	Wall 2	Ext. wall	36.87	Building body.f1d	120.2	90.0	0.1392	0.273	0.9	0.5	0.9	0.5
S3	Wall 1	Ext. wall	18.28	Building body.f1c	70.12	90.0	0.1392	0.273	0.9	0.5	0.9	0.5
S1	Floor	Int. floor	367.4	None		0.0	0.9343	0.375	0.9	0.5	0.9	0.5

file:///C:/Users/Larse/AppData/Local/Temp/idamod50/Plan%207_hybrid/indata_repor... 07.04.2021

Construction data

ID [-]	Construction name [-]	Wall type [-]	Thickness [m]	U-value [W/(m ² K)]	Layers Outside - Inside	Thickness [m]
S1	0,3m betong	Int. floor	0.375	0.9343	Concrete	0.05
					Light insulation	0.025
					Concrete	0.3
S2	gips	Int. wall	0.198	0.5398	Gypsum	0.026
					Gypsum	0.026
					Air in 30 mm vert. air gap	0.032
					Light insulation	0.03
					Air in 30 mm vert. air gap	0.032
					Gypsum	0.026
					Gypsum	0.026
S3	U0,14 gips innvendig	Ext. wall	0.273	0.1392	Gypsum	0.013
					Light insulation (example)	0.25
					Render	0.01

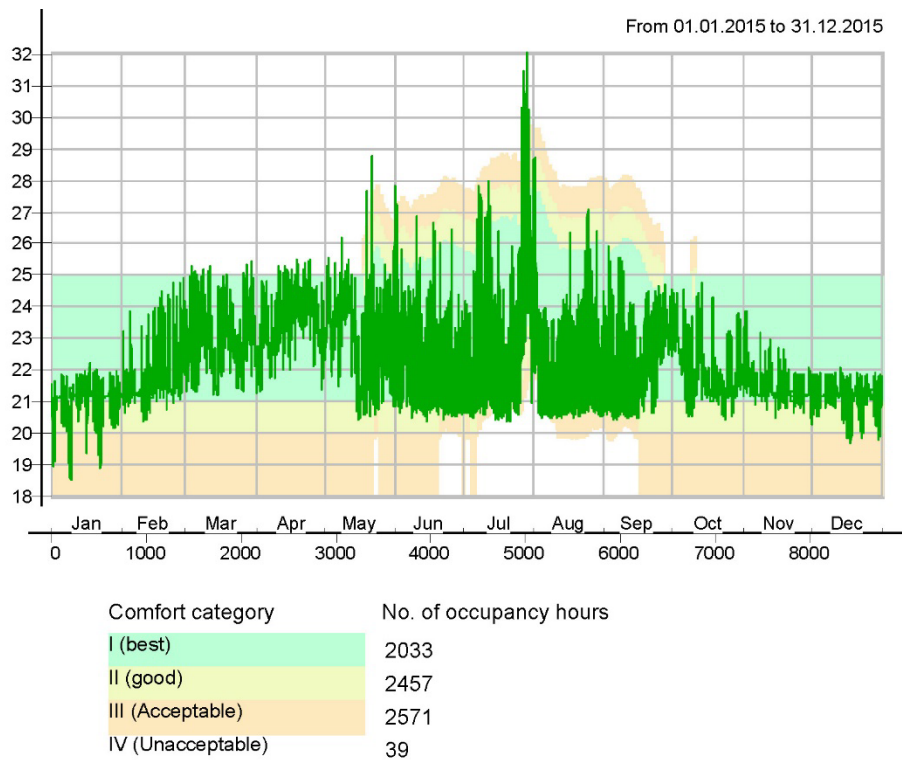
IDA Indoor Climate and Energy

Version: 4.99

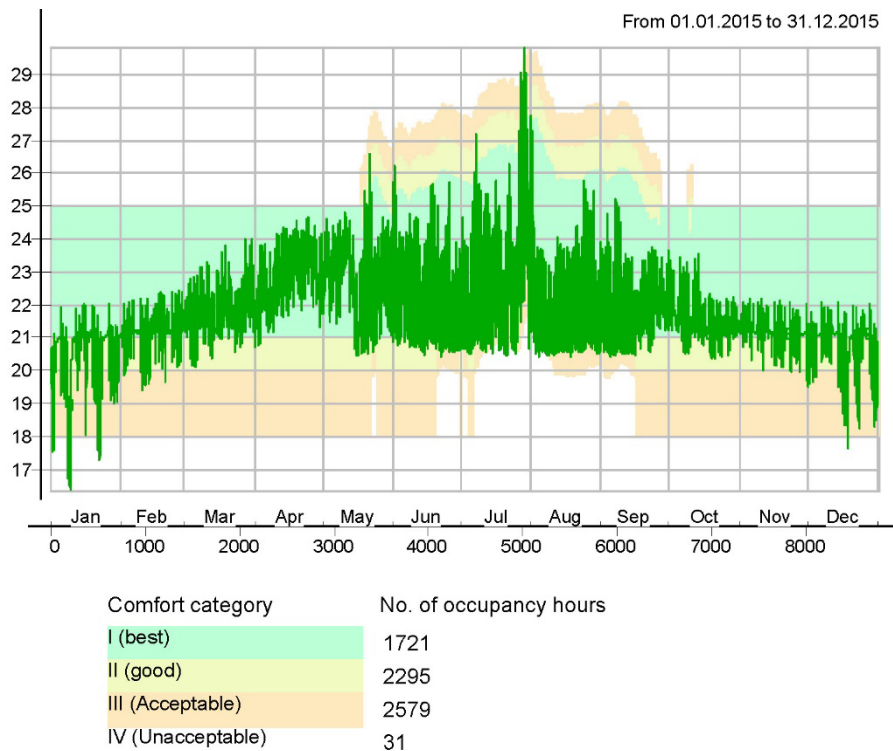
License: IDA40:ICE40X:ED170/H9B8Q (educational license)

