



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2023 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Hvordan opprettholde et godt inneklima ved energieffektivisering av ventilasjon?

Trym Løddøen

Master i fornybar energi



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Forrord

Denne masteroppgaven avslutter min mastergrad i Fornybar energi. Oppgavens problemstilling er å vurdere hvordan et universitetsbygg kan energieffektiviseres samtidig som at det opprettholdes et godt inneklima for helse og prestasjon for studenter.

Jeg vil takke mine medstudenter og professorer her på NMBU for to fine år her i Ås. Jeg vil gi en spesiell takk til Thomas Martinsen som har veiledet meg gjennom oppgaven. Til denne oppgaven har jeg fått både hjelp og data fra Smart-Campus prosjektet som foregår her på NMBU. Jeg takker spesielt Dag-Kjetil Buran for å gi meg tilgang på data til prosjektet og Harald Nitavskis for å gi meg muligheten til å være med på prosjektet.

Sammendrag

Fordi mye av den norske bygningsmassen er gammel og bruker mye energi er det potensiale for energieffektivisering. 66% av den norske bygningsmassen er bygget før TEK69(Norges vassdrags- og energidirektorat, 2020). Energirammekravet i TEK17 er på 125kWhm^{-2} . 50 % av bygningsmassen er av energikarakter E eller lavere som vil si at byggene bruker mere energi enn 250kWhm^{-2} (Direktoratet for byggekvalitet, 2022).

Oppgaven er en del av et prosjekt som gjennomføres på NMBU. Prosjektet har som mål å bedre energibruk, bedre arealbruk og redusere effekttopper på campus i Ås. Denne oppgaven skal sette søkelys på ventilasjonen til et av byggene på campus. Gjennom målinger av energi, luftmengder temperatur og CO_2 konsentrasjon skal inneklimate og energi analyseres.

Luftmengdemålingene og energimålingene viser at det er et potensiale for å redusere energibruken til ventilasjon. Totalt er det potensial for å redusere energiforbruk med 18581 kWh per år. For å realisere det teoretiske potensiale for energibesparelse må ventilasjonsanlegget regulere luftmengder bedre med hensyn på antall personer. Smart ventilasjon kan bidra til bedre regulering, men det er flere barrierer som kan gjøre at det tar tid å få etablert velfungerende behovsstyring med smart teknologi.

Inneklimate i bygget er bra med hensyn på både temperatur og luftmengde. For å redusere luftmengdene til minstekrav nivået i TEK må luftmengden reduseres med 40%. En slik reduksjon av luftmengde kan ha betydelig påvirkning på studentenes kognitive evne og helse.

Abstract

Many of the of the buildings in Norway uses a lot of energy. This is because 66% of the Norwegian buildings stock is built before the building regulations in 1969 (TEK69) (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2020). 50% of the building stock in Norway use more than 250 kWhm⁻² (Direktoratet for byggekvalitet, 2022).

This master thesis is a part off a project at NMBU. The goal for this project is to reduce energy use, more efficient use of areas and to reduce energy peaks. In this thesis the goal is to analyse a buildings potential for energy savings and the effects of indoor climate on students' health and cognitive ability. Measurements of energy, temperature, CO₂ concentration and ventilation rate is used to analyse energy use and indoor climate.

Air volume measurements and energy measurements shows a potential for energy savings. The potential for energy savings is 18581 kWh per year. To realize this potential the ventilation needs to regulate better with regard number of people. Smart technology can improve the demand-controlled-ventilation, but smart ventilation has some barriers which lowers the development.

The temperature and the CO₂ concentration in the building is good. The ventilation rate must be reduced with 40 % to realize the energy saving potential. This will reduce the health and the cognitive ability for the students.

Innhold

Forrord.....	ii
Sammendrag	iii
Abstract	iv
Tabelliste	vii
Formelliste.....	viii
Figurliste	viii
Definisjoner og forkortelser	ix
Introduksjon	2
2 Kunnskapsgrunnlag	3
2.1 Energibruk i bygg.....	3
2.2 Inneklima i bygninger	5
2.2.1 Ventilasjon og luftmengder - Atmosfærisk komfort	5
2.2.2 Termisk komfort	5
2.2.3 Konsekvenser av dårlig inneklima	6
2.3 Ventilasjon- Energibruk og inneklima	7
2.3.1 Hvordan forbedre komfort og energibruk?.....	7
3 Casestudie	10
3.1 Informasjon om bygget	10
3.2 Innhenting av energidata for bygget.....	11
4 Metode	14
4.1 Studie av antall personer i rom-Tellinger	14
4.2 Analyse av inneklima	15
4.3 Analyse av ventilasjon sammenlignet med TEK 17	16
4.4 Energibruk til ventilasjon.....	16
4.5 Endring av luftmengder	16
4.5.1 Endring av luftmengder.....	18
5 Resultater	20
5.1 Studie av antall personer i rom	20
5.2 Vurdering av inneklima	21
5.2.1 Luftkvalitet.....	21
5.2.2 Temperatur.....	22
5.3 Vurdering av behovsstyring mot minstekrav i TEK.....	25
5.4 Energibruk	27
5.4.1 Energibruk til vifter.....	27
5.4.2 Ventilasjonsvarme	28

5.5 Endring av luftmengder i driftstid med hensyn på energi og inneklime	29
5.5.1 Endring av luftmengder ventilasjonsenergi	29
5.5.2 Endring av luftmengder vifteenergi	30
5.6 Forbedring av behovsstyring	31
6 Diskusjon og konklusjon	33
6.1 Vurdering av byggets inneklime	33
6.1.1 Vurdering av CO ₂ konsentrasjon	33
6.1.2 Vurdering av temperatur	34
6.2 Vurdering av byggets energibruk	34
6.4 Ulemper ved å redusere energibruk	35
6.5 Forbedring av ventilasjon	36
6.6 Barrierer for prosjektet	37
Konklusjon og hovedfunn	37
Referanser	38
Vedlegg	40
Vedlegg 1	40
Vedlegg 2	41
Vedlegg 3	42
Vedlegg 4	42

Tabelliste

Tabell 1 viser oversikt over energipsoter som brukes i Norsk Standard (Standard Norge, 2014)	3
Tabell 2 viser sammenhengen mellom ulike aktiviteter og varmeproduksjon (Ingebrigtsen, 2018a)....	5
Tabell 3 viser sammenheng mellom andel misfornøyde og luftmengde(Standard Norge, 2014)	5
Tabell 4: Viser oversikt lokalt termisk ubehag(Ingebrigtsen, 2018a)	6
Tabell 5: Viser en oversikt over de ulike type rommene som er i Urbygningen	10
Tabell 6: Viser en oversikt over undervisningsrommene i Urbygningen	10
Tabell 7 viser oversikt over areal til undervisningsrom og SFP for sonen undervisningsrommet er plassert i	12
Tabell 8 viser oversikt over areal til grupperom og SFP for sonen grupperommet er plassert i	12
Tabell 9 viser oversikt over hvordan tellinger ble utført i uke 10	14
Tabell 10 viser oversikt over tellingene som ble utført utenfor uke 10.....	15
Tabell 11 viser kriteriene som benyttes for luftmengder i byggeforskriften	16
Tabell 12: Scenarioer som skal undersøkes	17
Tabell 13 verdier som benyttes for utregning av ventilasjonsvarme.....	18
Tabell 14 utregning av driftstid	18
Tabell 15 viser scenarioer som skal undersøkes og tilhørende verdier til Simien beregning.	19
Tabell 16 viser oversikt over tellinger. De oransje feltene er tidspunkter der det var booket undervisning, men undervisningen ikke ble gjennomført	20
Tabell 17 oversikt over tidsperioder i rom U328.....	20
Tabell 18: Viser oversikt over gjennomsnitts ppm for tellingene	21
Tabell 19: Viser oversikt over tellinger med få personer til stede i rommet	22
Tabell 20 viser oversikt over gjennomsnittstemperatur for tellingene	24
Tabell 21: Viser gjennomsnittstemperatur for tellinger med 4-10 personer.....	24
Tabell 22: Viser oversikt over hvor mye som ventileres sammenlignet med TEK 17	25
Tabell 23: Viser oversikt over ventilering med få personer i rommet	25
Tabell 24 viser målt luftmengde per m ² sammenlignet med TEK17	26
Tabell 25 viser gjennomsnitt av inneklimatemålinger utenfor forelesning	26
Tabell 26 viser den justerte tidsperioden og overventileringen i perioden.....	26
Tabell 27 overventilering sammenlignet med TEK 17	27
Tabell 28 viser den totale og spesifikke energibruken til vifter	27
Tabell 29 viser energibruken til vifter sammenlignet med NS og forventet energibruk	27
Tabell 30 viser energibruken som ble hentet fra Energinet.....	28
Tabell 31 viser utregning for å korrigere energibruk med hensyn på utetemperatur.....	28
Tabell 32 viser spesifikk energibruk til ventilasjonsvarme sammenlignet med NS og forventet energi	28
Tabell 33 viser ventilasjonsvarme og vifteenergi sammenlignet med passivhusnivå og TEK	28
Tabell 34 viser differanse luftmengde for de ulike scenarioene	29
Tabell 35 viser utregning for ventilasjonsvarme for de 3 scenarioene	29
Tabell 36 viser utregning av den økte energibruken som følger av overventilering i undervisningsrom	30
Tabell 37 viser utregning av energitapet som følge av overventilering i grupperom	30
Tabell 38 visser økt effekt og energibruk for scenario 2 og 3	31
Tabell 39 viser oversikt over energibruken til de tre scenarioene	31
Tabell 40 viser Simien beregning for endring av luftmengder utenfor driftstid	33
Tabell 41 viser forskjell på driftstid for Simien realistisk driftstid	33
Tabell 42: Viser potensiale for å redusere energibruk for viter og ventilasjonsvarme	35

Formelliste

Formel 1 utregning av gjennomsnitt antall personer	15
Formel 2 viser utregning av energibruk til vifter	17
Formel 3 viser utregning av ventilasjonsvarme	17
Formel 4 utregning av differanse luftmengde for scenario 1 for en telling	18
Formel 5 utregning av differanse luftmengde for scenario 2	18
Formel 6 viser utregning av differanse luftmengde for en telling for scenario 3	18
Formel 7 viser utregning for den gjennomsnittlige endringen i luftmengde	18
Formel 8 viser hvordan tidsperiodene justeres	19
Formel 9 viser korreksjonsfaktoren som benyttes for å justere tidsperiodene	19

Figurliste

Figur 1: Oversikt over direktiv, lovverk og standarder (SINTEF Byggforsk, 2009)	3
Figur 2 viser forventet utvikling for vifteenergi og ventilasjonsvarme.(Norges vassdrags- og energidirektorat, 2013)	4
Figur 3: Viser at behovsstyring gir energibesparelse sammenlignet med CAV (SINTEF Byggforsk, 2016)	7
Figur 4: Viser plasseringen til de to rommene hvor det er plassert sensorer	11
Figur 5: Oversikt over soneinndelingen til bygget	12
Figur 6: Viser oversikt over energigruppene som er tilgjengelig i energinet	13
Figur 7: Viser hvor energidata leses ut ifra	13
Figur 8: Viser timeplanen for rom U328 i uke 10	14
Figur 9 viser oversikt over målinger som kan hentes ut fra sensorer	15
Figur 10 viser hvordan dataen ble sortert etter antall personer som var i rommet	16
Figur 11: Viser ppm målingene sammenlignet med 1000 ppm og 600 ppm	21
Figur 12 optimal operativ temperatur med hensyn på bekledning og aktivitet.	23
Figur 13 viser temperaturmålinger i uke 10 sammenlignet med optimal operativ temperatur.	23
Figur 14 viser sammenhengen mellom antall personer, målt luftmengde og luftmengde etter TEK ..	31
Figur 15 viser gjennomsnitts CO ₂ konsentrasjon med hensyn på antall personer	32
Figur 16 viser sammenheng mellom antall personer og temperatur	32

Definisjoner og forkortelser

Begreper og forkortelser	Forklaring
Energiramme	Øvre grense for mye energi et bygg kan bruke per areal
Telling	En telling er en tidsperiode der antall personer ble telt
Kognitiv evne	Er en forsøkspersons evne til å utføre kognitive tester
BRA	Bruksareal



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Introduksjon

I 2021 brukte norske bygg omtrent halvparten av Norges elektrisitetsforbruk. Regjeringen har som mål å redusere energibruken i eksisterende bygg med 10 TWh fra 2015 nivå (Olje- og energidepartementet, 2022). Energieffektivisering av bygg frigjør fornybar energi som kan brukes til elektrisk transport og industri.