Vedlegg D IDA ICE resultater, årssimulering

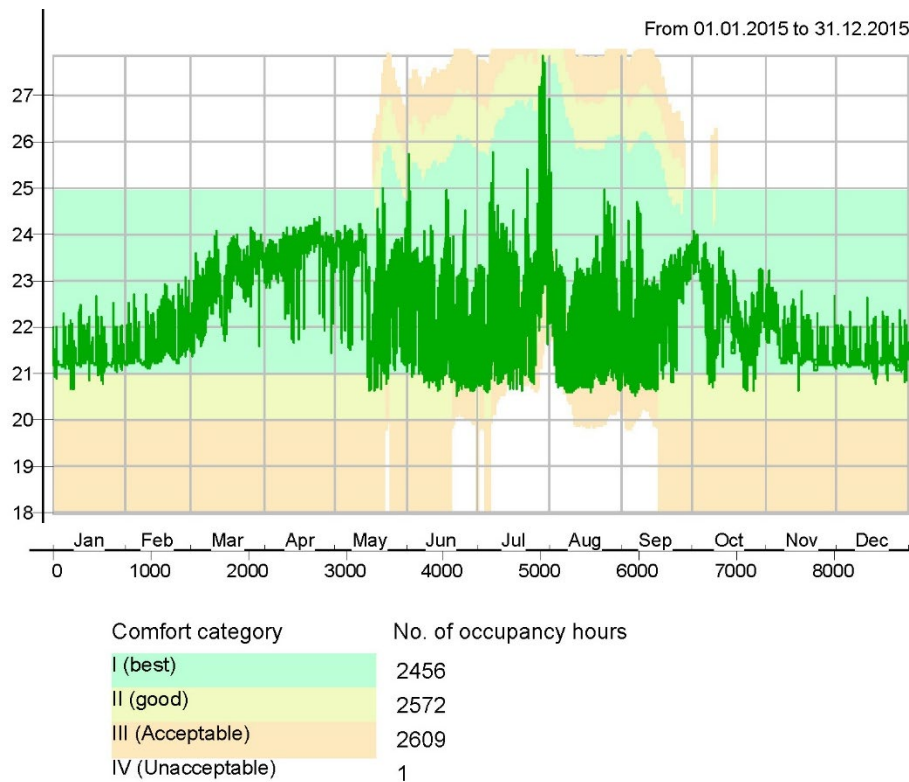
TERMISK KOMFORT – MULTIROM 2 – NATURLIG VENTILASJON



TERMISK KOMFORT – MØTEROM 3 – NATURLIG VENTILASJON



TERMISK KOMFORT – KONTORLANDSKAP – NATURLIG VENTILASJON

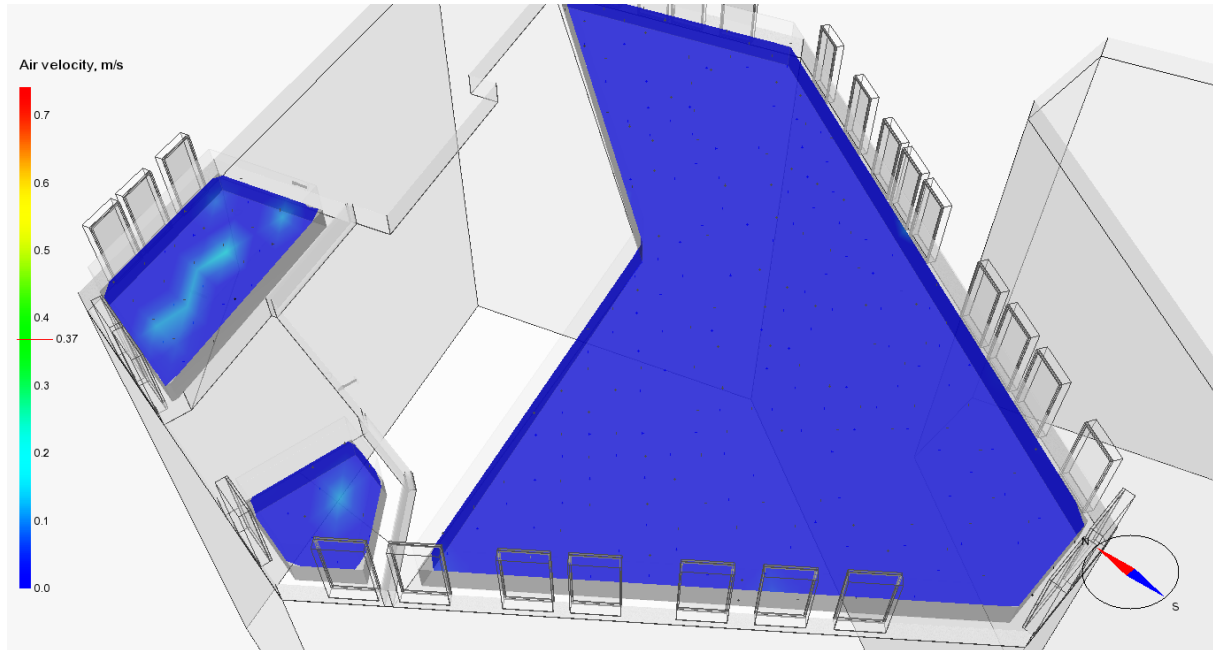


TERMISK KOMFORT – BEREGNING – NATURLIG VENTILASJON

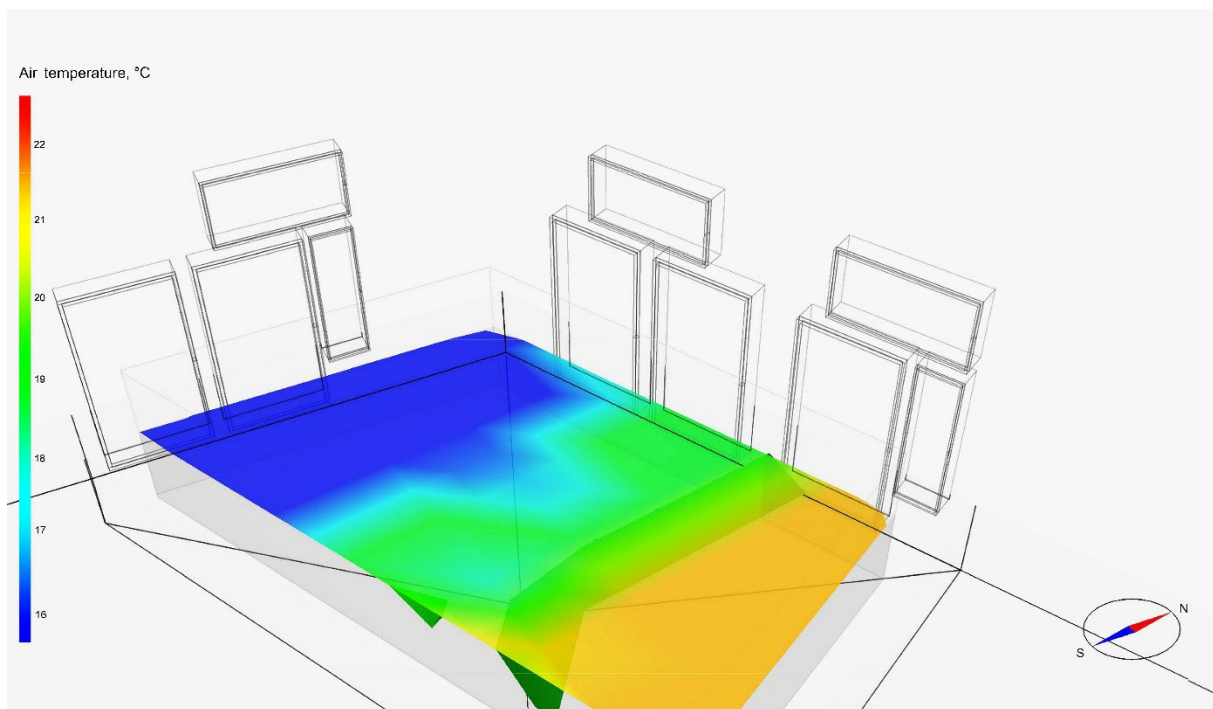
	Naturlig ventilasjon			
	kategori	landskap	møterom	multirom
	1	2456	1721	2033
	2	2572	2295	2457
	3	2609	2579	2571
	4	1	31	39
Prosent kategori 4		0,01 %	0,47 %	0,55 %
Prosent kategori 1-3		99,99 %	99,53 %	99,45 %
Prosent kategori 3-4		34 %	39 %	37 %
Prosent kategori 1-2		66 %	61 %	63 %

Vedlegg E IDA ICE resultater, vintersimulering

LUFTHASTIGHET – MØTEROM 3 – MEKANISK VENTILASJON

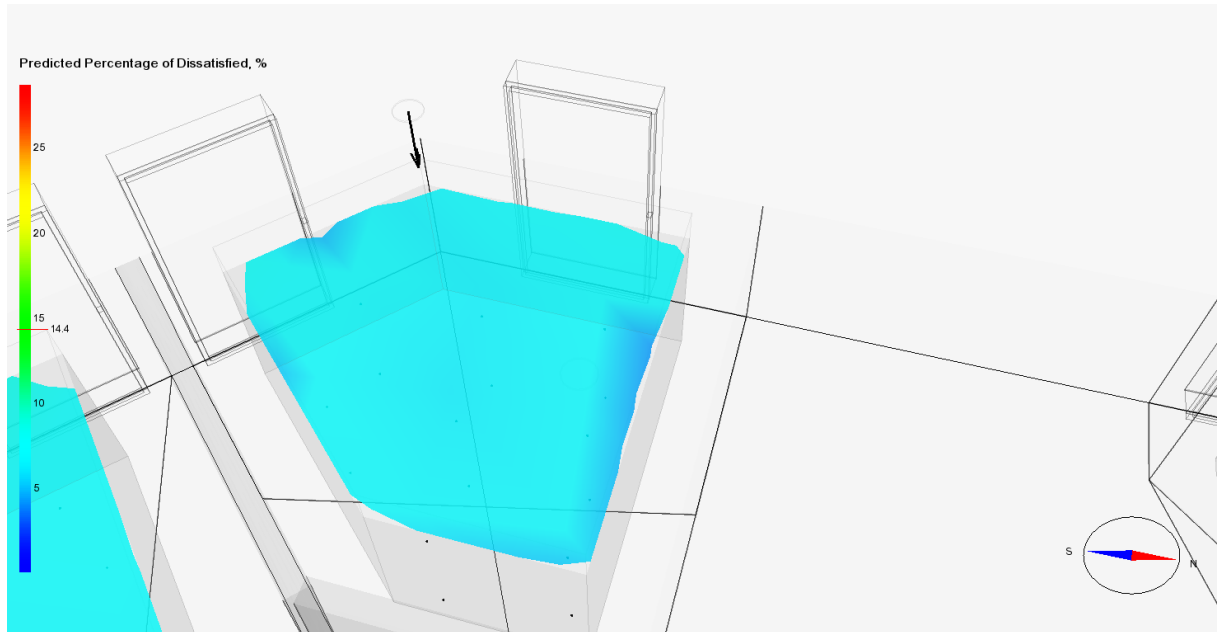


LUFTEMperatur – MØTEROM 3 – NATURLIG VENTILASJON

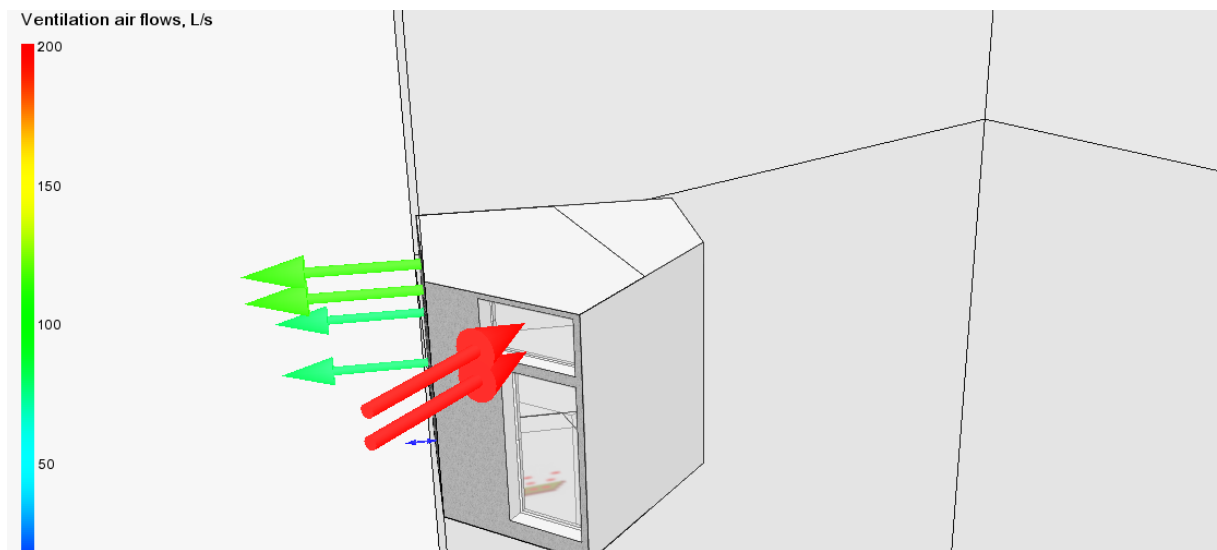


Vedlegg F IDA ICE resultater, sommersimulering

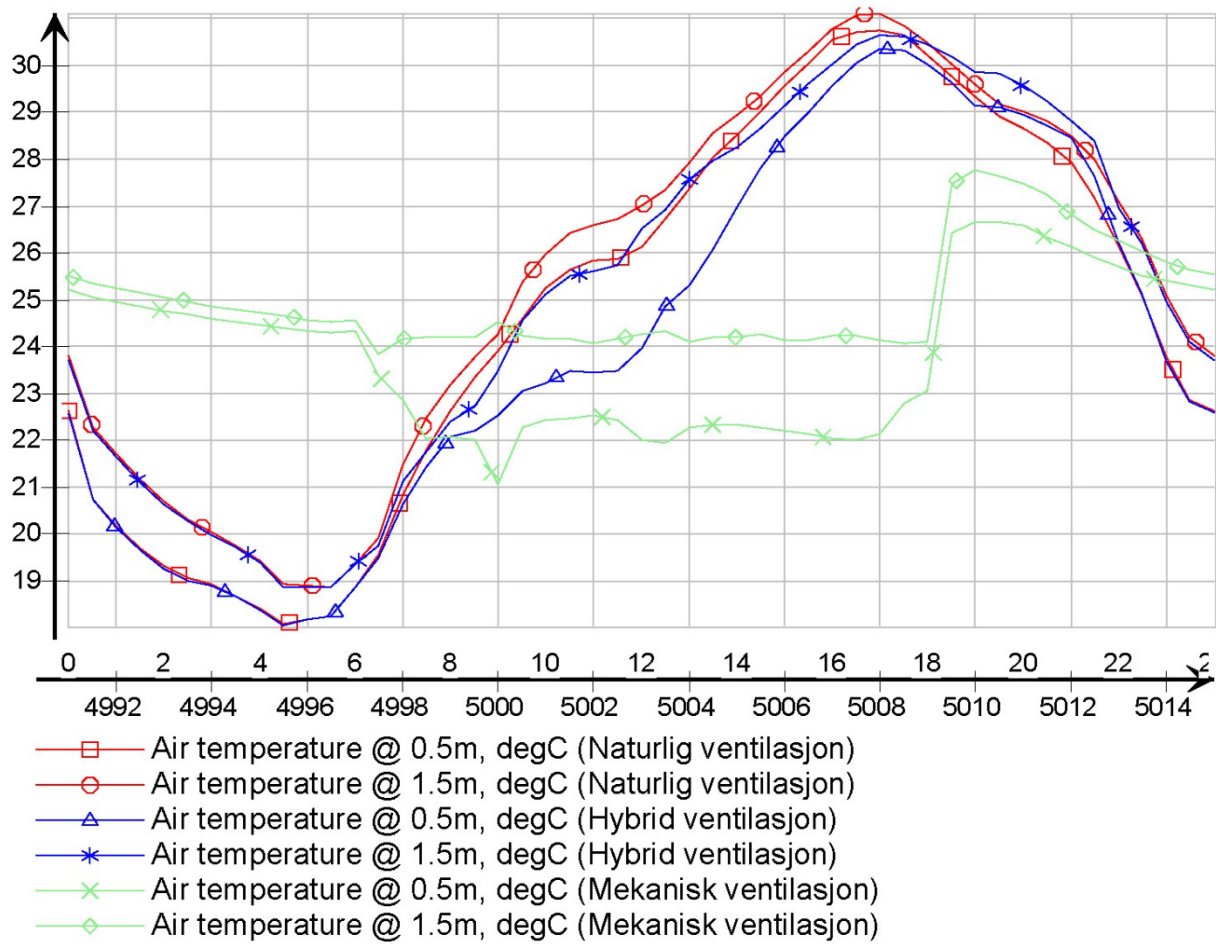
PPD-INDEKS – MULTIROM 2 – MEKANISK VENTILASJON



LUFTMENGDE – MULTIROM 2 – NATURLIG VENTILASJON



TEMPERATURFORSKJELL I HØYDEN – MULTIROM 2



Vedlegg G Simien inndata



SIMIEN

Simuleringstype: Årssimulering
Simuleringstidspunkt: 12:15:28 23.03.2021
Programversjon: 7.000
Bruker: Student
Firma: OsloMet
Inndatafil: C:\Users\s304935\OneDrive - OsloMet\Skrivebord\Master\Simien\SIMIEN\2 hybrid\Hybrid ventilasjon.sxi
Prosjekt: Naturlig ventilasjon
Seksjon: Plan 7

Dokumentasjon av sentrale inndata (1 av 3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]	165.8	
Areal tak [m ²]	0.0	
Areal gulv [m ²]	0.0	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]	134.0	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]	515.3	
Oppvarmet luftvolum [m ³]	1855.0	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0.14	
U-verdi tak [W/m ² K]	0.00	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0.00	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0.55	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	26.0	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0.03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	131	
Lekkasjetall (n50) [1/h]	0.60	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]	85.0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2 av 3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]	70.0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]	1.12	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7.2	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	0.72	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg	2.54	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]	50.0	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	21.0	
Systemeffektfaktor kjøling (EER)	45.0	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	24.0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]	20.0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]	0.60	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]	0.00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]	0.50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]	0.50	