For å redusere energibruk i norske bygg må eldre bygg energieffektiviseres. Eldre bygg bruker mere energi fordi det før i tiden var mindre krav til energibruk i byggeforskrifter. Energikravet til bygg som er bygget etter TEK 17 er 125 kWhm^{-2} (Direktoratet for byggekvalitet, 2017). Ifølge NVE er rundt 10,4% av den norske bygningsmassen innenfor dette energikravet (Direktoratet for byggekvalitet, 2022)

Bygg fra 1969 har energirammekrav på 270 kWhm^{-2} . I 2020 var 66% av den norske bygningsmassen bygd med TEK69 eller eldre (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2020). Ifølge NVE har 55,7% av den norske bygningsmassen energikarakter E eller dårligere, som vil si at de bruker mer enn 230 kWhm^{-2} (Direktoratet for byggekvalitet, 2022). Derfor er det potensial for energibesparelse i eldre bygg.

Rehabilitering reduserer også utslipp på grunn av redusert nybyggaktivitet. 70% av årlig utslipp i byggenæringen kommer fra nybyggsaktivitet. Over 50% av utslippene i et byggs livsløp skjer ved produksjon og transport av materialer. Derfor vil ombruk, mindre rivning og rehabilitering kutte være bærekraftig. (Grønn Byggallianse).

Norges vassdrags- og energidirektorat (2016) undersøkte energibruken i ulike type bygninger. De fant ut at romoppvarming krever mest energi. Bygg som forretningsbygg og sykehus bruker mest elspesefikk energi. Denne oppgaven skal se på energibruk i universitets bygg med søkelys på ventilasjon. Energiforbruket til ventilasjon i universitetsbygg er ifølge NVE litt under 40 kWhm^{-2} .

Ulempen med energieffektivisering av ventilasjon er at det medfører redusert inneklimate. Flere studier viser at reduksjon av ventilasjonsluftmengde reduserer den kognitive evnen til mennesker (Ito & Murakami, 2010; Satish et al., 2012; Wargocki, 2000). I tillegg kan reduksjon av luftmengde øke forekomst av helseplager og sykefravær (Milton, 2000; Sundell et al., 2011). Problemstillingen til oppgaven er å vurdere de negative effektene som kan forekomme ved energieffektivisering.

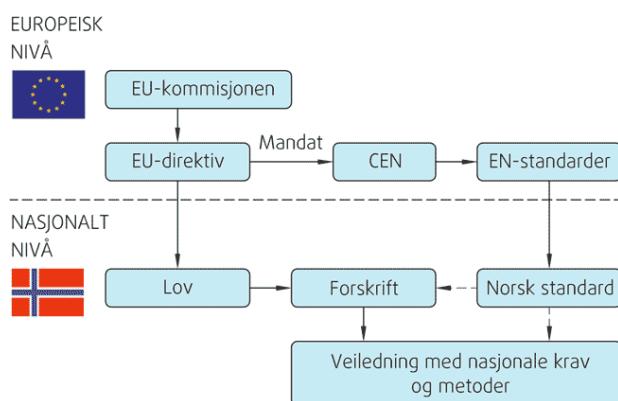
«Hvordan opprettholde et godt inneklimate ved energieffektivisering?»

2 Kunnskapsgrunnlag

2.1 Energibruk i bygg

Byggeteknisk forskrift (TEK 17) viser et byggs minste krav til egenskaper for å kunne oppføres etter Norges lover. Byggeforskriften utarbeides etter Norges lover og internasjonale lover, se figur 1. Ifølge Center for Sustainable Energy Studies (2017) er det vanlig å bygge så billig som mulig. Derfor bygges vanligvis bygninger på nivå med gjeldene byggeforskrift. CONSTRUCTION (2013) fant ut at den viktigste drivkraften for å bygge energieffektive bygg er bedriftens omdømme.

For å dokumentere at krav i TEK 17 er overholdt skal NS 3031 «Beregning av bygningers energiytelse» benyttes. Norsk Standard (NS) benyttes til å beregne varmetapstall, varmetapsbudsjett, netto energibehov, levert energi og CO₂-utslipp og primærenergi (Ingebrigtsen, 2018b)



Figur 1: Oversikt over direktiv, lovverk og standarder (SINTEF Byggforsk, 2009)

I Norsk Standard er bygningens energibruk delt inn i ulike kategorier. Disse kategoriene heter energipost, se tabell 1.

Tabell 1 viser oversikt over energiposter som brukes i Norsk Standard (Standard Norge, 2014)

Energipost
Romoppvarming
Ventilasjonsvarme
Vifter
Pumper
Belysning
Teknisk utstyr
Romkjøling
Ventilasjonskjøling

Energibruk til ventilasjon

Energibruken til ventilasjon er todelt i Norsk Standard. Den er delt i energi til viftedrift og energi til ventilasjonsvarme. Vifteenergi er den energien som kreves for å transportere frisk luft inn i bygget. Ventilasjonsvarme er den energien som kreves for å varme opp luften. Utregning av vifteenergi og ventilasjonsvarme beskrives nærmere i kapittel 4.5.

Utvikling av energibruk til ventilasjon

Økt bruk av varmepumpe og strengere krav til isolasjonsevne og tetthet i bygninger har redusert energibruk. Faktorer som befolkningsvekst og strengere krav til inneklime har økt energibruk (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016). Vifteenergien vil sannsynligvis reduseres på grunn av mer effektive vifter, men er usikker om energibruken til ventilasjonsvarme vil utvikles. Dersom det blir strengere krav til inneklime vil energibruken øke, men bedre teknologi vil senke energibruk. (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2013).

	Historisk utvikling	Driver	Forventet utvikling	Framtidig driver
Rom-oppvarming	Redusert forbruk	Byggeforskrifter	Fortsatt reduksjon	Byggeforskrifter
Oppvarming av tappevann	Trolig liten endring	-	Liten endring	-
Ventilasjon	Økt forbruk	Strengere krav til inneklime og komfort	Usikkert	Fortsatt høye krav til inneklime, men bedre teknologi.
Vifter (ventilasjon)	Økt forbruk	Strengere krav til inneklime og komfort	Redusert forbruk	Krav til mer effektive vifter
Pumper (tappevann og vannbåren varme)	Økt forbruk	Strengere krav til inneklime og komfort	Redusert forbruk	Krav til mer effektive vifter og pumper
Belysning	Reduksjon	Mer effektiv belysning	Fortsatt reduksjon	Gradvis utskiftning i eksisterende bygg, fortsatt teknologiutvikling
Teknisk utstyr	Begrenset økning	Mer utstyr, men mer energieffektivt	Utflating	Mer energieffektivt utstyr, men mulig fortsatt økning i omfanget av utstyr
Kjøling	Økt forbruk	Strengere krav til komfort, økt varmeoverskudd, mer krevende drift	Usikkert	Økte krav til solavskjerming, men økt varmeoverskudd i byggene med innstrømming i byggeforskrifter

Figur 2 viser forventet utvikling for vifteenergi og ventilasjonsvarme. (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2013)

2.2 Inneklima i bygninger

Inneklima påvirker helse, trivsel og produktivitet (Arbeidsilsynet). Ifølge WHO kan 4,3 millioner dødsfall globalt knyttes til forurensning i husholdning (World Health Organization, 2012). I tillegg påvirkes menneskets kognitive evne av faktorer som CO₂ konsentrasjon, luftmengde og temperatur

2.2.1 Ventilasjon og luftmengder - Atmosfærisk komfort

Formålet med ventilasjon er å fjerne forurensningen som produseres av mennesker og materialer.

Gjennom metabolisme frigis CO₂, lukt og varme til omgivelsene. Metabolisme(M) er summen av indre varmeproduksjon og fysisk aktivitet (Ingebrigtsen, 2018a).

Tabell 2 viser sammenhengen mellom ulike aktiviteter og varmeproduksjon (Ingebrigtsen, 2018a)

Metabolisme[M]	Varmeproduksjon [Wm ⁻²]	Aktivitet
1,2	70	Kontorarbeid
1,6	93	Stående aktivitet f.eks husarbeid
15	870	Elitesport aktivitet

Fordi man vet omtrent hvor mye CO₂ en person produserer brukes vanligvis CO₂ som styringsparameter for ventilasjonsluftmengde. Folkehelseinstituttet har satt 1000 ppm som normkrav (Folkehelseinstituttet, 2013). Ifølge Norsk Standard gir en innendørs konsentrasjon på 1000 ppm 20% misfornøyde ved utendørs CO₂ konsentrasjon på 350 ppm (Standard Norge, 2014)

Tabell 3 viser sammenheng mellom andel misfornøyde og luftmengde (Standard Norge, 2014)

Andel misfornøyde	Tilført luftmengde [ls ⁻¹ person ⁻¹]	Tilført luftmengde for emisjon [ls ⁻¹ m ⁻²]	Konsentrasjonsdifferanse mellom inne og ute [ppm]	Innendørs konsentrasjon [ppm]
15 %	10	0,7	460	810
20%	7	0,7	650	1000

2.2.2 Termisk komfort

Det er 6 faktorer som påvirker den termiske komforten; Lufttemperatur, strålingstemperatur, lufthastighet, relativ luftfuktighet, bekledning og aktivitetsnivå (Ingebrigtsen, 2018a). Lufttemperatur skal ifølge byggeforskriften tilpasses rommets funksjon og bruk og skal holdes under 22 °C når det er oppvarmingsbehov (Direktoratet for byggekvalitet, 2017)

På grunn av lokalt termisk ubehag gir ikke lufttemperaturmålinger en helhetlig vurdering av den termiske komforten. Lokalt termisk ubehag kan oppstå ved temperaturforskjeller mellom hode og ankel, stråling fra varme eller kalde flater, trekk og luftfuktighet(Ingebrigtsen, 2018a)

Tabell 4: Viser oversikt lokalt termisk ubehag(Ingebrigtsen, 2018a)

Lokalt termisk ubehag	Forklaring	Anbefaling
Vertikal temperaturgradient	Temperaturforskjell mellom hode og ankel	Temperaturforskjell mindre enn 2k
Asymmetrisk stråling	Stråling fra varme eller kalde flater	Temperaturasymmetri mot varmt tak mindre enn 5 k Temperaturassymetri mot kald vegg eller vindu mindre enn 10 k
Trekk	Luftbevegelse som gir nedkjølede effekt	Turbulensitet mellom 30-60% Lufthastighet mellom 0,1 og 0,2 ms ⁻¹
Luftfuktighet	Andel av fuktinnhold i luften	30-70% 30-40% vinter på grunn av kondens

2.2.3 Konsekvenser av dårlig inneklime

Symptomer på dårlig inneklime er slimhinneirritasjon, hodepine, tretthet, svimmelhet, konsentrasjonsvansker og hudplager(Ingebrigtsen, 2018a). Lav temperatur øker sjansen for hjerte og luftveissykdommer. Høy temperatur kan medføre tørre øyne og plager med pust(Wolkoff et al., 2021).

CO₂ konsentrasjon og temperatur

Satish et al. (2012) fant ut at 600 ppm forbedret kognitiv evne med 12% sammenlignet med 1000 ppm. Allen et al. (2016) konkluderte med at en økning på 400 ppm gir 21% nedgang i kognitiv evne.

Hong et al. (2018) studerte høye konsentrasjoner av CO₂ (2500 ppm) og normale konsentrasjoner (1000 ppm) i tillegg til kald, normal og høy temperatur. Nøytral temperatur og konsentrasjon under 1000 ppm ga best resultater i testen. Studien fant også ut andel misfornøyde og kognitiv evne ikke nødvendigvis henger sammen. I en testgruppe med 66% forventede misfornøyde presterte de bedre enn testgruppen med 33% forventede andel misfornøyde

Kognitiv evne reduseres med rundt 9% om ved en innendørs temperatur på 17 °C sammenlignet med nøytral temperatur(24,76 °C) (Kim et al., 2020). Ved temperatur på 33 °C sank kognitiv evne med 7%. Det vil si at temperatur på +- 8 °C fra nøytral temperatur gir 7-9% redusert på kognitiv evne. Forsøkspersonene presterte best ved ca 1 grad varmere enn nøytral temperatur. Varmere

temperatur er foretrukket for kreativt arbeid og logisk tekning. En annen studie fant ut at høye temperaturer øker intensiteten av helseplager med 12% for hver grad temperaturen overstiger 22,5 °C. (Seppänen & Fisk, 2006)

Luftmengder

Luftmengder under 25 ls^{-1} person vil kunne medføre helseplager (Sundell et al., 2011). Milton (2000) studerte sykefravær blant 3700 personer i Massachusetts og fant ut at reduksjon av luftmengde fra 24-12 ls^{-1} person så økte sykefravær med 35%.