Driftstid oppvarming (timer)	12.0	



SIMIEN

Simuleringstype: Årssimulering
Simuleringstidspunkt: 12:15:28 23.03.2021
Programversjon: 7.000
Bruker: Student
Firma: OsloMet
Inndatafil: C:\Users\s304935\OneDrive - OsloMet\Skrivebord\Master\Simien\SIMIEN\2 hybrid\Hybrid ventilasjon.sxi
Prosjekt: Naturlig ventilasjon
Seksjon: Plan 7

Dokumentasjon av sentrale inndata (3 av 3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	24.0	
Driftstid ventilasjon (timer)	21.6	
Driftstid belysning (timer)	10.0	
Driftstid utstyr (timer)	10.0	
Driftstid varmtvann (timer)	24.0	
Oppholdstid personer (timer)	10.00	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	3.60	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	3.60	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	13.00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	13.00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0.80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0.00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	12.13	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0.04	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer	0.10	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring	0.90	

Vedlegg H Design av ventilasjonsløsninger

KANALDIMENSJONER – MEKANISK VENTILASJON

Strekk	Luftmengder	Hastighet	Amin [m2]	Dmin	Valgt diameter	
Vertikalsjakt	40000	8	1,39	1329,8		900X1450
Inntak	7250	7	0,29	605,2		500x1200
Til møterom 1 og 2 + 30% av landskap	2168	5	0,12	391,6	400	
Til møterom 1	405	3	0,04	218,5	250	
Til møterom 2	263	3	0,02	176,1	200	
Til møterom 3	688	3	0,06	284,8	200	2 ventiler
Til multirom 1	212	3	0,02	158,1	160	
Til multirom 2	302	3	0,03	188,7	200	
Til sentral sone	339	3	0,03	199,9	200	
Kontorlandskapet	5000	5	0,28	594,7		
til møterom 1 og 2	668	3	0,06	280,6	315	
Til 30% av kontorlandskapet	2500	5	0,14	420,5		
til 70% av kontor + resten av møterom	4541	5	0,25	566,8	630	
50% av kontor + multirom 2	2641	5	0,15	432,2	315	
møterom 3, multirom 1 og 1 landskap	1400	5	0,08	314,7	315	
møterom 3, multirom 1	900	5	0,05	252,3	250	
Til møterom 3, 1 ventil	344	3	0,03	201,4	200	

KANALDIMENSJONER – HYBRID VENTILASJON

Strekk	Luftmengder	Hastighet	Amin [m2]	Dmin	Valgt diameter	
Vertikalsjakt	11664,0	8	0,41	718,1		960x525
Inntak	1944,0	7	0,08	313,4	400	
Til møterom 1 og 2 + 30% av landskap	825,1	5	0,05	241,6	250	
Til møterom 1	119,0	3	0,01	118,4	125	
Til møterom 2	77,0	3	0,01	95,3	100	
Til møterom 3	208,0	3	0,02	156,6	175	
Til multirom 1	88,0	3	0,01	101,9	100	
Til multirom 2	82,0	3	0,01	98,3	100	
Til sentral sone	339,0	3	0,03	199,9	200	
Kontorlandskapet	1034,0	5	0,06	270,4	315	
til 70% av kontor + resten av møterom	1118,9	5	0,06	281,3	315	
En ventil kontorlandskap	114,9	3	0,01	116,4	125	
mø3, mu1, 1 ventil landskap	410,9	5	0,02	170,5	175	
m2, resten av landskap	708,1	5	0,04	223,8	250	
m2, en ventil landskap	196,9	3	0,02	152,4	175	
resten av landskapet	344,7	5	0,02	156,1	175	

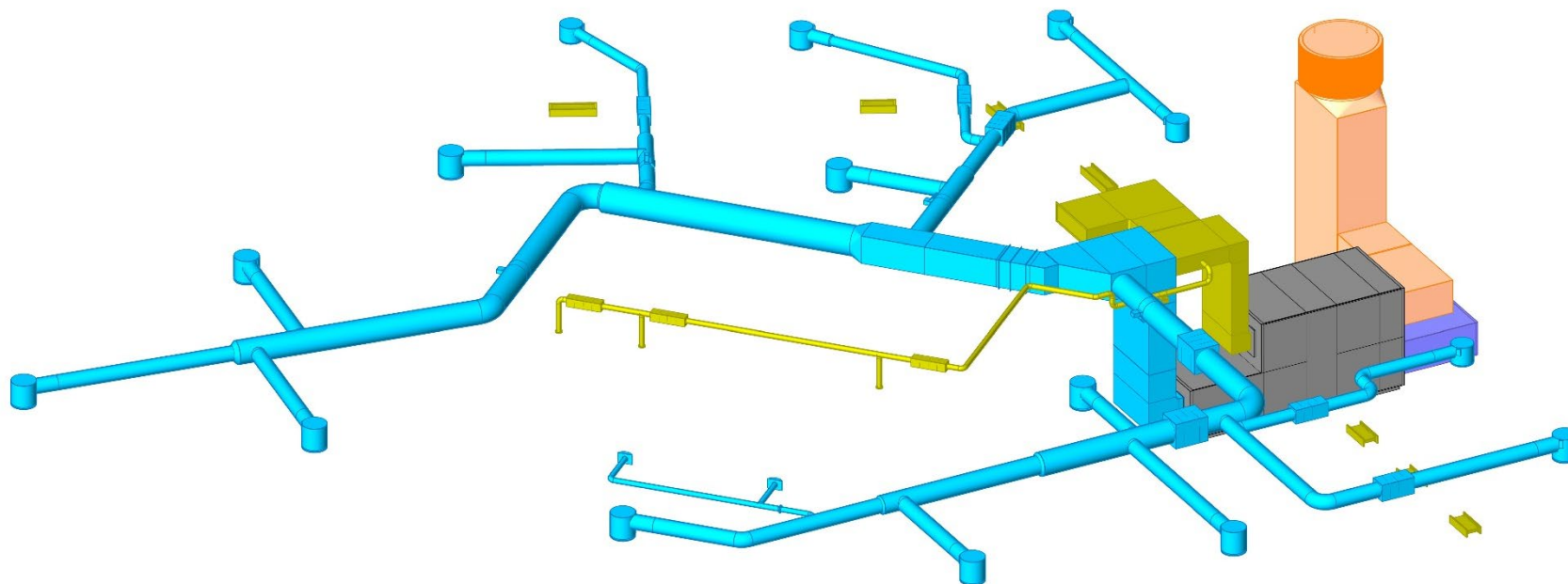
KASTELENGDER

UK ventil	2,95		fyll inn						
OK oppholssone	1,8								
C=	1,15								
Rom	B største avstand:	L0,2 min største	L0,2 maks største	B minste avstand:	L0,2 min minste	L0,2 maks minste	L0,2 min	L0,2 maks	Antall ventiler
Møterom 1	2,302	2,07	2,76	2,041	1,91	2,55	2,1	2,6	1
Møterom 2	2,302	2,07	2,76	1,375	1,52	2,02	2,1	2,0	1
Møterom 3	3,8	2,97	3,96	2,322	2,08	2,78	1,4	2,1	2
Multirom 1 og 2	1,83	1,79	2,38	1,92	1,84	2,46	1,8	2,4	1
Kontorlandskap		0,69	0,92		0,69	0,92	2,5	3,5	9