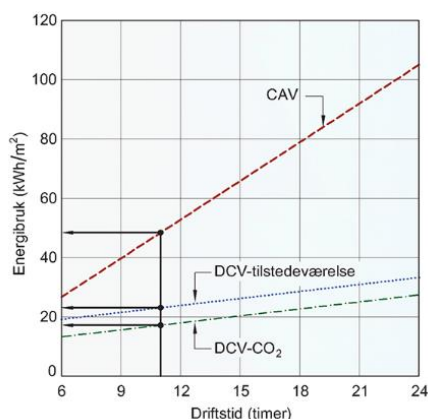
Økning av luftmengde fra 9,438-18,87 ls^{-1} person⁻¹ gir 18% forbedret kognitiv evne (Allen et al., 2016). Wargocki (2000) fant ut at hver dobling av 3 ls^{-1} person⁻¹ forbedret kognitiv evne med 1,7%. Ito og Murakami (2010) fant ut at endret luftmengde fra 10- 20 ls^{-1} person⁻¹ forbedret kognitive evne med 2,5%. Når luftmengden ble økt fra 20-30 ls^{-1} person⁻¹ ble den kognitive evnen forbedret med 1,5%.

2.3 Ventilasjon- Energibruk og inneklima

2.3.1 Hvordan forbedre komfort og energibruk?

Behovsstyring egner seg til drift av yrkesbygninger på grunn av variabel personbelastning.

Behovsstyrte anlegg har en grunnventilasjon som økes forurensning øker. De mest brukte styringsparameterne for behovsstyring er temperatur og CO₂ konsentrasjon (SINTEF Byggforsk, 2016). Ved å bytte fra konstant luftmengde (CAV) til behovsstyrt-tilstedeværelse er energibesparelsen 25 KWhm^{-2} og energibesparelsen er 31 KWhm^{-2} fra CAV til behovsstyrt ventilasjon med CO₂ sensor. Se figur 3.



Figur 3: Viser at behovsstyring gir energibesparelse sammenlignet med CAV (SINTEF Byggforsk, 2016)

Hvorfor gir behovsstyring energibesparelse?

Redusert luftmengde gir redusert behov for å varme opp ventilasjonsluft. Når luftmengde og trykk reduseres vil også vifteeffekten reduseres (Ingebrigtsen, 2018b). Ventilasjonsluftmengden påvirker behovet for romoppvarming og ventilasjonskjøling. Fordi ventilasjonsluften som regel har lavere temperatur enn ønskelig romtemperatur så må ventilasjonsluften varmes opp til romtemperatur.

Ulike type sensorer for forbedret inneklime

Dong et al. (2019) studerte ulike type sensorer. Bevegelsessensorer som infrarød, fotosensorer kan fungere for å aktivere lys, men fungere dårlig til å telle antall personer. Radiobaserte sensorer som Bluetooth og WIFI er i utvikling, men har foreløpig dårlig trådløs rekkevidde. Sensorene er foreløpig upresise for å spore personers plassering i rom.

Målinger av lufthastighet kan brukes til å vurdere inneklime, fordi lite luftbevegelse kan relateres til dårlig luftsirkulasjon (Dong et al., 2019). På grunn av kjemiske prosesser oppstår det flykte organiske forbindelser (VOC). Dette kan komme gjennom ventilasjonen, ved at materialer i bygget slites ned eller for eksempel via rengjøringsmidler. Disse partiklene kan være helseskadelig, men er vanskelig å måle fordi de vanligvis forekommer i små doser.

Bærbar sensor som armbånd og klokke kan lese av kroppstemperatur, plassering, temperatur, fuktighet og puls. Smarte sensorer som mobiltelefon kan også benyttes. Ved hjelp av IoT og en spesialdesignt app kan det lages en tilbakemeldingssløyfe for inneklime og energi (Dong et al., 2019)

Smart ventilasjon og sensorer

Begrepet IoT er et samlebegrep for smartteknologi og kommunikasjonsrammeverk. Eksempel på IoT er smart mobil, bærbare sensorer, og mobil app. IoT kan knyttes opp til temperatur og CO₂ sensor. Gjennom tilbakemeldinger fra brukere kan det dannes nye settpunkter som øker komfort (Dong et al., 2019).

Smart ventilasjon kan forbedre viftedrift, overvåking av systemfeil og behov for å bytte ut komponenter i ventilasjonssystemet. Med sensorer som måler effekt, temperatur og luftkvalitet kan man overvåke og optimere energibruk og inneklime (SINTEF Fag, 2022).

Smartklokker kan brukes til å estimere termisk komfort. Choi og Loftness (2012) fant ut at håndleddet er stedet på kroppen der det er best å måle den termiske komforten. Dai studerte presisjonen til bærbare sensorer. Studien konkludert med at bærbar sensor i kombinasjon med app og andre trådløse sensorer kan gi 80% presisjon for predikere den personlige komforten (Dai et al., 2017)

Barrierer for smart ventilasjon

(SINTEF Fag, 2022) undersøkte status for smart ventilasjon. I studien utførte de dybdeintervjuer med eksperter innenfor fagområdene automatisering, ventilasjon, energi og inneklima. Studien identifiserte psykologiske faktorer hos sluttbrukerne som den kritiske barrieren for smart ventilasjon. Formålet med smart ventilasjon er å involvere brukerne i styringen av bygget. Derfor er aksept og samtykke blant sluttbrukerne avgjørende. Sluttbrukeren må derfor forstå verdien av å bruke dataen og være villig til å ta i bruk den nye teknologien. Ifølge Sintef vil denne barrieren kunne trenge en modningsprosess på 10-20 år

Det finnes også en rekke andre utfordringer som kan stoppe utviklingen av ventilasjonssystemer basert på IoT. Ifølge Statistisk sentralbyrå er byggenæringen en av de næringene i landet med lavest innovasjonsaktivitet (Statistisk sentralbyrå, 2021). Mangel på innovasjon kan komme av at byggebransjen er fragmentert og at det foregår lite samarbeid innad i bransjen (Byggenæringens Landsforening, 2020). Mangel på kunnskap kan også være en utfordring fordi kun 12% av de ansatte i byggenæringen høyere utdanning (SINTEF Community, 2020).

3 Casestudie

3.1 Informasjon om bygget

Urbygningen ble bygget i 1901. Bygget består av 5 etasjer med bruksareal på 7313 m².

Tabell 5: Viser en oversikt over de ulike type rommene som er i Urbygningen

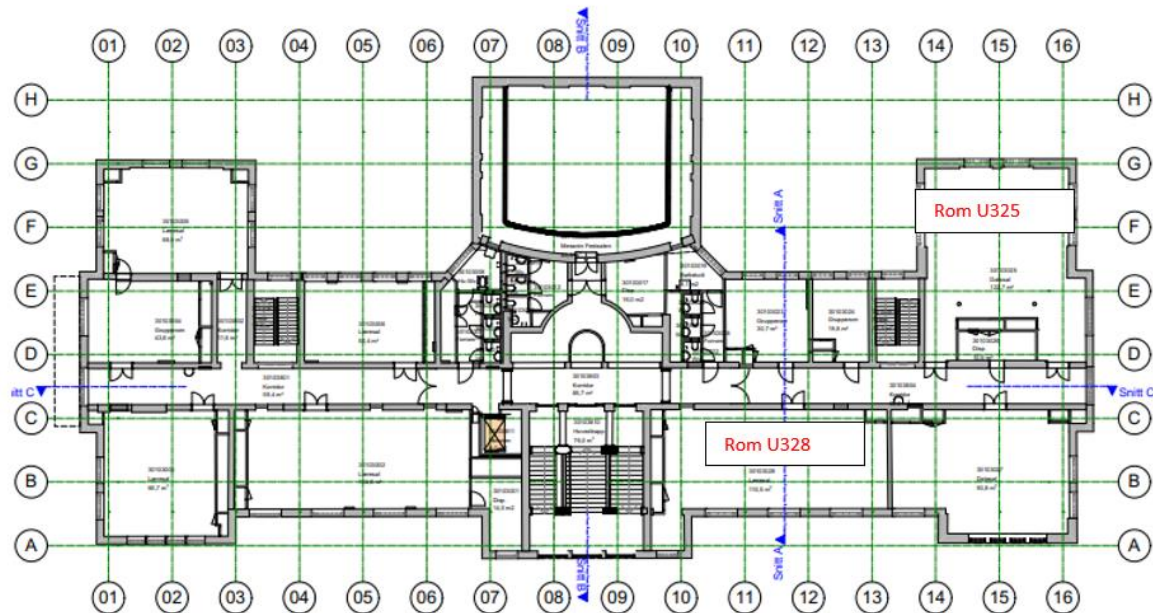
Rom	Areal [m ²]
Grupperom	672
Undervisningsrom	1329
Kantine/sosiale rom	276
Resterende arealer	5036
Totalt	7313

I Urbygningen er det 14 undervisningsrom som har et areal på 1329 m² og plass til 774 studenter.

Tabell 6: Viser en oversikt over undervisningsrommene i Urbygningen

Rom	Areal [m ²]	Antall personer
U120	84,4	82
U121	91,3	46
U122	106,6	42
U215	159,4	168
U225	94,6	46
U227	83	36
U302	104,6	60
U303	66,7	30
U305	68,9	32
U306	50,4	18
U325	122,7	35
U327	93,8	23
U328	110	60
Totalt	1329	774

Det er plassert sensorer i to rom i 3 etasje. Sensorene måler luftmengder for tilluft og avtrekk, i tillegg til temperatur, lys og CO₂ konsentrasjon. Målingene kan eksporteres og behandles i Excel. Det er kun målingene fra rom U328 som skal analyseres i dette prosjektet.



Figur 4: Viser plasseringen til de to rommene hvor det er plassert sensorer

Rom U328

Rom U328 er en læresal med areal på 110,5 m². Rommet har 60 stoler tillegg til 1 stol for lærer og kateter.

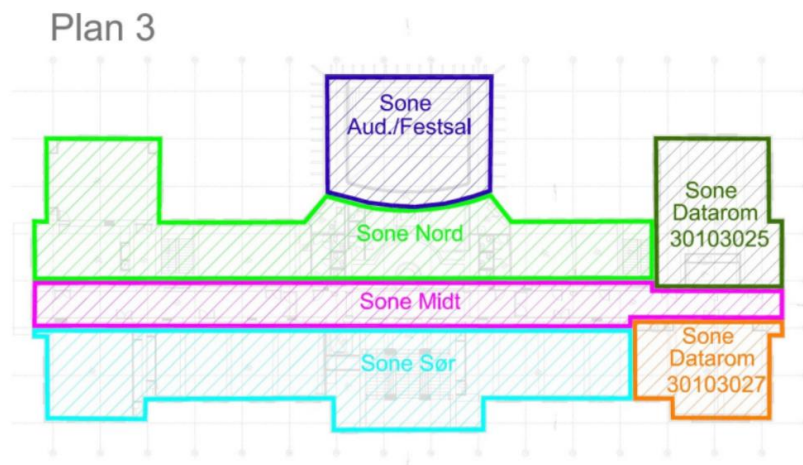
3.2 Innhenting av energidata for bygget

Simien beregning

I utgangen av 2013 utarbeidet Statskraft en Simien fil for Urbygningen. SIMIEN (SIMulering av Inneklima og Energi i bygninger) er et beregningsverktøy for bygningers effekt- og energiforbruk og termisk komfort. Denne beregningen brukes til å hente ut informasjon om de tekniske egenskapene til ventilasjonen.

Oppbygningen og arealoversikt for Simien

På grunn av ulikt soltilskudd og tekniske egenskaper er bygget delt inn i 8 beregningssoner. Figur 8 viser 6 av de 8 sonene som er i Simien. I Simien beregningen er også Sone veksthus og sone kjeller.



Figur 5: Oversikt over soneinndelingen til bygget

Inndeling for energiberegninger

For å regne ut energibesparelse for ventilasjon er arealer og SFP lest ut fra Simien og plantegninger. Utregningen er delt inn i undervisningsrom og grupperom, se tabell 7 og 8.

Tabell 7: Viser oversikt over areal til undervisningsrom og SFP for sonen undervisningsrommet er plassert i

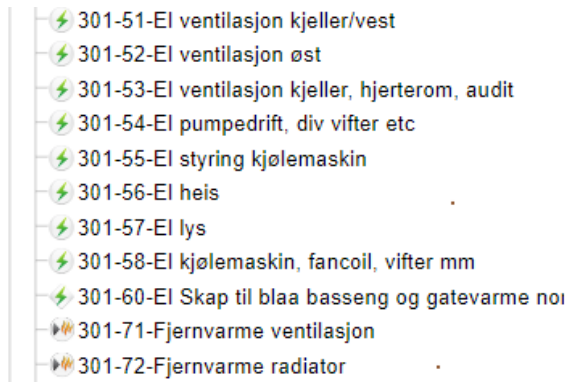
Sone	Undervisningsrom [m ²]	SFP [kWm ⁻³ s ⁻¹]
Nord	295,7	1,16
Sør	657	1,53
Datarom nord	122,7	0,91
Datarom sør	93,8	0,91
Auditorium	159,4	0,91

Tabell 8: Viser oversikt over areal til grupperom og SFP for sonen grupperommet er plassert i

Sone	Grupperom [m ²]	SFP [kWm ⁻³ s ⁻¹]
Nord	295,5	1,16
Sør	239,4	1,53
Kjeller	136,8	2

Bruk av energinet

Byggets energibruk til ventilasjon hentes gjennom energinet. Energinet er et energioppfølgingssystem for energi-, avfall og miljørapportering. I Energinet er energiforbruket til ventilasjon delt inn i ulike energigrupper, se figur 9. Elektrisitetsforbruket til ventilasjonen er delt i tre grupper og totale forbruket regnes ved å summere disse.



Figur 6: Viser oversikt over energigruppene som er tilgjengelig i energinet

I energinet velger jeg den perioden som jeg ønsker å analysere. For denne oppgaven er året 2022 valgt. Energiforbruk og temperatur leses ut av tabell, se figur 10.

Tid (Time)	Utetemperatur	301-52-El ventilasjo...
	7,34 C	30 822,29 kWh

Figur 7: Viser hvor energidata leses ut ifra

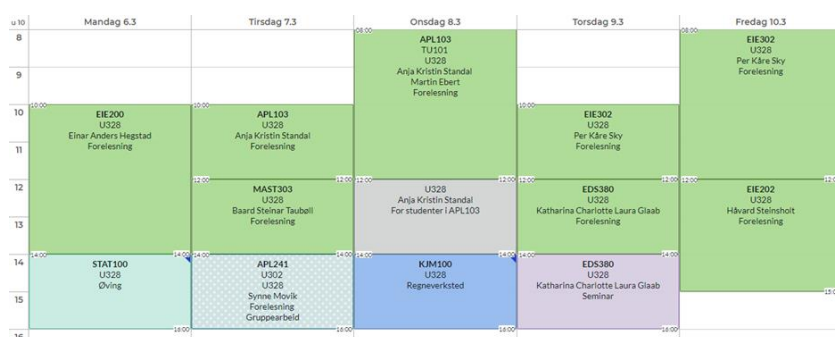
4 Metode

- Studie av antall personer i rom
- Analyse av innelima
- Analyse av hvor godt behovsstyringen fungerer
- Analyse av energimålinger
- Analyse av energibruk knyttet til luftmengder

4.1 Studie av antall personer i rom-Telling

For å kunne vurdere innelima og energibruk med hensyn på antall personer ble antall personer telt.

I timeplanssystemet står det hvilken foreleser som er ansvarlig for undervisning. Forelesere ble bedt om å telle antall personer som var i forelesning i uke 10.



Figur 8: Viser timeplanen for rom U328 i uke 10

Det ble totalt utført 6 tellinger av forelesere. En telling defineres i denne oppgaven av antallet personer som var i rommet. For hver telling ble det notert hvor mange personer som var i rommet og hvor lenge personene var i rommet. Det vil si at alle målinger med likt antall personer i rommet er slått sammen til en telling. Telling 7 representerer de timene der det ikke ble telt antall personer, se tabell 9

Tabell 9 viser oversikt over hvordan tellinger ble utført i uke 10

Telling	Utførelse av telling
1	Gjort av foreleser
2	Gjort av foreleser
3	Gjort av foreleser
4	Gjort av foreleser
5	Gjort av foreleser
6	Gjort av foreleser
7	Egen telling basert på innelima målinger

For å regne ut hvor mange personer som er i bygget under uke 10 er formel 1 brukt.

Formel 1: Viser utregning av gjennomsnitt antall personer

$$\text{Gj antall personer} = \frac{\text{tid}_{\text{telling1}} * \text{antall personer}_1 + \text{tid}_{\text{telling2}} * \text{antall personer}_2 + \text{tid}_{\text{tellingn}} * \text{antall personer}_n}{\text{tid}_1 + \text{tid}_2 + \text{tid}_n}$$

Det ble også utført tellinger som ikke var i uke 10. Formålet med disse tellingene var å få et bredere datagrunnlag som kunne analyseres, se tabell 10.

Tabell 10 viser oversikt over tellingene som ble utført utenfor uke 10

Telling	Utførelse av telling
1	Gjort av foreleser
2	Gjort av foreleser
3	Gjort av foreleser

4.2 Analyse av inneklima

Inneklimamålinger utføres hvert 15 minutt og kan eksporteres til Excel. Sensorene i rommet måler temperatur, CO₂-konsentrasjon (ppm) og ventilasjonsluftmengde, se figur 9.

Tidspunkt	PPM	TEMP	Luftmengde
06.03.23 14:09	581,05	20,32	514,50
06.03.23 14:24	633,67	20,72	870,20
06.03.23 14:38	639,87	20,89	1181,96
06.03.23 14:52	629,81	20,97	1237,14
06.03.23 15:07	620,10	20,89	1243,97
06.03.23 15:21	612,62	20,66	1289,43
06.03.23 15:36	601,07	20,63	1163,53
06.03.23 15:50	603,82	20,71	987,53
06.03.23 16:04	562,65	20,84	694,73

Figur 9 viser oversikt over målinger som kan hentes ut fra sensorer

Sortering av data

Inneklimamålinger er sortert og analysert med hensyn på antall personer som var i rommet, se figur 10. Det ble undersøkt hvordan ppm, temperatur og luftmengder endret seg med hensyn på antall personer. Målingene ble brukt til å analysere hvordan inneklima og energibruk varierer for ulikt antall personer i rommet.

Tidspunkt	PPM	TEMP	Luftmengde	Antall personer
06.03.23 14:09	581,05	20,32	514,50	13
06.03.23 14:24	633,67	20,72	870,20	13
06.03.23 14:38	639,87	20,89	1181,96	13
06.03.23 14:52	629,81	20,97	1237,14	13
06.03.23 15:07	620,10	20,89	1243,97	13
06.03.23 15:21	612,62	20,66	1289,43	13
06.03.23 15:36	601,07	20,63	1163,53	13
06.03.23 15:50	603,82	20,71	987,53	13
06.03.23 16:04	562,65	20,84	694,73	13
07.03.23 10:04	712,00	20,00	1414,33	48
07.03.23 10:19	870,61	20,63	1592,13	48
07.03.23 10:33	796,78	21,01	1377,41	48
07.03.23 10:48	794,46	21,27	1534,27	48
07.03.23 11:02	792,20	21,64	1590,05	48
07.03.23 11:16	751,45	21,79	1599,96	48
07.03.23 11:31	743,51	22,01	1635,48	48
07.03.23 11:45	788,66	22,14	1611,08	48
07.03.23 12:00	778,45	22,04	1624,78	48

Figur 10 viser hvordan dataen ble sortert etter antall personer som var i rommet

4.3 Analyse av ventilasjon sammenlignet med TEK 17

Ventilasjonen er blitt sammenlignet med luftmengder etter TEK17. Luftmengden i driftstid er $2,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ og $26 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ person. Fordi arealet og antall personer i rommet er kjent kan luftmengdekrav etter TEK regnes ut og sammenlignes med den målte ventilasjonen.

Tabell 11 viser kriteriene som benyttes for luftmengder i byggeforskriften (Direktoratet for byggekvalitet, 2017)

Kriterium	Beskrivelse	Luftmengde
1	Tomt rom utenfor brukstid	$0,7 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$
2	Tomt rom innenfor brukstid	$2,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$
3	Rom i bruk med tilfredsstillende temperatur	$2,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2} + 26 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{person}^{-1}$

4.4 Energibruk til ventilasjon

Energibruken er hentet fra energinett. Energibruken skal sammenlignes med teoretisk energibruk (NS 3031) forventet energibruk. Utregningen av teoretisk og forventet energibruk er regnet ut av Statskraft.

Energibruken skal også sammenlignes med passivhusstandard og TEK 10. Årsaken til at det skal sammenlignes med TEK 10 er at bygget ble rehabilitert etter TEK 10.

4.5 Endring av luftmengder

Det skal regnes ut hvordan endring av luftmengde påvirker energibruk til vifter og energibruk til ventilasjonsvarme. Det er etablert 3 scenarioer som skal undersøkes. Hovedproblemstillingen til oppgaven er å se på hvor mye energibruken kan reduseres. Derfor er Scenario 1 hovedscenario i oppgaven og vil vektlegges mest når resultater skal diskuteres. Scenario 2 og 3 er etablert for å se på fordeler med økning av luftmengde.

Tabell 12: Scenarioer som skal undersøkes

Scenario	Scenario	Beskrivelse av luftmengde	Luftmengde
1.	Minimal energibruk	Minste tillate luftmengde etter TEK	$26 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ person}^{-1} + 2,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$
2.	Forbedret inneklima	Luftmengde for reduserte helseplager	$86,4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ person}^{-1}$
3.	Forbedret inneklima	Luftmengde for minimalt med helseplager	$108 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ person}^{-1}$

Formel 2 og 3 brukes til å regne ut hvordan vifteenergi og ventilasjonsvarme påvirkes av å redusere eller øke luftmengder fra den målte luftmengden. Differanse luftmengden er forskjellen på luftmengdene beskrevet i tabell 12 og målt luftmengde for en telling.

Energibruk til vifter

Formel 2 viser utregning av energibruk til vifter

$$\text{Energibruk til vifter (kWh)} = \frac{\text{Differanse luftmengde} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{h}} \right) * \text{BRA}(\text{m}^2) * \text{SFP}_{\text{on}} \frac{\text{kW}}{\frac{\text{m}^3}{\text{s}}} * \text{driftstid (timer)}}{3600}$$

Energibruk til ventilasjonsvarme

Formel 3 viser utregning av ventilasjonsvarme

$$\text{Ventilasjonsvarme (V)} = 0,33 * \text{Differanse luftmengde} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * (1 - n) * (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) * \text{driftstid}$$

SFP og BRA hentes ut fra tabell 7 og 8. Tabell 13 viser dataen som benyttes for å regne ut ventilasjonsvarmen. Driftstiden er regnet ut i tabell 14, mens utregning for differanse luftmengde regnes ut i kapittel 4.5.1.

For ventilasjonsvarme er tilluftstemperaturen lest ut av Simien. Den er satt til 19,5°C fordi tilluftstemperaturen er 20 °C om vinteren og 19 °C om sommeren. 19,5 °C er midt imellom sommer og vinter temperatur. Virkningsgraden for varmegjenvinner er også lest ut av Simien.

Tabell 13 Viser verdier som benyttes for utregning av ventilasjonsvarme

Ventilasjonsvarme	
n [%]	82
T inne [°C]	19,5
T ute [°C]	6,3
Driftstid [timer]	2200

Utrekning av driftstid

Målinger viste at driftstiden til bygget var fra 8-18 i hverdager. Derfor er driftstiden i løpet av en uke 50 timer. Med 10 timers driftstid og 8 ukers ferie blir driftstiden 2200 timer.

Tabell 14 utregning av driftstid

Tid i og utenfor driftstid	Timer i driftstid [timer]
Dag	10
Uke	5
Uker	44
Driftstid	2200

4.5.1 Endring av luftmengder

Formel 4-6 viser utregning av differanse luftmengden for de ulike scenarioene for en telling. Fordi det er utført 7 tellinger må differanse luftmengden regnes ut for alle 7 tellingene for å finne gjennomsnittet, se formel 7.

Formel 4: Utregning av differanse luftmengde for scenario 1 for en telling.

$$\text{Differanse luftmengde}_{\text{telling } n} = \left(\frac{m^3}{h} \right) = \left(26 \frac{m^3}{h \text{ person}} * \text{antall personer} + 2,5 \frac{m^3}{h \text{ m}^2} * 110,5 \text{ m}^2 - \text{Målt luftmengde} \left(\frac{m^3}{h} \right) \right)$$

Formel 5: Utregning av differanse luftmengde for scenario 2.

$$\text{Differanse luftmengde}_{\text{telling } n} = \left(\frac{m^3}{h} \right) = \left(86,4 \frac{m^3}{h \text{ person}} * \text{antall personer} \right) - \text{Målt luftmengde} \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

Formel 6: Utregning av differanse luftmengde for en telling for scenario 3.

$$\text{Differanse luftmengde}_{\text{telling } n} = \left(\frac{m^3}{h} \right) = \left(108 \frac{m^3}{h \text{ person}} * \text{antall personer} \right) - \text{Målt luftmengde} \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

Formel 7: Utregning for den gjennomsnittlige endringen i luftmengde.

$$\text{Gj diff feranse} = \frac{(\text{Diff telling}_1 * \text{tid}_{\text{telling}_1} + \text{Diff telling}_2 * \text{tid}_{\text{telling}_2} + \text{Diff telling}_n + \text{tid}_{\text{telling } n})}{\text{tid}_{1+2+n}}$$

Formel 7 viser at differanse luftmengden multipliseres med lengden på tiden for tellingen. Fordi det kun ble utført tellinger i rom U328 er disse tellingene brukt til å gjøre en antagelse om antall personer i de andre rommene. Derfor er det etablert en korreksjonsfaktor som er forholdet mellom antall timer booket undervisning i rom U328 og antall booket timer undervisning i resten av bygget, se formel 8 og 9.