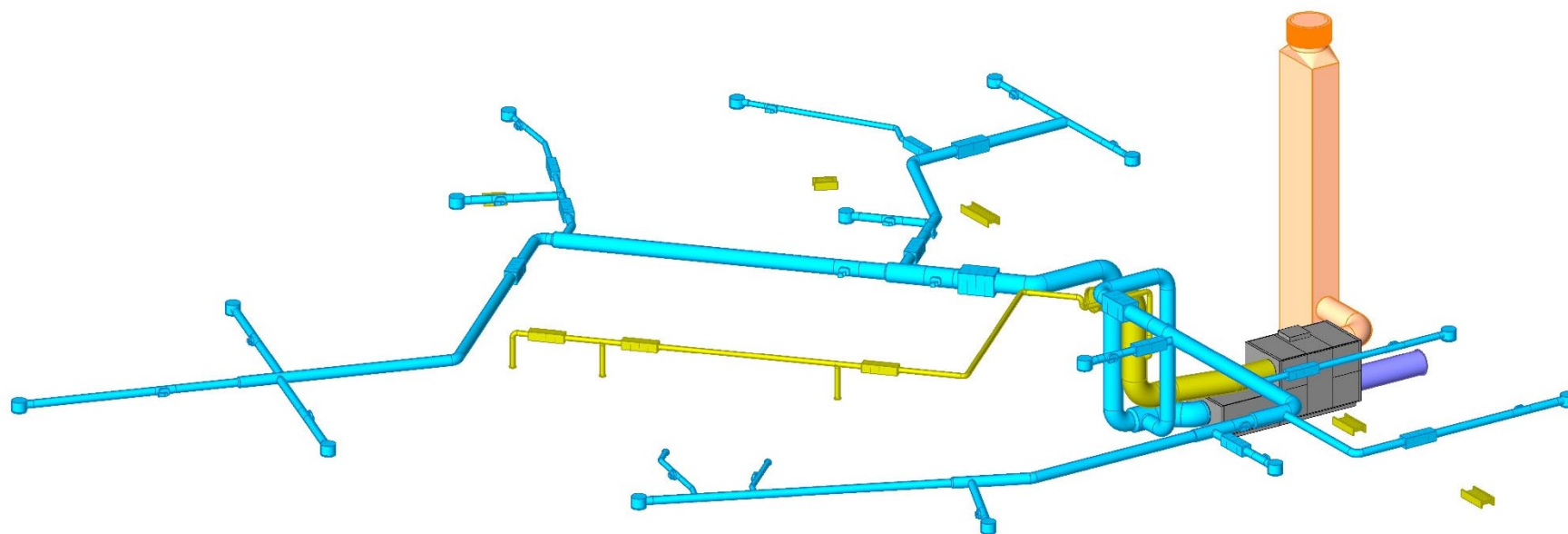
*Det er antatt isotherm innblåsingstemperatur. Fritthengende ventiler ført til at L_{0,2} reduseres med en faktor på 0,8

Vedlegg I 3D-presentasjon av ventilasjonsløsningene i MagiCAD

MEKANISK VENTILASJON



HYBRID VENTILASJON



Vedlegg J Materialmengder for de ulike ventilasjonsprinsippene

NATURLIG VENTILASJON

Komponenter	Type i modell	Størrelse	Antall	Enhet
Automasjon	Windowmaster NV Advance	WMX802	38	stk

HYBRID VENTILASJON

Komponenter	Type i modell	Størrelse	Antall	Enhet
Aggregat	Swegon Gold F RX 7	-	1	Stk
Tilluftsentil	TROX Tellus OPIS	125	10	stk
		100	5	Stk
Tilluftsentil kopirom	Uponor uts-100	100	2	Stk
Overluftsentil	Swegon ORTO	500	5	stk
		800	2	Stk
Avtrekksventil WC	TROX KSO	80	3	Stk
Reguleringspjeld	Systemair NOTUS-R	315	2	stk
		200	2	stk
		125	1	Stk
		100	1	stk
		80	1	Stk
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	100	3	stk
		160	2	stk
		200	3	Stk
		250	1	stk
		400	3	Stk
Spirokanal	Lindab (kg/m)	80	21,407	meter
		100	5,403	meter
		125	23,106	meter
		160	18,305	meter
		200	0,749	meter
		250	13,868	meter
		315	4,564	meter
		400	6,634	meter

Påstikk	Lindab psu	80→125	4	stk
		125→125	1	stk
		125→160	4	stk
		125→200	2	stk
		125→250	3	stk
		200→200	1	stk
		250→315	1	stk
		250→400	2	stk
Reduksjoner	Alnor	400→315	1	stk
		315→250	1	stk
		250→200	1	stk
		250→160	1	stk
		200→160	1	stk
		200→125	1	stk
		175→125	2	stk
Automasjon	Windowmaster NV Advance	WMX802	23	stk

MEKANISK VENTILASJON

Komponenter	Type i modell	Størrelse	Antall	Enhet
Aggregat	Swegon Gold F RX 14	-	1	Stk
Tilluftsentil	TROX Tellus LØV-VAV	250	10	stk
		200	4	Stk
		160	1	stk
Tilluftsentil kopi	Uponor uts-100	100	2	Stk
Overluftsentil	Swegon ORTO	500	5	stk
		800	2	Stk
Avtrekksventil WC	TROX KSO	80	3	Stk
Sonespjeld	Lindivent DCV-SP	400	2	stk
		315	1	Stk
		250	1	stk
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	160	2	stk
		200	1	Stk
		250	2	stk

		400	2	Stk
Spirokanal	Lindab (kg/m)	80	23,1	meter
		160	17,48	meter
		200	6,063	meter
		250	31,905	meter
		315	5,252	meter
		400	14,484	meter
		500	4,365	meter
Rektangulær kanal	Lindab (kg/m)	550 (500x500)	1,233	meter
		570 (300x1000)	3,635	meter
		800 (900x600)	0,841	meter
		830 (500x1200)	0,794	meter
Påstikk	Lindab psu	160→250	1	stk
		200→250	2	stk
		200→400	1	stk
		250→250	1	stk
		250→315	2	stk
		250→400	4	stk
		250→500	1	stk
		400→400	1	stk
Reduksjoner	Alnor	500→400	1	stk
		400→315	1	stk
		400→250	2	stk
		315→250	2	stk
		250→160	1	stk

Vedlegg K Klimagassberegninger

NATURLIG VENTILASJON

											Miljøpåvirkning til EPD			Total miljøpåvirkning (eks. B6)	
Beregningsperiode =		60 år													
											kg CO2/kg komponent			kg CO2/kg komponent	
Komponente	Type i modell	Størrelse	Antall	Enhet	Vekt	Enhet	Annet	Dokumentasjon	Levetid (år)	Omregningsfaktor	A1-A3	B4	A1-A3.	B4.	
Automasjon	Windowmaster NV Advance	WMX802	38	stk				Willkomm, 2020 (WindowMaster)	15		15,07	60,29	572,74	2290,94	
											Totalt =		572,74	2290,94	