Formel 8 viser hvordan tidsperiodene justeres.

$$\text{Justering av } tid_n = tid_{rom\ U328} * \text{korreksjonsfaktor}$$

Formel 9 viser korreksjonsfaktoren som benyttes for å justere tidsperiodene.

$$\text{korreksjonsfaktor} = \frac{\text{rombruk resten av bygg}}{\text{rombruk rom U328}}$$

Endring av luftmengder utenfor driftstid

Målinger viste at det ikke ventileres noe utenfor driftstid. Det skal undersøkes hvordan det å øke luftmengder utenfor driftstid kan påvirke inneklima og energi. Scenarioene som skal undersøkes er TEK luftmengder og NS. Beregningen skal gjøres gjennom Simien.

Tabell 15 viser scenarioer som skal undersøkes og tilhørende verdier til Simien beregning.

Sone	TEK luftmengder [m ³ m ⁻² h ⁻¹]	NS luftmengder [m ³ m ⁻² h ⁻¹]	BRA [m ²]	SFP [kWm ⁻³ s ⁻¹]
Nord	0,7	2	2384,6	0,56
Sør	0,7	2	1812	0,72
Kjeller	0,7	2	1483,4	0,9
Datarom nord	0,7	2	140,8	0,47
Datarom sør	0,7	2	72,6	0,47
Auditorium festsalen	0,7	2	218	0,5
Sone midt	0,7	2	1185,7	0,9

5 Resultater

5.1 Studie av antall personer i rom

Det ble utført telling for 15 timer i uke 10. I uke 10 var det booket 33 timer undervisning. Det vil si at det var 18 timer der det ikke ble telt personer. For utregninger vil det antas at det ikke var undervisning på tidspunkter der det ikke er telt personer.

Tabell 16: Viser oversikt over tellinger. De oransje feltene er tidspunkter der det var booket undervisning, men undervisningen ikke ble gjennomført.

Tidspunkt	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag
8-9					
9-10					
10-11		48 personer		35 personer	18 personer
11-12		48 personer		35 personer	18 personer
12-13		50 personer		13 personer	40 personer
13-14		50 personer		13 personer	40 personer
14-15	13 personer				40 personer
15-16	13 personer				
16-17					
17-18					

Bruk av rom for resten av bygget

Det er totalt 14 undervisningsrom i Urbygningen. Gjennomsnittlig var disse rommene booket 26 timer i uke 10, se vedlegg 1. Fordi rom U328 ble brukt 15 av 33 timer vil rombruken for resten av bygget justeres etter dette. For videre utregninger vil det antas at gjennomføres undervisning 50% av tiden som er booket. Det vil si at antas at det er 13 timer undervisning i løpet av en uke.

Korreksjonsfaktor for resten av bygget regnes ut med formel 8 og er 0,87. Den justerte tidsperioden regnes ut ved å multiplisere tiden for rom U328 med korreksjonsfaktor, se tabell 17. Årsaken til at tellingene tidsjusteres er at lengden på tidsperioden for tellingen påvirker den totale overventileringen. Telling 7 i tabellen er tiden det ikke var forelesning. I kapittel 5.3 forklares det hvorfor antall personer er satt til 7 for telling 7.

Tabell 17 oversikt over tidsperioder i rom U328

Telling	Antall personer	Tid rom U328	Justert tid
---------	-----------------	--------------	-------------

		[timer]	[timer]
1	13	4	3,48
2	18	2	1,74
3	35	2	1,74
4	40	3	2,61
5	48	2	1,74
6	50	2	1,74
7	7	35	37

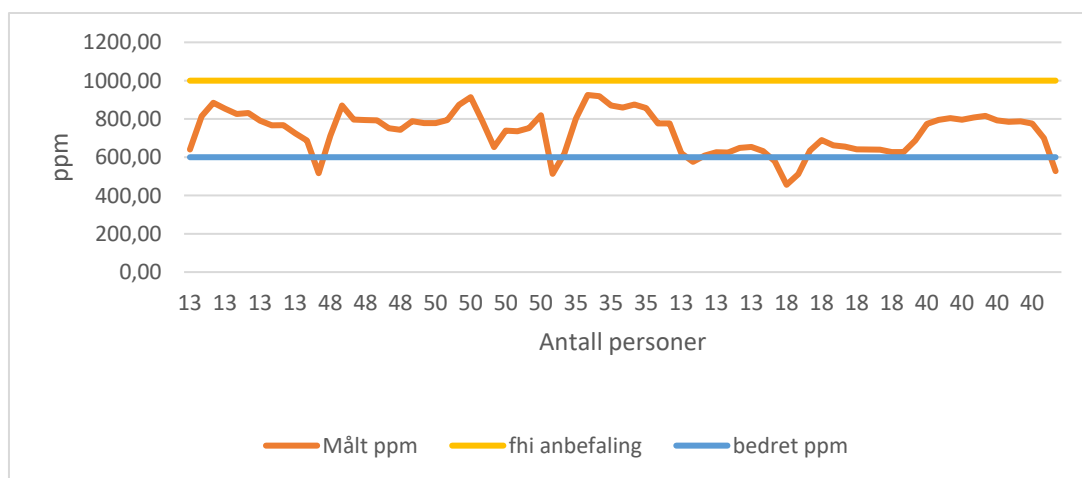
Ved å sette inn antall personer og antall timer justert tidsperiode i formel 1 blir antall personer i gjennomsnitt.

13,42 personer= 14 personer

5.2 Vurdering av inneklima

5.2.1 Luftkvalitet

Luftkvaliteten er bra sammenlignet med folkehelseinstituttets krav på 1000 ppm. Gjennomsnittet er på 725 ppm. Den målte CO₂ konsentrasjonen ligger som regel rundt 800 ppm, se figur 11.



Figur 11: Viser ppm målingene sammenlignet med 1000 ppm og 600 ppm

Den høyeste gjennomsnittlige CO₂ konsentrasjonen ble målt med 35 personer til stede. Det var lavest CO₂ konsentrasjon med 13-18 personer i rommet. Se tabell 18.

Tabell 18: Viser oversikt over gjennomsnitts ppm for tellingene

Antall personer i rommet	CO ₂ konsentrasjon [ppm]
--------------------------	-------------------------------------

13	616,2
18	648,52
35	833,67
40	757,44
48	780,9
50	785,31
Gjennomsnitt (32 personer)	725

Målinger med få personer i rommet viser lite sammenheng mellom antall personer og målt konsentrasjon. Derfor er det vanskelig å bruke CO₂ som styringsparameter for tilstedeværelse ved få personer til i rommet, se tabell 19.

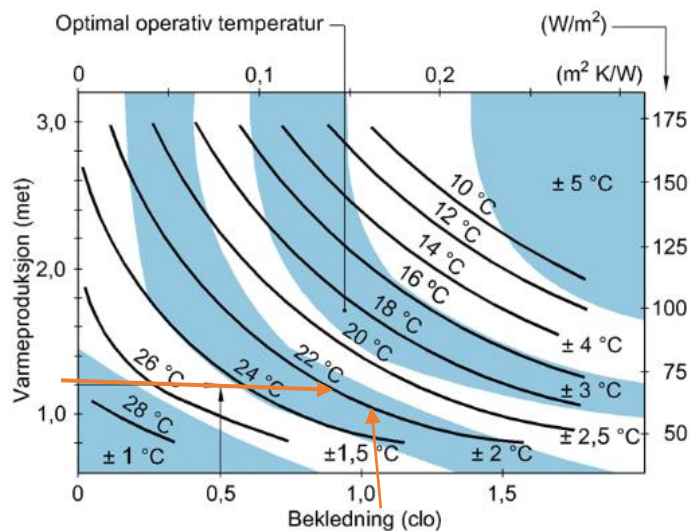
Tabell 19: Viser oversikt over tellinger med få personer til stede i rommet

Antall personer i rommet	CO₂ konsentrasjon [ppm]	CO₂ konsentrasjon gjennomsnitt [ppm]
4	636	636
7	1. 527 2. 587,7 3. 574,13	562
10	1. 583,5 2. 616,33	599

5.2.2 Temperatur

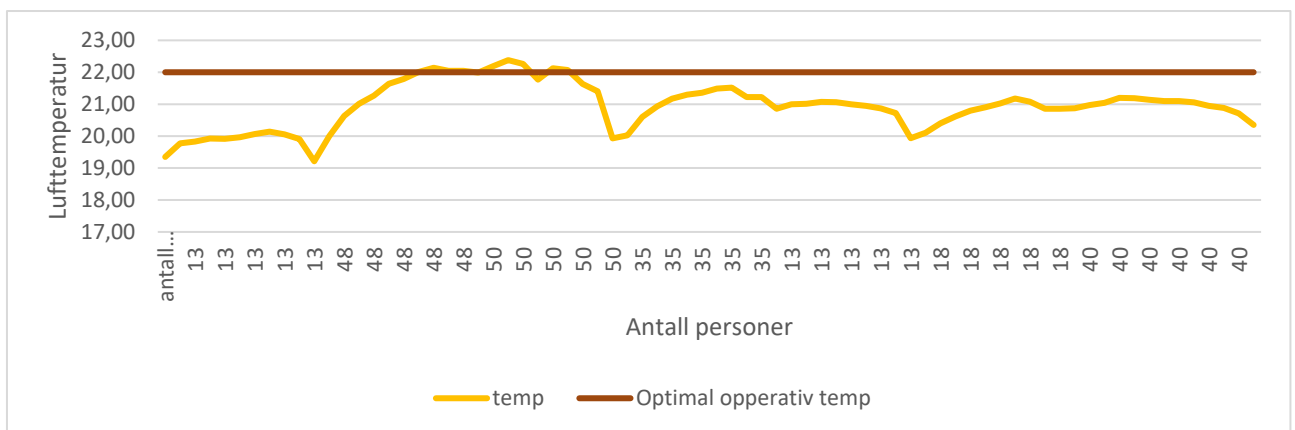
Den optimale temperaturen i mars er 22 °C, se figur 12. Aktivitetsnivå er 1,2 M, se tabell 2.

Isolasjonsevne 1 clo er benyttet fordi det er vinterbekledning.



Figur 12 optimal operativ temperatur med hensyn på beklledning og aktivitet.

Gjennomsnittstemperaturen er 21,14 °C. Temperaturen er nærmest optimal operativ temperatur ved 48-50 personer til stede. Temperaturen avviker mest fra optimal temperatur ved 13 personer i rommet, se figur 13.



Figur 13 viser temperaturmålinger i uke 10 sammenlignet med optimal operativ temperatur.

Temperaturen øker med økende antall personer. Den høyeste gjennomsnittstemperaturen var med 50 personer i rommet, se tabell 20.

Tabell 20: Viser gjennomsnittstemperatur for tellingene.

Antall personer i rommet	Lufttemperatur [°C]
13	20,86
18	20,86
35	21,07
40	20,97
48	21,39
50	21,98
Gjennomsnitt (32 personer)	21,14

Når det er mindre enn 7 personer i rommet kan temperaturen bli under 20 °C. Det er noe under kaldt sammenlignet med optimal operativ temperatur på 22 °C.

Tabell 21: Viser gjennomsnittstemperatur for tellinger med 4-10 personer.

Antall personer	Temperatur [°C]	Gjennomsnitt [°C]
4	19,48	19,48
7	1. 19,65 2. 20,53 3. 20,44	20,20
10	1. 20,86 2. 20,71	20,78

5.3 Vurdering av behovsstyring mot minstekrav i TEK

Under tellingene ble det gjennomsnittlig ventilert $372 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ mer enn minstekravet til TEK. Det vil si at det er potensiale for å redusere energi. Ved 48 og 50 personer i rommet er ventilasjonsluftmengden nærmest minstekravet i TEK. Ved 13 og 18 personer er det mest potensiale for å redusere luftmengde. Se tabell 22.

Tabell 22: Viser oversikt over hvor mye som ventileres sammenlignet med TEK 17

Antall personer i rommet	Antall timer [timer]	Målt luftmengde [m^3h^{-1}]	TEK 17 [m^3h^{-1}]	Forskjell fra TEK [m^3h^{-1}]
13	4	1159	614	544,75
18	2	1418	744	673,75
35	2	1591	1186	404,75
40	3	1653	1316	336,75
48	2	1570	1524	45,75
50	2	1653	1576	76,75
Gjennomsnitt		1470	1098	372

Tellingene som ikke var i uke 10 viser også at ventileres betydelig mer enn minste krav i TEK se tabell 23.

Tabell 23: Viser oversikt over ventilering med få personer i rommet

Antall personer i rommet	Målt luftmengde [m^3h^{-1}]	Gjennomsnitt luftmengde [m^3h^{-1}]	TEK 17 [m^3h^{-1}]	Forskjell fra TEK [m^3h^{-1}]
4	894	894	380	514
7	1.997 2. 677 3. 945,5	873	458	415
10	1. 492 2.1322,8	907	536	371

Luftmengden under tellinger i uke 10 var $3,4 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$ mer enn prosjektering etter minstekrav i TEK17, se tabell 24.

Tabell 24 viser målt luftmengde per m^2 sammenlignet med TEK17

Data	TEK verdi [$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$]	Målte verdier [$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$]
Luftmengde i driftstid	9,93	13,3

Gjennomsnittlig overventilering for uke 10 inkludert de timene det ikke var forelesning

Studiene av rombruk kom frem til at det er 13 timer med undervisning og 37 timer uten undervisning for undervisningsrommene i bygget. Fordi det ikke ble telt personer utenfor forelesninger er det 37 timer der det må gjøres en antagelse av hvor mange personer som var i rommet.

Tabell 25 viser gjennomsnitt av inneklimatemålinger utenfor forelesning

CO ₂ konsentrasjon [ppm]	Temp [°C]	Luftmengde [m^3h^{-1}]
527	20,16	906

Ved temperatur på 20,20 var det 7 personer i rommet. Mens for luftmengde på rundt $900 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ var det mellom 4-7 personer til stede. Derfor ble det antatt at det var 7 personer til stede i rommet utenfor undervisning. Derfor vil den gjennomsnittlige overventileringen for 7 personer brukes i beregninger.

Tabell 26 viser den justerte tidsperioden og overventileringen i perioden

Telling	Antall personer	Justert tidsperiode [timer]	Differanse luftmengde TEK [m^3h^{-1}]
1	13	3,48	545
2	18	1,74	674
3	35	1,74	405
4	40	2,61	337
5	48	1,74	46
6	50	1,74	76
7	7	37	415

Ved å bruke tallene i tabell 26 i formel 7 blir den gjennomsnittlige differanse luftmengden sammenlignet med TEK 404 m³h⁻¹

Tabell 27 overventilering sammenlignet med TEK 17

Differanse luftmengde fra TEK [m ³ h ⁻¹]	Overventilering [m ³ h ⁻¹ m ²]
404	3,65

5.4 Energibruk

5.4.1 Energibruk til vifter

Energibruken til de ulike delene av bygget er hentet ut fra energinet. Totalt bruker bygget 10,146 kWhm⁻², se tabell 28. Det er lavere enn energibruk etter NS 3031 og noe høyere enn forventet energi til vifter, se tabell 29.

Tabell 28: Total og spesifikk energibruk til vifter

Del av bygget	Energibruk [kWh]	Kommentar
Ventilasjon øst	30 438,28	Energibruken er høyest om sommeren
Ventilasjon kjeller/vest	38 888,77	Energibruken er jevnt fordelt utover året
Ventilasjon kjeller hjerterom auditorium	4 877, 64	Energibruken er jevnt lav
Total	74 197 kWh	10,146 kWhm⁻²

Tabell 29: Energibruken til vifter sammenlignet med NS og forventet energibruk

Spesifikk energibruk til vifter for 2022 [kWhm ⁻²]	Spesifikk energibruk til vifter etter NS 3031 [kWhm ⁻²]	Forventet energi vifter [kWhm ⁻²]
10,146	15,1	8,9

5.4.2 Ventilasjonsvarme

Ventilasjonsvarmen til bygget for 2022 var 9,188 kWhm⁻², se tabell 30. Gjennomsnittstemperaturen for dette året var noe høyere enn et gjennomsnittstemperaturen som benyttes i energiberegninger i NS. For å sammenligne med NS må derfor energien til ventilasjonsvarme korrigeres etter dette.

Tabell 30 viser energibruken som ble hentet fra Energinet

Energibruk til ventilasjonsvarme [kWh]	Spesifikk energibruk [kWhm ⁻²]
67 189	9,188

Ved korreksjon for utendørstemperatur vil behovet for ventilasjonsoppvarming øke med 1,1 kWhm⁻², se tabell 31.

Tabell 31: Utregning for å korrigere energibruk med hensyn på utetemperatur.

2022 energibruk
7,54 °C 2022, (6,3 °C NS)
Ventilasjonslufttemp 19,5 °C
$(19,5-6,3) / (19,5-7,54) = 1,10$
Korrigert energibruk: $1,10 \cdot 9,188 = 10,14 \text{ kWhm}^{-2}$

Energibruken til ventilasjonsoppvarming er 3,3 kWhm⁻² lavere enn den teoretiske energibruken. Mens den er 3,2 kWhm⁻² høyere enn forventet energi til ventilasjonsoppvarming, se tabell 32.

Tabell 32: Spesifikk energibruk til ventilasjonsvarme sammenlignet med NS og forventet energi

Spesifikk energi til ventilasjonsoppvarming [kWhm ⁻²]	NS energi til ventilasjonsoppvarming [kWhm ⁻²]	Forventet energi til ventilasjonsoppvarming [kWhm ⁻²]
10,14	13,4	6,9

Energibruk til vifter og ventilasjonsvarme er innenfor krav i TEK 10. Energibruken til vifter er nære passivhusnivå, mens energibruken til ventilasjonsvarme er nærmere TEK 10 enn passivhusnivå.

Tabell 33: Ventilasjonsvarme og vifteenergi sammenlignet med passivhusnivå og TEK

Data	Ventilasjonsvarme [kWhm ⁻²]	Energibruk til vifter [kWhm ⁻²]
Passivhusnivå	6	8
Tek 10	11	18
Målt energibruk	10,14	10,146

Tabell 29-34 viser at energibruken til vifter er akseptabel. Energibruken til ventilasjonsvarme er noe dårligere sammenlignet med forventet energi.

5.5 Endring av luftmengder i driftstid med hensyn på energi og inneklime

5.5.1 Endring av luftmengder ventilasjonsenergi

Scenario 1- Ventilasjonsvarme sammenlignet med minstekrav i TEK

I kapittel 5.3 ble det regnet ut det ventileres $3,65 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^2$ mer enn TEK.

Scenario 2 og 3- Ventilasjonsvarme for økte luftmengder

Luftmengden for scenario 2 og 3 per telling regnes ut ved å multiplisere luftmengde per person med antall personer i rommet for tellingen, se formel 5 og 6. For den målte luftmengden brukes de målte luftmengdene fra tabell 22 og 23. Tiden som er benyttet i beregningen er den justerte tiden i tabell 26. Utregningen vises i vedlegg 2, og formel 7 brukes for denne beregningen. Det antas at grupperom har samme overventilering og bruksmønster som undervisningsrom. Det totale arealet av grupperom og undervisningsrom er 2001 m^2

Tabell 34: Differanse luftmengde for de ulike scenarioene

Scenario	Differanse luftmengde [m^3h^{-1}]	Differanse luftmengde [$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$]	Differanse luftmengde for hele bygget [m^3h^{-1}]
1	-404	- 3,65	-7303
2	120	1,18	2361
3	420	3,8	7603,8

Tabell 35: Utregning av ventilasjonsvarme for de 3 scenarioene

Scenario	Varmekapasitet [$\text{Whm}^{-3}\text{k}^{-1}$]	T_{inne} [$^{\circ}\text{C}$]	T_{ute} [$^{\circ}\text{C}$]	Virkningsgrad	Luftmengde m^3h^{-1}	VV [kW]	kWhår $^{-1}$
1	0,33	19,5	6,5	0,82	-7303	-5,73	- 12 597
2	0,33	19,5	6,5	0,82	2361	1,85	4072
3	0,33	19,5	6,5	0,82	7603	5,96	13115

5.5.2 Endring av luftmengde vifteenergi

Energibruk til vifter- Scenario 1

Totalt for undervisning og grupperom kan energibruken til vifter reduseres med 5984 kWh per år.

Tabell 36 viser utregning av den økte energibruken som følger av overventilering i undervisningsrom

Sone	Forskjell fra TEK [m ³ h ⁻¹ m ⁻²]	Undervisningsrom [m ²]	SFP [kWm ⁻³ s ⁻¹]	Effekttap kW
Nord	3,65	295,7	1,16	0,35
Sør	3,65	657	1,53	1,02
Datarom nord	3,65	122,7	0,91	0,11
Datarom sør	3,65	93,8	0,91	0,09
Auditorium festsalen	3,65	159,4	0,91	0,15
Totalt: 1,72 kW				

Tabell 37 viser utregning av energitapet som følge av overventilering i grupperom

Sone	Forskjell fra TEK [m ³ h ⁻¹ m ⁻²]	Grupperom [m ²]	SFP [kWm ⁻³ s ⁻¹]	Effekttap [kW]
Nord	3,65	295,5	1,16	0,35
Sør	3,65	239,4	1,53	0,37
Sone kjeller	3,65	136,8	2	0,28
1 kW				

Energibruk til vifter- Scenario 2 og 3

Denne beregningen utføres identisk utregningen for scenario 1. Forskjellen er at «Forskjell fra TEK» i tabell 36 og 37 byttes ut med forskjellen mellom målt luftmengde og scenario 2 og 3. Ventilering m³h⁻¹m⁻² hentes fra tabell 34. Arealer og SFP er de samme som i utregning for Scenario 1.

Utrekningen for scenario 2 vises i vedlegg 3, og utregning for scenario 3 vises i vedlegg 4.

Totalt øker effekten for grupperom og undervisningsrom for scenario med 0,88 kW. Per år blir den økte energibruken sammenlignet med målt luftmengde 1936 kWh. For scenario 3 blir det økte effekten 2,81 kW. Per år blir den økte energibruken 6182 kWh. Se tabell 38.

Tabell 38 viser økt effekt og energibruk for scenario 2 og 3

Scenario	Økt effekt [kW]	Økt energibruk per år [kWh]
2	0,88	1936
3	2,81	6182

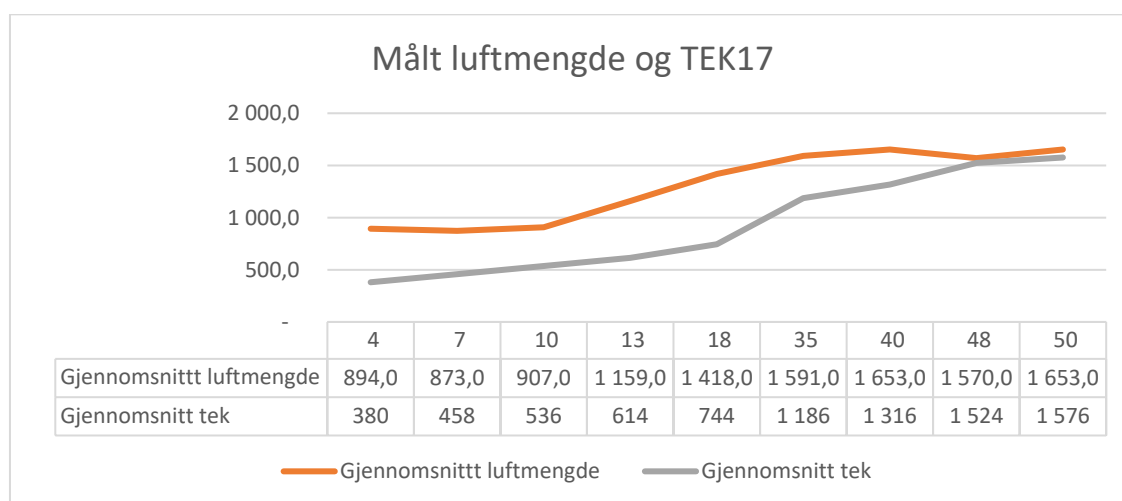
Tabell 39 viser oversikt over energibruken til de tre scenarioene

Scenario	Endret energibruk til vifter [kWh år ⁻¹]	Endret energibruk til ventilasjonsvarme [kWh år ⁻¹]	Total endret energiebruk [kWh år ⁻¹]
1	-5984	-12 597	-18581
2	1936	4072	6008
3	6182	13115	19297

5.6 Forbedring av behovsstyring

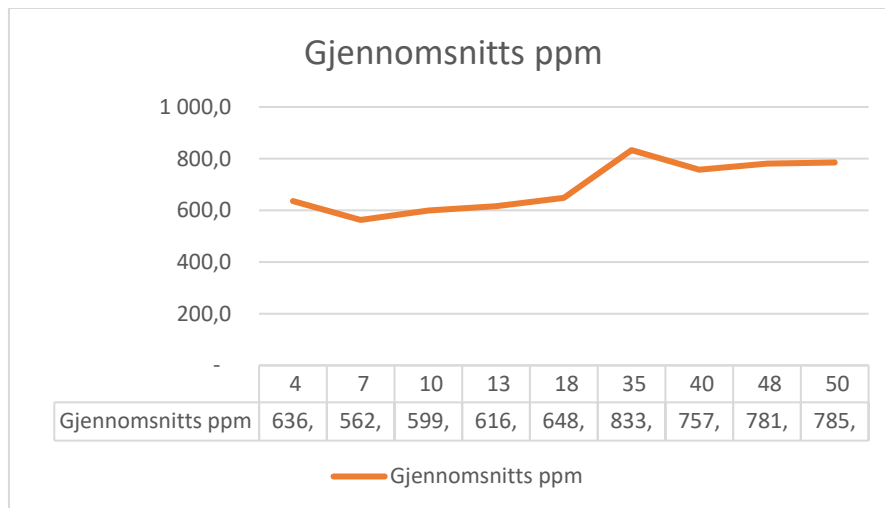
Vurdering av behovsstyring

Figur 14 viser at luftmengden økes lite mellom 4-10 personer og 35-50 personer til tross for at antall personer øker. Mellom 4-35 personer ventileres det gjennomsnittlig 490 m³ h⁻¹ mer enn minstekrav i TEK. Ventilasjonen er minst energieffektiv når det er 18 personer i rommet. Ved 18 personer ventileres det 676 m³h⁻¹ mer enn minstekrav i TEK17.