HYBRID VENTILASJON

Beregningsperiode = 60 år									Omregningsfaktor = 1		Miljøpåvirkning til EPD			Total miljøpåvirkning (eks. B6)	
Komponenter	Type i modell	Størrelse	Antall	Enhet	Vekt	Enhet	Annet	Dokumentasjon	Levetid (år)	faktor	kg CO2/kg komponent		kg CO2-ekv		
											A1-A3	B4	A1-A3	B4	
Aggregat	Swegon Gold F RX 7	-	1	Stk	343	kg/stk		Generisk One Click LCA	25		8,11	19,46	2781,73	6676,15	
Tilluftsventil	TROX Tellus OPIS	125	10	stk	7,5	kg/stk		INIES_DDIF20180808_124152, 8532	20		26,88	80,64	2016,00	6048,00	
Tilluftsventil	TROX Tellus OPIS	100	5	Stk	7,3	kg/stk		INIES_DDIF20180808_124152, 8532	20		26,88	80,64	981,12	2943,36	
Tilluftsventil kopirom	Uponor uts-100	100	2	Stk	0,5	kg/stk		Generisk One Click LCA	25		2,75	6,60	2,75	6,60	
Overluftsventil	Swegon ORTO	500	5	stk	1,62	kg/stk		INIES_DDIF20180808_124152, 8532	25		26,88	64,51	217,73	522,55	
Overluftsventil	Swegon ORTO	800	2	Stk	2,46	kg/stk		INIES_DDIF20180808_124152, 8532	25		26,88	64,51	132,25	317,40	
Avtreksventil WC	TROX KSO	80	3	Stk	0,3	kg/stk		Generisk One Click LCA	25		2,75	6,60	2,48	5,94	
Reguleringsspjeld	Systemair NOTUS-R	315	2	stk	5	kg/stk		EPD fra Wildeboer (vekt på 2,87 kg/stk)	20	1,74	31,36	94,08	313,59	940,77	
Reguleringsspjeld	Systemair NOTUS-R	200	2	stk	2,3	kg/stk		EPD fra Wildeboer (vekt på 2,87 kg/stk)	20	0,80	14,43	43,28	66,36	199,07	
Reguleringsspjeld	Systemair NOTUS-R	125	1	Stk	1,4	kg/stk		EPD fra Wildeboer (vekt på 2,87 kg/stk)	20	0,49	8,78	26,34	12,29	36,88	
Reguleringsspjeld	Systemair NOTUS-R	100	1	stk	1,2	kg/stk		EPD fra Wildeboer (vekt på 2,87 kg/stk)	20	0,42	7,53	22,58	9,03	27,09	
Reguleringsspjeld	Systemair NOTUS-R	80	1	Stk	1,1	kg/stk		EPD fra Wildeboer (vekt på 2,87 kg/stk)	20	0,38	6,90	20,70	7,59	22,77	
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	100	3	stk	3,3	kg/stk	47% stål, 41% stennull	Generisk One Click LCA	25		3,04	7,30	30,10	72,23	
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	160	2	stk	5	kg/stk	47% stål, 41% stennull	Generisk One Click LCA	25		3,04	7,30	30,40	72,96	
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	200	3	Stk	6,3	kg/stk	47% stål, 41% stennull	Generisk One Click LCA	25		3,04	7,30	57,46	137,89	
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	250	1	stk	8,5	kg/stk	47% stål, 41% stennull	Generisk One Click LCA	25		3,04	7,30	25,84	62,02	
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	400	3	Stk	15,1	kg/stk	47% stål, 41% stennull	Generisk One Click LCA	25		3,04	7,30	137,71	330,51	
Spirokanal	Lindab (kg/m)	80	21,407	meter	0,91	kg/meter	0,4 mm	EPD fra ventistål	60		4,02	4,02	4,02	0,00	
Spirokanal	Lindab (kg/m)	100	5,403	meter	1,14	kg/meter	0,4 mm	EPD fra ventistål	60		4,02	4,02	4,02	0,00	
Spirokanal	Lindab (kg/m)	125	23,106	meter	1,41	kg/meter	0,5 mm	EPD fra ventistål	60		4,02	4,02	4,02	0,00	
Spirokanal	Lindab (kg/m)	160	18,305	meter	2,02	kg/meter	0,5 mm	EPD fra ventistål	60		3,96	3,96	146,43	0,00	
Spirokanal	Lindab (kg/m)	200	0,749	meter	2,56	kg/meter	0,5 mm	EPD fra ventistål	60		3,96	3,96	7,59	0,00	
Spirokanal	Lindab (kg/m)	250	13,868	meter	3,18	kg/meter	0,5 mm	EPD fra ventistål	60		3,96	3,96	174,64	0,00	
Spirokanal	Lindab (kg/m)	315	4,564	meter	4,41	kg/meter	0,5 mm	EPD fra ventistål	60		3,96	3,96	57,47	0,00	
Spirokanal	Lindab (kg/m)	400	6,634	meter	6,01	kg/meter	0,5 mm	EPD fra ventistål	60		3,96	3,96	115,85	0,00	
Påstikk	Lindab psu	80→125	4	stk	0,13	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	2,09	0,00	
Påstikk	Lindab psu	125→125	1	stk	0,25	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	1,01	0,00	
Påstikk	Lindab psu	125→160	4	stk	0,18	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	2,89	0,00	
Påstikk	Lindab psu	125→200	2	stk	0,25	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	2,01	0,00	
Påstikk	Lindab psu	125→250	3	stk	0,23	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	2,77	0,00	
Påstikk	Lindab psu	200→200	1	stk	0,39	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	1,57	0,00	
Påstikk	Lindab psu	250→315	1	stk	0,71	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	2,85	0,00	
Påstikk	Lindab psu	250→400	2	stk	0,65	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	5,23	0,00	
Reduksjoner	Alnor	400→315	1	stk	1,3	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	5,23	0,00	
Reduksjoner	Alnor	315→250	1	stk	0,7	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	2,81	0,00	
Reduksjoner	Alnor	250→200	1	stk	0,6	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	2,41	0,00	
Reduksjoner	Alnor	250→160	1	stk	0,45	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	1,81	0,00	
Reduksjoner	Alnor	200→160	1	stk	0,3	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	1,21	0,00	
Reduksjoner	Alnor	200→125	1	stk	0,4	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	1,61	0,00	
Reduksjoner	Alnor	175→125	2	stk	0,25	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A3 for spiro rekt. 0.4	60		4,02	4,02	2,01	0,00	
Automasjon	Windowmaster NV Advance	WMX802	23	stk				Willkomm, 2020 (WindowMaster)	15		15,07	60,29	0,00	1386,62	
											Totalt =	7597,94	19808,80		

MEKANISK VENTILASJON

Beregningsperiode = 60 år											Omregningsfaktor = 1			Miljøpåvirkning til EPD		Total miljøpåvirkning (eks. B6)	
											kg CO2/kg komponent				kg CO2-ekvivalenter		
Komponenter	Type i modell	Størrelse	Antall	Enhet	Vekt	Enhet	Annet	Dokumentasjon	Levetid (år)	Faktor	A1-A3	B4	A1-A3.	B4.			
Aggregat	Swegon Gold F RX 14	-	1	Stk	721	kg/stk		Generisk One Click LCA	25		8,11	19,46	5847,31	14033,54			
Tilluftventil	TROX Tellus LØV-VAV	250	10	stk	11	kg/stk		INIES_DDIF20180808_124152, 8532	20		26,88	80,64	2956,80	8870,40			
Tilluftventil	TROX Tellus LØV-VAV	200	4	Stk	9	kg/stk		INIES_DDIF20180808_124152, 8532	20		26,88	80,64	967,68	2903,04			
Tilluftventil	TROX Tellus LØV-VAV	160	1	stk	8	kg/stk		INIES_DDIF20180808_124152, 8532	20		26,88	80,64	215,04	645,12			
Tilluftventil kopirom	Uponor uts-100	100	2	Stk	0,5	kg/stk		Generisk One Click LCA	25		2,75	6,60	2,75	6,60			
Overluftventil	Swegon ORTO	500	5	stk	1,62	kg/stk		Generisk One Click LCA	25		26,88	64,51	217,73	522,55			
Overluftventil	Swegon ORTO	800	2	Stk	2,46	kg/stk		Generisk One Click LCA	25		26,88	64,51	132,25	317,40			
Avtrekksventil WC	TROX KSO	80	3	Stk	0,3	kg/stk		Generisk One Click LCA	25		2,75	6,60	2,48	5,94			
Sonespjeld	Lindivent DCV-SP	400	2	stk	12,7	kg/stk		EPD fra Wildeboer (vekt på 2,87 kg/stk)	20	4,43	79,65	238,95	2023,15	6069,45			
Sonespjeld	Lindivent DCV-SP	315	1	Stk	9,2	kg/stk		EPD fra Wildeboer (vekt på 2,87 kg/stk)	20	3,21	57,70	173,10	530,84	1592,53			
Sonespjeld	Lindivent DCV-SP	250	1	stk	6,6	kg/stk		EPD fra Wildeboer (vekt på 2,87 kg/stk)	20	2,30	41,39	124,18	273,20	819,60			
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	160	2	stk	5	kg/stk	47% stål, 41% stenuil	Generisk One Click LCA	25		3,04	7,30	30,40	72,96			
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	200	1	Stk	6,3	kg/stk	47% stål, 41% stenuil	Generisk One Click LCA	25		3,04	7,30	19,15	45,96			
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	250	2	stk	8,5	kg/stk	47% stål, 41% stenuil	Generisk One Click LCA	25		3,04	7,30	51,68	124,03			
Lyddemper	Swegon CLA (50 cm)	400	2	Stk	15,1	kg/stk	47% stål, 41% stenuil	Generisk One Click LCA	25		3,04	7,30	91,81	220,34			
Spirokanal	Lindab (kg/m)	80	23,1	meter	0,91	kg/meter	0,4 mm	EPD fra produsent	60		4,02	4,02	84,50	0,00			
Spirokanal	Lindab (kg/m)	160	17,48	meter	2,02	kg/meter	0,4 mm	EPD fra produsent	60		4,02	4,02	141,94	0,00			
Spirokanal	Lindab (kg/m)	200	6,063	meter	2,56	kg/meter	0,5 mm	EPD fra produsent	60		3,96	3,96	61,46	0,00			
Spirokanal	Lindab (kg/m)	250	31,905	meter	3,18	kg/meter	0,5 mm	EPD fra produsent	60		3,96	3,96	401,77	0,00			
Spirokanal	Lindab (kg/m)	315	5,252	meter	4,41	kg/meter	0,5 mm	EPD fra produsent	60		3,96	3,96	91,72	0,00			
Spirokanal	Lindab (kg/m)	400	14,484	meter	6,01	kg/meter	0,5 mm	EPD fra produsent	60		3,96	3,96	344,71	0,00			
Spirokanal	Lindab (kg/m)	500	4,365	meter	9,54	kg/meter	0,5 mm	EPD fra produsent	60		3,96	3,96	164,90	0,00			
Rektangulær kanal	Lindab (kg/m)	550 (500x500)	1,233	meter	14	kg/meter	0,7 mm	EPD fra produsent (antar 0,7 tykkelse)	60		5,46	5,46	94,25	0,00			
Rektangulær kanal	Lindab (kg/m)	570 (300x1000)	3,635	meter	19	kg/meter	0,7 mm	EPD fra produsent (antar 0,7 tykkelse)	60		5,46	5,46	377,09	0,00			
Rektangulær kanal	Lindab (kg/m)	800 (900x600)	0,841	meter	23	kg/meter	0,7 mm	EPD fra produsent (antar 0,7 tykkelse)	60		5,46	5,46	105,61	0,00			
Rektangulær kanal	Lindab (kg/m)	830 (500x1200)	0,794	meter	25	kg/meter	0,7 mm	EPD fra produsent (antar 0,7 tykkelse)	60		5,46	5,46	108,38	0,00			
Påstikk	Lindab psu	160→250	1	stk	0,24	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,7	60		4,02	4,02	0,96	0,00			
Påstikk	Lindab psu	200→250	2	stk	0,34	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,8	60		4,02	4,02	2,73	0,00			
Påstikk	Lindab psu	200→400	1	stk	0,44	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,9	60		4,02	4,02	1,77	0,00			
Påstikk	Lindab psu	250→250	1	stk	0,8	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,10	60		4,02	4,02	3,22	0,00			
Påstikk	Lindab psu	250→315	2	stk	0,71	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,11	60		4,02	4,02	5,71	0,00			
Påstikk	Lindab psu	250→400	4	stk	0,65	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,12	60		4,02	4,02	10,45	0,00			
Påstikk	Lindab psu	250→500	1	stk	0,67	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,13	60		4,02	4,02	2,69	0,00			
Påstikk	Lindab psu	400→400	1	stk	1,87	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,14	60		4,02	4,02	7,52	0,00			
Reduksjoner	Alnor	500→400	1	stk	2,2	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,15	60		4,02	4,02	8,84	0,00			
Reduksjoner	Alnor	400→315	1	stk	1,3	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,16	60		4,02	4,02	5,23	0,00			
Reduksjoner	Alnor	400→250	2	stk	1,3	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,17	60		4,02	4,02	10,45	0,00			
Reduksjoner	Alnor	315→250	2	stk	0,7	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,18	60		4,02	4,02	5,63	0,00			
Reduksjoner	Alnor	250→160	1	stk	0,5	kg/stk		Antar tilsvarende A1-A2 for spiro rekt. 0,19	60		4,02	4,02	2,01	0,00			
Totalt =													15405,84	36249,46			