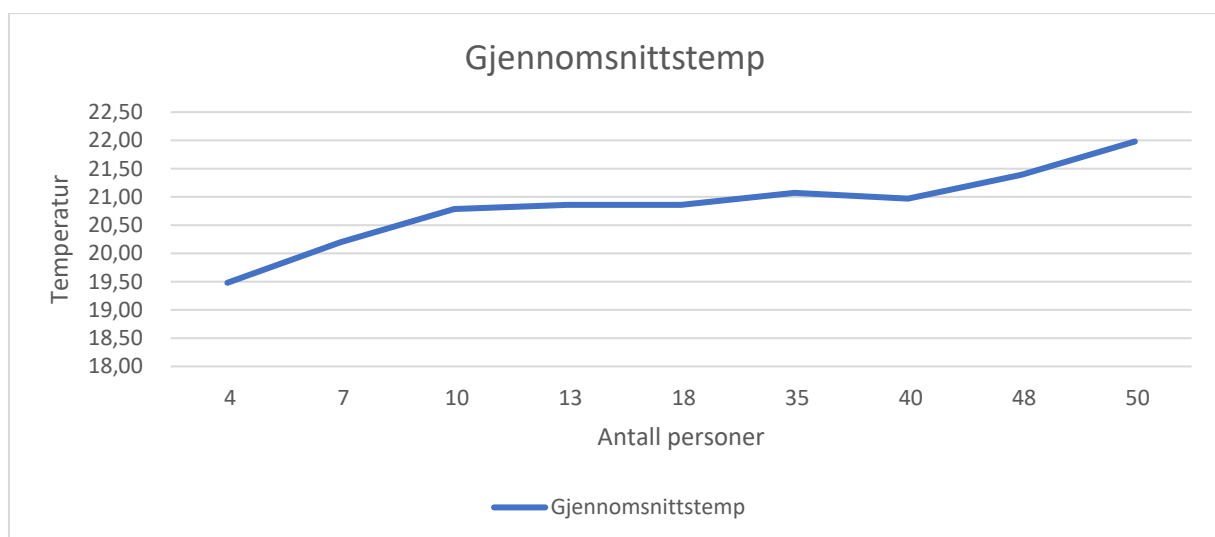
Figur 14 viser sammenhengen mellom antall personer, målt luftmengde og luftmengde etter TEK

Figur 15 viser at det er vanskelig å tyde sammenheng mellom CO₂ konsentrasjon og antall personer. Fordi ventilasjonsanlegget styres etter ppm, kan det være en av årsakene til at ventilasjonsluftmengden er lite energieffektiv med hensyn på antall personer.



Figur 15 viser gjennomsnitts CO₂ konsentrasjon med hensyn på antall personer

Det er en tydeligere lineær sammenheng mellom gjennomsnittstemperatur og antall personer, se figur 16.



Figur 16 viser sammenheng mellom antall personer og temperatur

Endringer av luftmengder utenfor driftstid- Simien beregning

Simien beregningen viser at ved å endre luftmengder utenfor driftstid til $0,7 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$ (TEK17) vil gi økt energiforbruk på 1 kWhm^{-2} mens endring til $2 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$ (NS 3031) vil øke energiforbruket med $5,14 \text{ kWhm}^{-2}$.

Tabell 40 viser Simien beregning for endring av luftmengder utenfor driftstid

Energipost	Målt [kWhm ⁻²]	TEK 17 [kWhm ⁻²]	NS 3031 [kWhm ⁻²]
Ventilasjonsvarmetap	6	8,3	13,7
Vifteenergi	11,8	12,4	13,14
Romoppvarming	112	109,8	107,4
Ventilasjonskjøling	5,4	5,7	6,1
Totalt	135,2	136,2	140,34
Total endring fra 0 m³/h		+ 1	+ 5,14

Dersom man tar hensyn til semesterslutt og semesterstart så har NMBU studenter rundt 2 måneder ferie hvert år. Dette vil gjøre at tiden utenfor driftstid øker med 840 timer per år, se tabell 41. Derfor vil energitapet som følger av økte luftmengder utenfor driftstid være høyere enn det som vises i tabell 41.

Tabell 41 viser forskjell på driftstid for Simien realistisk driftstid

Forlenget tid utenfor driftstid	Forlenget ferie	
12-14 timer	0-8 uker	
44 uker*5 dager*2 timer	8 uker*5 dager*10 timer	
440 timer	400 timer	840 timer

6 Diskusjon og konklusjon

6.1 Vurdering av byggets inneklima

6.1.1 Vurdering av CO₂ konsentrasjon

Tabell 13 viser at konsentrasjonen holder seg under FHI sitt krav for alle tellinger. Byggets ventilasjonsanlegg er satt til å holde konsentrasjonen under 800 ppm. Totalt er det 14 målinger over 800 ppm. Felles for alle disse målingene er at det er 35, 48 eller 50 personer i rommet. 6 av de 9 høyeste CO₂ målingen var med 35 personer i rommet. Totalt var det 3 målinger som ble målt til over 900 ppm.

Det var totalt 29 målinger som ble målt under 700 ppm. 25 av 29 målinger ble gjort med 13 eller 18 personer i rommet. Gjennomsnittlig CO₂ for 13 og 18 personer var betydelig lavere enn for 35-50

personer, se tabell 20. Resultatet fra målinger viser altså at det er noe sammenheng mellom CO₂ konsentrasjon og tilstedeværelse av mennesker, men sammenhengen blir mindre synlig når det er mindre enn 10 personer i rommet. Ved 10 personer er det nesten ingen sammenheng mellom antall personer og CO₂ konsentrasjon.

6.1.2 Vurdering av temperatur

Gjennomsnittstemperaturen øker med økende antall personer se tabell. Det var totalt 8 målinger over 22 °C. Alle disse målingene var med 48 eller 50 personer til stede. De 13 høyeste målingene ble målt med 48 eller 50 personer til stede. Det var totalt 27 målinger under 21 °C. 17 av disse målingen ble gjort med 13 eller 18 personer til stede. Det vil si at 63% av målingene under 21 °C ble gjort med mindre enn 18 personer til stede.

Den optimale operative temperaturen er 22 °C. Ved 50 personer i rommet er gjennomsnittstemperaturen 21,98 °C. Det kaldeste som ble målt var 19,48 °C. Det er 2,5 °C under optimal operativ temperatur. Dette kan ha noe effekt på den kognitive evnen (Kim et al., 2020). Selv om 19,48 grader kan føre til redusert komfort, kan det være at den kognitive evnen ikke reduseres (Hong et al., 2018)

6.2 Vurdering av byggets energibruk

Energimålingene fra kapittel 5.4 viser energibruken til både ventilasjonsvarme og energibruk til vifter er høyere enn Statskraft sin beregning av forventet energi. Sverre B. Holøs (2020) undersøkte typiske feil på ventilasjonsanlegg. Han fant ut at feil vanligvis oppstår ved montering. Ubalanse i ventilasjonsanlegg og feil plassering er eksempler på feil som kan oppstå som følge av dette. Ifølge Sintef kan slike feil gjøre at tilluftsluftmengden kan ha feilmargen på +/- 30 %.

Avvik mellom forventet og målt energibruk har økt betydelig etter 1980 (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2013). Årsaken til dette er at byggeforskriftene har blitt strengere. En annen årsak kan være at det sjeldent utføres fysiske målinger av den faktiske energibruken. Riksrevisjonen (2015) kritisert myndighetene for at energibruken i bygg sjeldent følges opp med målinger. Ifølge NVE kan avviket mellom prosjektert og målt energibruk for bygg som er bygget mellom 2001-2012 (energiramme 150 kWhm⁻²) være på opp til 44 % (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2013).

Med andre ord vil det si at avviket i ventilasjonsvarme og vifteenergi som er funnet i dette prosjektet ikke er noe unormalt sammenlignet med resten av bransjen. Avviket mellom forventet og målt energibruk for ventilasjonen i Urbygningen er på 28,3%. Det er 47% avvik mellom prosjektert og målt energibruk for ventilasjonsvarme. Mens for vifteenergien er avviket kun på 14%.

Studiene av luftmengder viser at ved å endre luftmengder i gruppe og undervisningsrom til minstekrav i TEK17 så kan vifteenergien reduseres med $0,82 \text{ kWhm}^{-2}\text{år}^{-1}$. Ventilasjonsvarmen kan reduseres med $1,72 \text{ kWhm}^{-2}\text{år}^{-1}$.

Tabell 42: Viser potensiale for å redusere energibruk for vifter og ventilasjonsvarme

Luftmengde	Vifteenergi [kWhm ⁻² år ⁻¹]	Ventilasjonsvarme [kWhm ⁻² år ⁻¹]
Målt energibruk	10,14	10,14
Redusert energibruk	8,37	9,3

Ved å redusere luftmengdene til minstekravet i TEK17 kan avviket for ventilasjonsvarme reduseres fra 47% til 21% og avviket for vifteenergi kan reduseres til 4,4 %. Dette vil redusere det totale avviket for vifteenergi og ventilasjonsvarme fra 28-12%.

Målinger viste at det ikke ventileres utenfor driftstid. Sverre B. Holøs (2018) fant ut at det å endre luftmengder utenfor driftstid fra $0\text{-}1 \text{ ls}^{-1}\text{m}^{-2}$ ga signifikant forbedring for både kognitiv evne og andel misfornøyde. Økning til $1 \text{ ls}^{-1}\text{m}^{-2}$ reduserte andel misfornøyde fra 75-30 %.

Totalt er det potensiale for å redusere energibruken til vifter og ventilasjonsvarme med 18581 kWh per år ved å redusere luftmengder til minste nivå i TEK. For å oppnå denne energibesparelsen må luftmengden reduseres med $8 \text{ ls}^{-1}\text{person}^{-1}$. Den totale luftmengden per person for de målte luftmengdene er $20,43 \text{ ls}^{-1}\text{person}^{-1}$. Det vil si at for å oppnå energibesparelse på 18581 kWh må luftmengden reduseres med 40%.

For Scenario 2 økes luftmengden med $3,57 \text{ ls}^{-1}\text{person}^{-1}$. Dette vil øke energibruken med 6008 kWh. For scenario 3 må luftmengden økes med $9,57 \text{ ls}^{-1}\text{person}^{-1}$. Dette vil gi årlig økt energibruk på 19297 kWh. Begge disse scenarioene vil gi noe forbedret inneklima. I tillegg kan økning av luftmengde fra $20\text{-}30 \text{ ls}^{-1}\text{person}^{-1}$ gi 1,5% bedret kognitiv evne (Ito & Murakami, 2010).

6.4 Ulemper ved å redusere energibruk

Det er usikkerhet knytte til hvor mye inneklima påvirker kognitive evner. Ifølge Allen et al. (2016); Ito og Murakami (2010); Wargocki (2000) kan dobling av luftmengde øke den kognitive evnen med mellom 1,5-18 %. Ifølge artikler på nettet kan prislappen på at en student stryker i et fag ligge på mellom 24-100 000 kr. Fordi inneklima påvirker den kognitive evnen til studenter kan anbefales å ha økte luftmengder i eksamenslokaler for å potensielt kunne redusere strykeprosent.

Reduksjon av luftmengde kan økt sykefravær og økt forekomst av helseplager (Milton, 2000; Sundell et al., 2011). Det at studenter kan bli syke og opplever redusert komfort kan redusere studentens sannsynlighet for å bestå fag. For å redusere sjansen for sykdom kan det anbefales høyere luftmengder i de rommene der studentene oppholder seg over lengre tid, som lesesaler, grupperom og lab.

Reduserte luftmengder vil påvirke luftsirkulasjon. Lite luftbevegelse kan redusere komfort (Dong et al., 2019). Mindre ventilasjon kan også øke forekomst av partikkelforurensning og VOC. Qabbal et al. (2022) gjorde diverse inneklimatemålinger i et bygg og fant ut at selv om ventilasjonen ikke tilførte nok luft var konsentrasjonen av VOCer og partikkelforurensning lav.

6.5 Forbedring av ventilasjon

Utrekninger viste at det er et teoretisk potensial for å spare energi. Mellom 13-40 personer er ventileres det gjennomsnittlig $498 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ mer enn minstekravet i TEK17. Det vil si at det er mye energi å spare på å regulere bedre i dette området. Fordi det ser ut til å være lite sammenheng mellom antall personer i rommet og ppm kan det være vanskelig å få til god regulering med hensyn på antall personer med CO_2 som styringsparameter.

Forskning viser at smart teknologi kan bidra til å forbedre behovsstyring Gjennom et IoT system med tilbakemelding fra brukere kan ventilasjonen bedre tilpasses behovet. (Cheng & Lee, 2014; Choi & Loftness, 2012).

På grunn av mangel på kunnskap, samarbeid og innovasjon kan det være utfordrende å få etablert et velfungerende system som baserer seg på IoT (Byggenæringens Landsforening, 2020; SINTEF Community, 2020; Statistisk sentralbyrå, 2021). SINTEF Fag (2022) har identifisert aksept blant brukere av bygg som den kritiske barrieren for smart ventilasjon.

6.6 Barrierer for prosjektet

Tellingene

Det er mye usikkerhet knyttet til tellingene som ble utført. Planen med tellingene var i utgangspunktet og få forelesere til å telle over flere uker. Men fordi det var vanskelig å få kontakt med forelesere måtte tellingene begrenses til en uke.

Det er spesielt mye usikkerhet knyttet til det å telle antall personer i de timene det ikke var forelesning. Her ble det bare tatt en antagelse basert på inneklimamålinger. Ettersom det er flest timer i løpet av uken der det ikke er undervisning/få mennesker i rommet. Vil disse timene ha mye innvirkning på energiberegninger. Det var ganske mange timer booket undervisning som ikke ble benyttet. Dermed kan det være at dette prosjektet kan være lite representativt for en normal uke

Målinger

For å få et mere representativt datagrunnlag burde det ha blitt utført flere målinger og tellingene. Det burde ha blitt gjort i flere rom og flere tidspunkter for å få et mere realistisk bilde for ventilasjon og antall personer i rom

Konklusjon og hovedfunn

Energimålingene til bygget viste at den målte energibruken var 28% høyere enn hva som var forventet energibruk for bygget. Luftmengde målinger viste at det er mulig å redusere energibruken med 18581 kWh per år. Dette vil gjøre at avviket fra forventet energibruk reduseres til 12%.

For å redusere energibruken må behovsstyringen regulere luftmengden bedre med hensyn på antall personer. Smart teknologi kan forbedre behovsstyring, men det er flere barrierer som forhindrer utviklingen av smart ventilasjon. Hovedbarrieren for utviklingen er å få involvert brukere i behovsstyringen. Mangel på kunnskap, innovasjon og samarbeid er også en utfordring for smart ventilasjon.

For å oppnå denne energibesparelsen må luftmengden reduseres med 40%. Dette vil påvirke studentenes helse og kognitive evne. Som et resultat av dette kan strykprosent i fag økes. Det anbefales å beholde høyere luftmengder i de rommene om studenter tilbringer mest tid for å ivareta studentens helse.

Referanser

- Allen, J. G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J. & Spengler, J. D. (2016). Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments. *Environmental Health Perspectives*, 124 (6): 805-812. doi: doi:10.1289/ehp.1510037.
- Arbeidsilsynet. *Inneklime og luftkvalitet på arbeidsplassen*. Tilgjengelig fra: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/inneklime/>.
- Byggenæringens Landsforening. (2020). *Digitalt veikart 2.0*.
- Center for Sustainable Energy Studies. (2017). *Virker de? Virkemidler for energieffektivisering med vekt på bygninger*.
- Cheng, C. C. & Lee, D. (2014). Smart sensors enable smart air conditioning control. *Sensors (Basel)*, 14 (6): 11179-203. doi: 10.3390/s140611179.
- Choi, J.-H. & Loftness, V. (2012). Investigation of human body skin temperatures as a bio-signal to indicate overall thermal sensations. *Building and Environment*, 58: 258-269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.003>.
- CONSTRUCTION, M. H. (2013). *World Green Building Trends*.
- Dai, C., Zhang, H., Arens, E. & Lian, Z. (2017). Machine learning approaches to predict thermal demands using skin temperatures: Steady-state conditions. *Building and Environment*, 114: 1-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.005>.
- Direktoratet for byggekvalitet. (2017). *Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*.
- Direktoratet for byggekvalitet, N. (2022). *Underlag for langsiktig strategi for energieffektivisering ved renovering av bygg*.
- Dong, B., Prakash, V., Feng, F. & O'Neill, Z. (2019). A review of smart building sensing system for better indoor environment control. *Energy and Buildings*, 199: 29-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.025>.
- Folkehelseinstituttet. (2013). *Karbondioksid (CO₂) og inneklime*.
- Grønn Byggallianse. *Klimakur for bygg og eiendom*.
- Hong, T., Kim, J. & Lee, M. (2018). Integrated task performance score for the building occupants based on the CO₂ concentration and indoor climate factors changes. *Applied Energy*, 228: 1707-1713. doi: 10.1016/j.apenergy.2018.07.063.
- Ingebrigtsen, S. (2018a). *Ventilasjonsteknikk del 1*.
- Ingebrigtsen, S. (2018b). *Ventilasjonsteknikk del 2*.
- Ito, K. & Murakami, S. (2010). Cost-effectiveness Analysis of Improved Indoor Temperature and Ventilation Conditions in School Buildings. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 9 (2): 523-529. doi: 10.3130/jaabe.9.523.
- Kim, H., Hong, T., Kim, J. & Yeom, S. (2020). A psychophysiological effect of indoor thermal condition on college students' learning performance through EEG measurement. *Building and Environment*, 184. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107223.
- Milton, D. K. (2000). Risk of Sick Leave Associated with Outdoor Air Supply Rate, Humidification, and Occupant Complaints. *Indoor Air*, 10 (4): 212-221. doi: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2000.010004212.x>.
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2013). *Energibruk i kontorbygg, trender og drivere*. I: COWI, T. c. (red.).
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2016). *Analyse av energibruk i yrkesbygg*.
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2020). *Synliggjøring av energieffektivisering*.
- Olje- og energidepartementet, K. o. m., Kommunal- og distriktsdepartementet, Nærings og fiskeridepartementet,. (2022). *Styrker innsatsen for økt energieffektivisering*. Statsbudsjettet 2023.

- Qabbal, L., Younsi, Z. & Naji, H. (2022). Indoor air quality investigation in a ventilated demonstrator building via a smart sensor. *International Journal of Ventilation*, 21 (2): 89-104. doi: 10.1080/14733315.2020.1786974.
- Riksrevisjonen. (2015). *Riksrevisjonens undersøkelse av myndighetenes arbeid med energieffektivitet i bygg*.
- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S. & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environ Health Perspect*, 120 (12): 1671-7. doi: 10.1289/ehp.1104789.
- Seppänen, O. A. & Fisk, W. (2006). Some Quantitative Relations between Indoor Environmental Quality and Work Performance or Health. *HVAC&R Research*, 12 (4): 957-973. doi: 10.1080/10789669.2006.10391446.
- SINTEF Byggforsk. (2009). Standarder for bygg og anlegg. Oversikt og begreper.
- SINTEF Byggforsk. (2016). *Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Prinsipper*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/535/behovsstyrt_ventilasjon_dcv_prinsipper.
- SINTEF Community. (2020). *Framsikt 2050*.
- SINTEF Fag. (2022). *Digitalisering av bygninger i drift*.
- Standard Norge. (2014). *Norsk Standard NS 3031:2014 Beregning av bygningers energiytelse Metode data*.
- Statistisk sentralbyrå. (2021). *Innovasjon i næringslivet*.
- Sundell, J., Levin, H., Nazaroff, W. W., Cain, W. S., Fisk, W. J., Grimsrud, D. T., Gyntelberg, F., Li, Y., Persily, A. K., Pickering, A. C., et al. (2011). Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature. *Indoor Air*, 21 (3): 191-204. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00703.x>.
- Sverre B. Holøs, K. T. (2020). Impact of Typical Faults Occurring in Demand-controlled Ventilation on Energy and Indoor Environment in a Nordic Climate
- Sverre B. Holøs, M. M., Kari Thunshelle. (2018). *What should the minimum ventilation rate be in a Demand-Controlled-Ventilation strategy?*
- Wargocki, P. (2000). The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity. *Indoor Air*, 10 (4): 222-236. doi: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2000.010004222.x>.
- Wolkoff, P., Azuma, K. & Carrer, P. (2021). Health, work performance, and risk of infection in office-like environments: The role of indoor temperature, air humidity, and ventilation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233. doi: 10.1016/j.ijheh.2021.113709.
- World Health Organization. (2012). *Burden of disease from Household Air Pollution for 2012*.

Vedlegg

Vedlegg 1

Rom	Areal	Dimensjonert for	Booket mellom kl 8-18	Timer ikke booket
	[m²]	[personer]	[timer]	[timer]
U120	84,4	82	19	31
U121	91,3	46	36	14
U122	106,6	42	21	29
U215	159,4	168	30	20
U224	92	96	30	20
U225	94,6	46	37	13
U227	83	36	28	22
U302	104,6	60	23	27
U303	66,7	30	26	24
U305	68,9	32	30	20
U306	50,4	18	12	38
U325	122,7	35	24	26
U327	93,8	23	8	42
U328	110,5	60	33	17
Gjennomsnitt			25,64 timer	24,36 timer

Vedlegg 2

Scenario 2

Telling	Antall personer	Justert tidsperiode [timer]	Scenario luftmengde 86,4 [m ³ h ⁻¹ person]	Målt luftmengde [m ³ h ⁻¹ person]
1	13	3,48	1123	1159
2	18	1,74	1555	1418
3	35	1,74	3024	1591
4	40	2,61	3456	1653
5	48	1,74	4147	1570
6	50	1,74	4320	1653
7	7	37	605	873
Gjennomsnitt			1160 m ³ /h	1030 m ³ /h

Scenario 3

Telling	Antall personer	Justert tidsperiode [timer]	Scenario luftmengde 108 [m ³ h ⁻¹ person]	Målt luftmengde [m ³ h ⁻¹ person]
1	13	3,48	1404	1159
2	18	1,74	1944	1418
3	35	1,74	3780	1591
4	40	2,61	4320	1653
5	48	1,74	5184	1570
6	50	1,74	5400	1653
7	7	37	756	873
Gjennomsnitt			1450 m ³ /h	1030 m ³ /h

Vedlegg 3

Sone	Økt ventilering [m ³ h ⁻¹ m ⁻²]	Undervisningsrom [m ²]	SFP [kWm ⁻³ s ⁻¹]	Effekttap [kW]	
Nord	1,18	550,7	1,16	0,11	
Sør	1,18	296,4	1,53	0,33	
Datarom nord	1,18	122,7	0,91	0,04	
Datarom sør	1,18	93,8	0,91	0,03	
Auditorium festsalen	1,18	159,4	0,91	0,05	Totalt 0,56 kW

Sone	Økt ventilering [m ³ h ⁻¹ m ⁻²]	Grupperom [m ²]	SFP [kWm ⁻³ s ⁻¹]	Effekttap [kW]
Nord	1,18	295,5	1,16	0,11
Sør	1,18	239,4	1,53	0,12
Sone kjeller	1,18	136,8	2	0,09
Totalt: 0,32 kW				

Vedlegg 4

Sone	Økt ventilering [m ³ h ⁻¹ m ⁻²]	Undervisningsrom [m ²]	SFP [kWm ⁻³ s ⁻¹]	Effekttap [kW]
Nord	3,8	550,7	1,16	0,36
Sør	3,8	296,4	1,53	1,06
Datarom nord	3,8	122,7	0,91	0,12
Datarom sør	3,8	93,8	0,91	0,09
Auditorium festsalen	3,8	159,4	0,91	0,15
Totalt: 1,78 kW				

Sone	Økt luftmengde [m ³ h ⁻¹ m ⁻²]	Grupperom [m ²]	SFP [kWm ⁻³ s ⁻¹]	Effekttap [kW]
Nord	3,8	295,5	1,16	0,36
Sør	3,8	239,4	1,53	0,38
Sone kjeller	3,8	136,8	2	0,29
Totalt: 1,03 kW				



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway