



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Effekten av redusert ventilasjon på innemiljø og energiforbruk ved å benytte ubehandlet trevirke som byggematerialer innendørs i en matbutikk

The Effect of Reduced Ventilation of Indoor Environment and Energy Consumption by Using Untreated Wood as Building Materials Indoors in a Grocery Store

Svein-Anders Lundstadsveen
Byggeteknikk og arkitektur

Forord

Dette er en masteroppgave ved Institutt for matematiske realfag og teknologi på studiet Byggteknikk og arkitektur ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven på 30 studiepoeng markerer slutten på min ingeniørutdanning.

Denne oppgaven ble initiert av Treteknisk, og er en del av et større prosjekt som skal utarbeides av Treteknisk etter denne masteroppgaven er levert. Prosjektet omhandler fuktbufring i trevirke på nye Kiwi Fjeldset på Elverum som har satt fokus på miljøvennlige og energieffektive løsninger. Dette har vært et spennende halvår med utfordringer tilpasset min kompetanse innen treteknologi.

En stor takk rettes til mine veiledere Professor Tormod Aurlien (NMBU) og Seniorforsker Kristine Nore (Treteknisk) for gode diskusjoner og tilbakemeldinger gjennom dette halvåret. Jeg vil også takke Jostein Markussen ved IWMAC for god hjelp under oppsett av måleutstyr i butikken.

Tilslutt vil jeg takke min søster Hedda og min mor Ann Kristin for korrekturlesing, Morten Marcus for veiledning i Excel og min samboer Bente Husby for hjelp med statistikkprogrammet R, diskusjoner og oppmuntring gjennom de siste studieårene på Ås.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 13. juli 2016

Svein-Anders Lundstadsveen

Sammendrag

NorgesGruppen Eiendom startet i 2015 et pilotprosjekt på Kiwi Fjeldset der de satte fokus på miljøvennlige og energieffektive løsninger. Kiwi-butikken på Fjeldset i Elverum ble totalrenovert, revet og nybygd, og sto klar for åpning 25. februar 2016. De har valgt et trekonsept i samråd med Treteknisk. Trekonseptet går ut på å benytte mest mulig treverk i bygget. Butikken er bygget etter NS 3701:2012, Norsk passiv husstandard for yrkesbygninger, og følger energinivået til lavenergibygninger. Trevirke er et hygroskopisk materiale som kan bufre fuktighet og derigjennom utveksle energi med omgivelsene. Hovedmålet for denne oppgaven er å identifisere eventuelle effekter på innemiljø og energiforbruk ved å benytte ubehandlet trevirke som byggematerialer innendørs.

Målinger ble logget i butikken fra 4. mai til 18. juni med to ulike ventilasjonsstrategier med høy og lav tilluftsmengde. De viktigste parameterne som ble målt var CO₂, temperatur, relativ fuktighet, tilluftsmengde, vektendring av treklosser og overflatetemperatur på treklosser. Dataene ble deretter sortert og sammenlignet med hverandre for å gi svar på problemstillingen.

Parameterne CO₂, relativ fuktighet og tilluftsmengde viser at selv om ventilasjonen reduseres på dagtid i sommerhalvåret, vil inneklimate likevel være i samsvar med kravene og anbefalingene fra TEK10, Arbeidstilsynet og NS 3701:2012. Målingene påviste en temperaturdifferanse på 0,25°C mellom treoverflaten og romluften når trevirket enten ble fuktet eller tørket over 0,02% per 10. minutt. Det antas at denne temperaturdifferansen vil gi kjøling og oppvarming av romluften. Med redusert ventilasjon følger også energi- og fuktighetseffekter som teoretisk beregnet sier at man kan spare 55% energi til nedkjøling av tilluften for å oppnå tilfredsstillende temperatur i butikken.

Abstract

NogesGruppen Eiendom did, thru one of its chain of convenient stores, Kiwi, a pilot project that started in 2015. The store that was used in this project was Kiwi Fjeldset situated in Elverum, Norway. Here they focused on environmental friendly and energy efficient solutions. This Kiwi shop (Kiwi Fjeldset) was completely renovated, demolished and newly rebuilt for a new opening on February 25th 2016. In cooperation with NTI (Norwegian Institute of Wood Technology), they decided to use as much wood as possible in the construction of the store. The store was built in accordance with DIN 3701: 2012, Norwegian passive house standard for professional buildings, using criteria for passive and low-energy buildings (non-residential buildings requires professional buildings that can be defined as passive and low-energy buildings in Norwegian climate). Wood is a hygroscopic material that can buffer the moisture and thereby exchange energy with the environment. The main objective of this project was to identify any effect on indoor environment and energy consumption by using untreated wood as building materials indoors with reduced ventilation.

Measurements were logged in the store from May the 4th to June the 18th with two different ventilation strategies, high and low inflow. The most important parameters that were measured were CO₂, temperature, relative humidity, the amount of inflow air, weight change of wooden blocks and surface temperature of wooden blocks. The data was then sorted and compared with each other to provide answers to the problem.

The parameters of CO₂, relative humidity and inflow of air, shows that even if the ventilation was reduced during the day in the summer, the climate would still be in compliance with the requirements and the recommendations of the TEK10, Arbeidstilsynet (Control and Guidance on working) and the NS (Norwegian Standard) 3701:2012. If one assumes that the tree surface will provide cooling and heating of the environment, provided that the surface temperature on the wood differs from environmental temperature, you will see an alteration in temperature difference whether the tree appears highly moistened or dry over 0.02% per 10. minute at 0.25 °C. With reduced ventilation also follows energy and moister effects as theoretical calculated predict a saving of 55% energy for cooling of the air inflow to achieve satisfactory temperature in the store.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Kunnskapsstatus	2
1.3 Avgrensninger	2
1.4 Problemstilling.....	3
2 Teori.....	5
2.1 Fukt.....	5
2.1.1 Luftfuktighet.....	5
2.1.2 Fukt i materialer	6
2.2 Hygrotermisk masse	7
2.3 Varme	7
2.3.1 Varmeledning	8
2.3.2 Konveksjon.....	8
2.3.3 Stråling	8
2.3.4 Faseendring/sorpsjonsvarme/latent varme	8
2.3.5 Temperaturendring	9
2.4 Inneklima	9
2.4.1 Betydning for helse	9
2.4.2 Termisk miljø	9
2.4.3 Atmosfærisk miljø, luftkvalitet	10
2.5 Tre.....	13
2.5.1 Oppbygning	13
2.5.2 Fuktinnhold	14
2.5.3 Emisjoner fra treverk.....	15
2.6 Ventilasjon.....	16
2.6.1 Balansert mekanisk ventilasjon	16
2.6.2 Styling	17
3 Materiale og metode	19
3.1 Studieområde	19
3.2 Beskrivelse av bygget.....	19
3.2.1 Teknisk	19
3.2.2 Miljøhensyn.....	20
3.3 Datainnsamling.....	21

3.3.1	Beskrivelse av måleutstyr.....	21
3.3.2	Validitet og målenøyaktighet	23
3.3.3	Beskrivelse av måleoppsettet	24
3.4	Beskrivelse av beregninger og analyser	25
3.4.1	Inneklima ved redusert ventilasjon	25
3.4.2	Fuktbufringens temperaturpåvirkning.....	26
3.4.3	Energibesparelse ved redusert ventilasjon	28
3.5	Statistiske analyser	30
4	Resultater	31
4.1	Inneklima med redusert ventilasjon.....	31
4.1.1	CO ₂ -nivået.....	31
4.1.2	Temperatur	33
4.1.3	Relativ fuktighet.....	34
4.1.4	Tilluftsmengde	36
4.2	Fuktbufringens temperaturpåvirkning	36
4.3	Energibesparelse ved redusert ventilasjon.....	40
5	Diskusjon	43
5.1	Inneklima ved redusert ventilasjon.....	43
5.1.1	CO ₂	43
5.1.2	Temperatur	45
5.1.3	Relativ fuktighet.....	46
5.1.4	Tilluftsmengde	47
5.2	Fuktbufringens temperaturendring	48
5.2.1	Veiecellenes masseendring	48
5.2.2	Temperaturdifferansens reaksjon på veiecellens masseendring.....	50
5.2.3	Sammenligning mellom teoretisk kjøleenergi og tilluftens kjølebehov.....	50
5.3	Energibesparelse ved redusert ventilasjon.....	51
5.4	Undersøkellesmetode	52
6	Konklusjon.....	55
7	Litteratur	56
8	Vedlegg.....	59

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

NorgesGruppen Eiendom med Kiwi i spissen startet i 2015 et pilotprosjekt på Kiwi Fjeldset. Et fokus på miljøvennlige og energieffektive løsninger ble valgt, som en videreføring fra miljøprosjektet de hadde på Kiwi Auli. Kiwi-butikken på Fjeldset i Elverum ble totalrenovert, revet og nybygd, og sto klar for åpning 25. februar 2016.

Regjeringen ønsker å redusere klimagassutslippet for å nå togradersmålet (Miljøverndepartementet 2012). Det betyr at temperaturen ikke skal stige mer enn 2 grader celsius fra år 1850 til år 2100. I 2007 ble byggeforskriftene skjerpet for å nå dette målet, og samtidig ble forsyningskravene strammet inn for bygg over 500 m². Energibruk og oppvarming i byggesektoren og fjernvarmeanlegg utgjorde i 2010 5% av det totale utslippet av klimagasser (Miljøverndepartementet 2012) og byggsektoren står for 40% av den totale energibruken i Norge (Teknologi 2013). Et av tiltakene Norge har satt i gang nå er å utnytte skogressursene, fordi skogene tar opp mye karbon og lagrer dette i trærne. Ved å benytte trevirke som byggematerialer bruker man dermed et klimanøytralt byggemateriale.

Butikken er bygget etter NS 3701:2012, Norsk passivhusstandard for yrkesbygninger, og følger energinivået til lavenergibygninger. Det stilles krav til totalt varmetap, oppvarmingsbehov, kjølebehov, energibehov til belysning og energiforsyning. Det er også et minstekrav til enkelte bygningskomponenter, lekkasjetall, prøvingsprosedyrer, målemetoder og rapportering av energiytelsen ved ferdigstilling for yrkesbygninger. Disse kravene aktualiserer spørsmål til om det er nødvendig å bruke en ventilasjonsløsning som reduserer ventilasjonsmengden når rom ikke utnyttes fullt ut.

I forbindelse med miljøsatsingen til Kiwi hos NorgesGruppen har de valgt et trekonsept i samråd med Treteknisk. Trekonseptet går ut på å benytte mest mulig treverk i bygget. Dette fordi det vil ha mange positive effekter på energi og miljø, som fører til et bedre klimaregnskap. Fordeler med å benytte trevirke i bygningsmassen kan være, i tillegg til at det er fordelaktig for klima, å gi et bedre arbeidsmiljø, bedre inn klima og visuelt vil det kunne gi trivsel og velvære (Nyrud & Bringslimark 2012). Det er også forskning som viser at energiforbruket blir redusert ved bruk av trevirke (Kraniotis et al. 2015; Osanyintola & Simonson 2006; Rode & Grau 2008; Woloszyn et al. 2009). Tidligere forskning viser at menneskers komfort, helse og produktivitet blir påvirket av inn klimaet (Nilsson 2003). Da

man i gjennomsnitt oppholder seg rundt 90% av tiden innendørs, trengs et godt inneklima (Folkehelseinstituttet 2015). I etterkant av energikrisen på 1970-tallet, hvor energibesparelse hadde større fokus, er nå bygningsfasader blitt bedre isolert og tett for å hindre varmetap og for reduisering av energibehov til oppvarming. Akkurat nå er det økt interesse for å finne ut om man kan redusere luftmengdene, og likevel få et godt inneklima.

1.2 Kunnskapsstatus

Tidligere er det gjort mange undersøkelser på fuktbufring, men det er ikke før i senere tid at energibesparelsen som følge av fuktbufring er forsket på. Både Christensen (1965), Chomcharn og Skaar (1983) og Time (1998) har alle funnet at fuktbufring påvirker inneluftas relative fuktighet. Nore et al. (2014) har funnet at med en økning i relativ fuktighet fra 20% til 90% øker overflatetemperaturen med 2,4°C, mens en referanseprøve med damptett overflate viser en økning på 1,1°C.

Det er også sett på potensialet for energibesparelse ved å benytte hygroskopiske materialer. Osanyintola og Simonson (2006) fant at det er et energibesparelspotensiale på 5% for oppvarming og 5-20% for nedkjøling. De understreker at dette krever et godt styrt ventilasjonssystem, og at det i hovedsak er en numerisk studie. Andre studier som også fant at det var et potensial for energibesparelse ved å benytte hygroskopiske materialer var Rode og Grau (2008) og Woloszyn et al. (2009). De viste at man stabiliserte relativ fuktighet i inneluften, med hygroskopiske overflater. De fant også at man ved redusert ventilasjon kan få en energibesparelse.

På grunn av en usikkerhet for hvordan virkelig effekt og energibehov for hele bygg skal beregnes, fører dette ofte til en overdimensjonering som gir ekstrakostnader i millionklassen (Alsén 2016). Alsén (2016) mener at effektbehovet til ventilasjonsanlegget regnes for høyt, mens energibruken blir regnet for lav. Her skal en framtidrettet TEK gi føringer for å finne de riktige forutsetningene.

1.3 Avgrensninger

Denne masteroppgaven har flere avgrensninger. Oppgaven inkluderer kun funn fra Kiwi Fjeldset på Elverum hvor alle målingene er foretatt. Det er kun kundeområdet i bygget som blir undersøkt. Målingene er gjennomført våren/sommeren 2016 i en tidsperiode på 7 til 16

uker. Oppgaven består av en teoridel og en forsøksdel hvor teorien danner grunnlaget og forståelsen av forsøket.

1.4 Problemstilling

Denne oppgaven skal gjennom ulike målinger ved Kiwi Elverum forsøke å identifisere eventuelle effekter på innemiljø og energiforbruk ved å benytte ubehandlet trevirke som byggematerialer innendørs.

Oppgaven består dermed av følgende tre delspørsmål:

1. Viser målinger at ventilasjon i aktuelt bygg kan reduseres uten at dette kommer i konflikt med krav som stilles til innemiljøet?
2. Viser målinger at trevirket avgir eller opptar fuktighet som fører til temperaturendring og energibesparelser i rom eller på overflate?
3. Viser målinger et energipotensiale ved redusert ventilasjon?

2 Teori

Grunnlaget for teorikapittelet er basert på følgende litteratur; Trehus (Edwardsen et al. 2010), Fukt i bygninger (Geving & Thue 2002) og Anbefalte faglige normer for inneklime (Folkehelseinstituttet 2015). Det er henvist til annen litteratur i teksten.

2.1 Fukt

2.1.1 Luftfuktighet

Vann opptrer i form av vannmolekyler i luften der mengden bestemmes ut ifra temperatur og tilførsel. Man kan angi vannmengden som vanndamptrykk, vanndampkonsentrasjon eller som vanndampmasse:

- Vanndamptrykket angis i pascal og er partialtrykket til vannet i luften.
- Vanndampkonsentrasjon er hvor mange gram vann luften inneholder per kubikkmeter.
- Vanndampmasse er vannets masse i forhold til massen til tørr luft.

All luft har et metningsinnhold som er den øvre grensen til hvor stort fuktinnholdet i luften kan være ved en gitt temperatur. Tilsvarende har luften et metningstrykk ved denne øvre grensen av fuktinnholdet. Ved økende temperatur vil metningsinnholdet og metningstrykket øke og luften kan dermed inneholde mer fuktighet. Det er sjelden at vanndampkonsentrasjonen blir lik metningsinnholdet ved en gitt temperatur. Derfor benyttes ofte relativ fuktighet som er vanndampkonsentrasjonen i forhold metningsinnholdet ved samme temperatur. Relativ fuktighet oppgis i prosent og blir den samme om man benytter vanndamptrykk og metningstrykk. Det er utarbeidet et diagram, Molliers diagram, som blant annet viser hvordan metningsinnholdet varierer med temperaturen. (Geving & Thue 2002). Den viser også sammenhengen mellom temperatur, relativ fuktighet, vanndampinnhold og damptrykk.

Hvis fuktig luft avkjøles vil den relative fuktigheten øke og vanndampkonsentrasjonen vil begynne å nærme seg metningsinnholdet. Forsetter man å avkjøle luften vil disse to bli tilnærmet like store, og den relative fuktigheten går dermed mot 100%. Da vil det ikke være plass til mer vann i luften som vanndamp, og deler av vanndampen går fra gass til væske. Dette kalles duggpunktet.

Relativ fuktighet er en faktor som ofte benyttes for å beskrive fuktighetsnivået i luften til bygninger. Dette blir betraktet som en enkel måte å måle fuktigheten på, og materialers opptak av fuktighet avhenger av den relative fuktigheten mer enn vanndampkonsentrasjonen.

2.1.2 Fukt i materialer

Alle materialer som er i kontakt med vann, unntatt materialer med helt tett porestruktur (porestørrelse $<0,3\text{nm}$), vil kunne ta opp og avgi vann med omgivelsene. Dette kalles sorpsjon og kan deles inn i adsorpsjon, absorpsjon og desorpsjon. Adsorpsjon er prosessen når vannmolekylene danner en film rundt overflaten til et annet materiale, mens absorpsjon innebærer at vannet diffunderer inn i det andre materialet. Ofte vil absorpsjon være en kjemisk prosess, men det er ikke adsorpsjon. Desorpsjon er når materialet gir ifra seg fuktighet til omgivelsene. Størrelsen på porene avgjør hvor mye vann som kan tas opp i materialet og hvor sterk binding vannet får i materialet. Det finnes to typer bindinger; kjemisk binding og fysikalsk binding. I kjemiske bindinger vil vannmolekylet forandre struktur når det reagerer med materialet, og det dannes dermed et nytt stoff. Dette er sterke bindinger. Det finnes tre typer av fysikalske bindinger; osmotisk binding, adsorptiv binding og kapillærkondensasjon. Disse bindingene er svakere enn de kjemiske bindingene, fordi:

- I osmotiske bindinger er det lavere vanndamptrykk i materialet på grunn av at materialet eller vannet inneholder salter.
- Adsorptiv binding er tiltrekningskraften mellom materialets overflate og vannet, dette kalles adhesjonskrefter. Vannmolekylene har en sterkere binding jo nærmere inn mot poreveggen de befinner seg. De bindes sterkere til poreveggen enn andre molekyler på grunn av at de har en dipol struktur.
- Ved økende relativ luftfuktighet bindes flere molekyler på poreveggene. Når dette laget blir tykt nok vil avstanden til nabolaget av vannmolekyler bli mindre og mindre. Tilslutt vil disse lagene av vannmolekyler bindes sammen. Dette kalles kapillærkondensasjon, og gjør seg først gjeldende når den relative luftfuktigheten nærmer seg 80%.

Ofte vil det være interessant å vite hvor mye fuktighet som befinner seg i et materiale. Vannet vil befinne seg i mange ulike bindinger i materialet, som nevnt ovenfor, og hvor mye vann som et materiale inneholder, vil ha betydning for hvilke egenskaper materialet kan få. Når man skal regne ut vanninnholdet tar man utgangspunkt i vann som ikke er bundet sterkere enn at det vil fordampe ved oppvarming. Det er viktig å oppgi hvilken type uttørking man har benyttet fordi forskjellige metoder kan gi ulike tørrvekt. Fuktigheten til et materiale kan angis på flere måter:

- Som massen til vannet i materialet i forhold til massen til materialet helt tørt.

- Som massen til vannet i materialet i forhold til volumet til materialet. Vanlig å bruke volumet av helt tørt materiale
- Som volumet av fukten i materialet i forhold til volumet til materialet. Vanlig å bruke volumet av helt tørt materiale
- Som volumet av fukten i materialet i forhold til volumet til porene i materialet, dette kalles metningsgrad.

2.2 Hygrotermisk masse

Når man bruker begrepet hygrotermisk masse snakker man om to fenomener som opptrer samtidig. Det er termisk masse og hygroskopisk masse (Asphaug et al. 2015). Termisk masse er varmekapasiteten til et materiale, som sier hvor mye et materiale øker i temperatur i forhold til hvor mye varme som blir tilført (Grøn 2009). Hygroskopisk masse er fuktkapasiteten et materiale har, som er evnen et materiale har til å ta opp eller avgi fuktighet når den relative fuktigheten i luften rundt materialet varierer (Thue 2009). For mange materialer vil begge disse fenomenene opptre samtidig og da kalles det for en hygrotermisk masse. Siden fuktinnholdet i materialet vil forandre seg med den relative fuktigheten til luften, vil også varmekapasiteten forandre seg. Dette fordi vann har en annen varmekapasitet enn materialet har. Luftas relative fuktighet påvirkes av temperaturen, og derfor er også temperatur en viktig faktor som påvirker hygrotermisk masse. Det må også forekomme en dynamikk med en kobling mellom luft og materiale for å få bufret innelufta.

2.3 Varme

Varme beskrives av atomenes bevegelsesenergi. Ved høy temperatur vil atomene bevege seg mer, og de vil inneholde mer energi. Den spesifikke varmekapasiteten for luft er $1,0 \text{ kJ/kgK}$ og densiteten er på $1,25 \text{ kg/m}^3$. Dette vil gi en varmekapasitet per kubikk luft på $1,25 \text{ kJ/K}$ (Geving & Thue 2002).

Varme kan overføres ved varmeledning, konveksjon, stråling og faseendring. I dette kapitlet vil disse ulike overføringene omtales i korthet.

2.3.1 Varmeledning

Varmeledning (konduksjon) er at varme blir overført til en gass, væske eller fast stoff ved at molekyler med kinetisk energi overfører deler av denne til molekyler med mindre kinetisk energi ved sammenstøt (Geving & Thue 2002).

2.3.2 Konveksjon

Konveksjon er at en væske eller en gass med høy energi beveger seg til et område med lavere energi. Et eksempel på dette er at luft med ulik varme har ulik tyngde, derfor vil luft som blir varmet opp stige, mens luft som kjøles vil synke (Geving & Thue 2002).

2.3.3 Stråling

Det finnes mange typer stråling, men i forbindelse med varme er det den elektromagnetiske strålingen som er relevant. Elektromagnetisk stråling er delt inn i flere kategorier etter frekvens. De med lav frekvens har lite energi, mens de med høy frekvens har mye energi. Elektromagnetisk stråling overfører energi ved å sende fotoner i bølgebevegelser langs en rett linje i lysets hastighet. I tillegg til at stråling har bølgeegenskaper, har den også partikkelegenskaper. Stråling kommer ifra en overflate og kan gå igjennom gasser, vakuum, væsker og noen faste stoffer.

2.3.4 Faseendring/sorpsjonsvarme/latent varme

Når et materiale endrer fase mellom fast stoff, væske og gass, kreves eller avgis det energi. Når materialer tar til seg vanndamp fra omgivelsene vil vanndampen gå over til væskeform. Denne faseovergangen frigjør energi som kalles sorpsjonsvarme. Den samme energien kreves for at vannet igjen skal fordampe fra materialet. Energien ved faseendring er på 2477 kJ/kg vann. Energien er litt større i tre siden det oppstår en kjemisk binding til materialet. Dette innebærer at ved mye fukttilskudd i gassform over en periode vil man tilføre bygget et energitilskudd hvis det finnes materialer med åpen porestruktur som kan motta denne fuktigheten. For at denne fuktigheten skal fordampe ut av materialet, kreves det samme mengde energi.

2.3.5 Temperaturendring

Varme vil forandre temperaturen til omgivelsene, ved å tilføre energi. Derfor måles varmetilførsel i W per time. Det er temperaturforandringen man er ute etter, fordi det er denne som har betydning for komforten til mennesker. For å kunne beregne hvor mye energi som kreves må man vite den spesifikke varmekapasiteten til luft, som er 1,0 kJ/kgK med en densitet på 1,25 kg/m³ (Geving & Thue 2002). Stråling har også en påvirkning på temperaturen, derfor måles innendørs termisk komfort ved å benytte operativ temperatur. Den måles ved at en svart kule henger midt i rommet, uten stråling vil den få samme temperatur som omgivelsene, mens hvis det er stråling i rommet vil dette påvirke kulens temperatur (Blom 1999).

2.4 Inneklima

2.4.1 Betydning for helse

Inneklima omfatter alle fysiske og kjemiske forhold som påvirker oss innendørs (NAAF 2014). Det gode inneklimaet er viktig for helse, trivsel og evnen til å lære. Det er sjelden at noen blir syke av dårlig inneklima, men det gir ofte ubehag, nedsatt konsentrasjon og mistriivsel. Dårlig inneklima kan forverre eller utløse sykdommer. Det finnes flere faktorer som påvirker inneklima. Det er termisk miljø (temperatur), atmosfærisk miljø (luftkvalitet), aktinisk miljø (lys og stråling), akustisk miljø (lyd og støy) og mekanisk miljø (innredning og overflatevalg) (Holøs 2016).

2.4.2 Termisk miljø

Et behagelig termisk inneklima er når man føler at man hverken ønsker lavere eller høyere temperatur. Dette varierer fra person til person og aktivitetsnivå. Derfor tar man utgangspunkt i at hvis 90 av 100 personer er fornøyd med temperaturen vil man oppfylle kravene til NS-EN ISO 7730. I tillegg skal det heller ikke være store variasjoner i temperatur for de ulike kroppsdelene (Blom 1999). Et kaldt gulv vil kunne gi ubehag med kalde føtter selv om lufttemperaturen ellers er behagelig. For at en lufttemperatur skal oppfattes som passelig skal huden og kroppens kjernetemperatur føles nøytral. I tillegg må man ha lik varmeproduksjon og varmeavgivelse fra kroppen, slik at man kan holde seg i denne termiske komfortsonen. Luftfuktigheten har liten betydning for det termiske inneklimaet så lenge den ligger innenfor

anbefalte verdier mellom 20 og 60% i relativ luftfuktighet (Blom 1999). For høy lufthastighet kombinert med lave lufttemperaturer kan gi lokal nedkjøling av bar hud, som hode og nakke, hender og føtter. I tillegg vil termisk stråling kunne påvirke den termiske komforten til en person, fordi strålingsutvekslingen kroppen har med omgivende flater gir varmetap eller -tilskudd (Blom 1999). Det er gitt noen anbefalte temperaturkrav for at mennesket skal ha termisk velbehag i NS-EN ISO 7730: 2005, og de er for sommertemperaturer på 23-26°C. Arbeidstilsynet sine anbefalinger er på mellom 19 og 26 °C, men under 22 °C når det er oppvarmingsbehov (Arbeidstilsynet). TEK10 sine krav til innetemperatur er de samme som arbeidstilsynet har, men her er det i tillegg lagt inn grenser for ulike aktivitetsnivå for brukerne av rommet (TEK10 2010). Ved lett, middels eller tungt arbeid er grensene for innetemperatur satt til henholdsvis 19 til 26°C, 16 til 26°C, og 10 til 26°C (TEK10 2010).

2.4.3 Atmosfærisk miljø, luftkvalitet

Luftkvalitet bestemmes ut ifra hvilke stoffer som finnes i luften. De stoffene man finner i luften i skog og mark har vi levd med i mange tusen år og disse er ikke skadelige for oss. Inne i bygninger kan det derimot være en rekke stoffer i luften som i høye konsentrasjoner vil kunne gi negative effekter på helse. Man vil få forurensninger fra materialer, maskiner, mennesker, menneskelige aktiviteter og forurenset lufttilførsel (Blom 2000). Så lenge konsentrasjonen av forurensingen holder seg på et lavt nivå trenger den ikke være skadelig for helsen, men ved lav ventilasjon kan konsentrasjonen av forurensninger øke til irriterende, eller skadelige nivåer (Blom 2000). Det er derfor viktig at det stilles strenge krav til materialene som brukes, slik at de er lav-emitterende. Spesielt utsatte grupper mennesker er de med luftveisallergier, hjerte- og karsykdommer og barn. De stoffene som i dag gir de største negative konsekvensene for luftkvaliteten innendørs er fuktighet, karbondioksid, svevestøv, flyktige organiske forbindelser, allergener og husstøvmidd.

Fuktighet

Blir den relative luftfuktigheten for høy over tid, øker sjansen for mikrobiologisk vekst som kan gi husstøvmidd og muggsopp. Om den tilsvarende blir for lav gir det et ubehag ved at huden tørker ut (Blom 1999). Det går også fram av Blom (1999) at den relative luftfuktigheten bør ligge mellom 20% og 70%, og under 40% på vinteren.

Karbondioksid

Karbondioksid (CO₂) blir dannet ved forbrenning og ved utånding hos mennesker og andre organismer. CO₂ måles i ppm (parts per million). 1000 ppm tilsvarer en konsentrasjon på 0,1% CO₂ i luften, og dette er anbefalt som øvre grense på CO₂-nivå innendørs. I luften utendørs er nivået på 350 til 400 ppm, og den øvre grensen for CO₂-nivå innendørs er 500 ppm høyere enn utendørs (TEK10). Denne verdien har i senere tid hatt en liten økning på grunn av at man har tatt i bruk fossilt brensel. Ved forsøk har man funnet ut at 10 000 ppm CO₂ gir negative effekter på mennesker (Folkehelseinstituttet 2015). Dette er et høyt nivå i inneluften og oppstår bare i spesielle tilfeller. Imidlertid blir CO₂ benyttet som en indikator på for høye verdier av forurensninger i luften som kan gi vond lukt og andre negative konsekvenser for helsen.

Svevestøv

Svevestøv er partikler i luften som ikke inngår i en annen gruppe forurensninger. Det kan være både organiske og uorganiske partikler. De partiklene som har betydning for helsen er de som kan inhaleres, og generelt sier man at dette er partikler med størrelse fra 10 µm og nedover. Mengden av partikler i innemiljøet bestemmes av ventilasjon, renheten av ventilasjonsluften og tilførselen av partikler innendørs. Høy konsentrasjon med partikler i luften kan skade celler i luftveiene. Dette kan skje direkte eller ved betennelse i celler eller vev. Allergener, kreftfremkallende stoffer og andre kjemiske stoffer kan også feste seg på partikler og komme inn i luftveiene med dem. Kilder til svevestøv innendørs er matlaging, røyking, peis og stearinlys. Mye av forurensningen i uteluften kan fjernes hvis man har filter på frisklufttilførselen, men hvor mye av forurensningen som fjernes avhenger av hvilket filter som er benyttet.

Flyktige organiske forbindelser

VOC (Volatile Organic Compounds) er en rekke organiske forbindelser som har et kokepunkt fra 50°C til 260°C slik at de lett går over til gassform. Mange av disse kan ha negative effekter på helsen hvis konsentrasjonen blir for høy. I dag er det lite hensiktsmessig å undersøke alle gassene hver for seg fordi det finnes mange forskjellige. Det er dessuten lite kunnskap om effekten de ulike gassene har på helsen. Av de gassene det finnes kunnskap om blir virkningen det har på helsen, da de ofte har en lav konsentrasjon og dermed ikke gir noen negative helsekonsekvenser. Derfor blir det i dag heller sett på den totale mengden av flyktige organiske forbindelser i inneluften (TVOC). Disse sier noe om hvilket forurensningsnivå

inneluften har. Imidlertid er det noen bestemte gasser som blir prioritert undersøkt da man vet at det kan forekomme høye verdier av disse, i tillegg til at de kan ha negative helsekonsekvenser. Studier som er gjort for å avdekke hvilke VOC-stoffer som kan være skadelig ved høye konsentrasjoner er gjort i forskning med EU sin regi. Flere stoffer som var med i studien ble klassifisert som prioriterte stoffer som skulle vurderes, mens tre av dem, formaldehyd, benzen og aften, fikk første prioritet, på grunn av konsentrasjon og kjente helsefarer. Av disse er det kun formaldehyd som bør vurderes som førsteprioritet i Norge. De vanligste kildene til formaldehyd er fra sponplater, formaldehyd-harpiks og isolering med urea-formaldehydskum. Andre kilder kan være røyking, ildsteder med dårlig trekk, rengjøringsartikler, løsemidler, kosmetikk, malingrester og matlaging. En amerikansk studie avdekket at også akrolein kunne utgjøre en helserisiko. Den største kilden til akrolein og formaldehyd er røyking, men også matlaging på høy varme kan bidra sterkt til å øke nivåene av disse stoffene. Akrolein kan også avgasses ifra bygningsmaterialer samt dannes ved oksidering av flyktige organiske karbonholdige stoffer fra byggematerialer.

Det finnes også veldig flyktige organiske forbindelser (VVOC) som har kokepunkt lavere enn VOC. Stoffer som har høyere kokepunkt enn VOC kalles SVOC. Så langt kan man ikke fastslå hvordan slike stoffer påvirker allergi eller astma, men forskere prøver fremdeles å avdekke om disse kan ha en helserisiko.

VOC kan enten komme fra stasjonære eller variable kilder. Stasjonære kilder kan være avgassing fra materialer og installasjoner som finnes inne, mens variable kilder kan være røyking, matlaging og andre kilder. De stasjonære kildene vil ofte avta ettersom tiden går, fordi nye materialers avgassing avtar med tiden. Trevirkets opptak og lagring av VOC kan gjøre at konsentrasjonen av VOC reduseres fordi den avgasses over en lengre tidsperiode.

I de fleste nybygninger i dag er det ingen skadelige problemer som er oppdaget i forhold til VOC, fordi det er så lave verdier av de ulike stoffene. Allikevel finnes det noen effekter som kan være plagsomme for enkelte brukere. Dette er slimhinneirritasjon, astma, allergi, relaterte luftveissymptomer og kreft.

Det er gjort forsøk hvor man har påvist mer irritasjon på slimhinner der forsøkspersonene har blitt eksponert for økte verdier av TVOC i luften. Verdiene forsøkspersonene ble utsatt for var høyere enn det man vanligvis finner innendørs i boliger. Disse verdiene av TVOC ga en merkbar lukt som gjorde personene klar over at det var høye verdier av TVOC. Dette kan igjen ha påvirket resultatene av forsøket. Hvilke stoffer som er forhøyet varierer, og man kan

derfor ikke si at et høyt nivå i TVOC nødvendigvis vil føre til slimhinneirritasjon. Her er det mange faktorer som spiller inn.

Det finnes mye forskning på astma, allergi og relaterte luftveissymptomer, men det er ingen konklusjon som kan bekrefte eller utelukke om TVOC har noen effekt. Her er det også mange faktorer som påvirker resultatene. Det er igjennom forsøk påvist at noen VOC stoffer kan gi økt kreftrisiko, men at konsentrasjonen av disse stoffene er lave innendørs. Det er ikke satt noen øvre grenser for enkeltstoffer eller totalt VOC-nivå, fordi det ikke er funnet hensiktsmessig ved forskning. Det gir ikke tilstrekkelig informasjon om helserisikoen disse stoffene kan ha.

Allergener og husstøvmidd

Allergener i omgivelsene vil kunne føre til en allergisk reaksjon hos mennesker som er allergiske. Allergener fra husstøvmidd og kjæledyr er det flest mennesker har problemer med, men det finnes en rekke andre allergener fra andre kilder som man kan reagere på. I denne oppgaven undersøkes innemiljøet i en matbutikk, derfor ses det bort i fra at allergener er den største forurensningskilden i bygget. Dette skyldes at det sjelden er dyr i matbutikker, og husstøvmidd har liten næringstilgang og dårlige levevilkår.

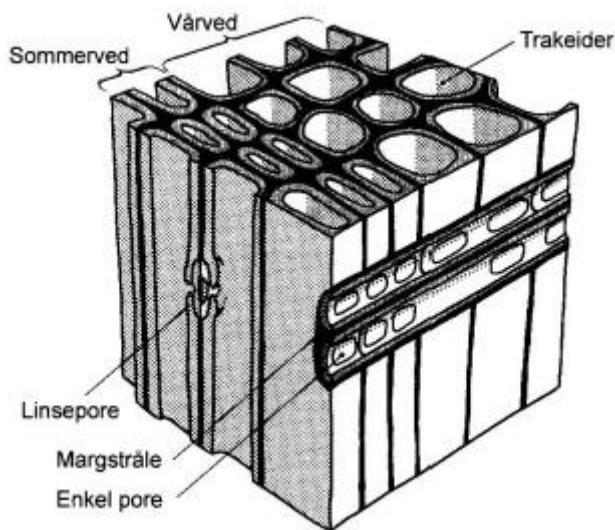
De tre andre faktorene aktivt miljø, akustisk miljø og mekanisk miljø beskrives ikke i denne oppgaven, da de ikke er aktuelle under dette temaet.

2.5 Tre

2.5.1 Oppbygning

Trær har vært levende før de ble bearbeidet til materialer. De utvikler seg for å vokse og overleve, og dette setter spor i materialene. Ytterst på stammen finner vi et lag med bark som er dødt og beskytter lagene innenfor. Deretter kommer et tynt lag med bast som transporterer byggestoffer nedover i treet. Innenfor basten finner man kambiet. Det er her cellene deler seg slik at treet vokser. Innenfor kambiet finner vi yteveden som er et relativt tykt lag og transporterer vann oppover i treet. Inn mot midten av stammen finner man kjerneved som er døde celler og som tidligere har vært yteved. Yteveden og kjerneveden er i nåletrær bygget

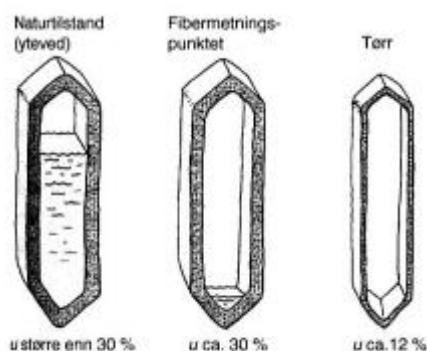
opp av tynne hule fiber som kalles trakeider, hvor de fleste går i lengderetningen til treet og er omtrent 0,03 mm i diameter og omtrent 3 mm lange på nordisk gran (*Picea abies*) og furu (*Pinus sylvestris*) (Treteknisk 2009). Trakeidene som dannes på våren kalles vårved og har tynne vegger som står for vanntransporten til treet. Trakeider som dannes på sommeren blir kalt sommerved og har tykke vegger med den hensikt å avstive stammen. Trakeidene som skal transportere vann er knyttet sammen med porer slik at de kan overføre vannet fra en trakeide til neste. Veden i treet består av cellulose (skjelett), hemicellulose (byggemateriale) og lignin (limet).



Figur 1: Fiberstruktur i treet. (Edvardsen et al. 2010).

2.5.2 Fuktinnhold

Når vannet i cellehulrommene nesten er tørket ut, og vannet som er bundet i celleveggene forlater celleveggstrukturen, har fuktighetsinnholdet nådd fibermetningspunktet (Figur 2). Det er da krymping oppstår ved tørking. Dette forekommer på omtrent 30% fuktighet for gran og furu, hvor 30% er massen av vannet i forhold til massen av trevirket i absolutt tørr tilstand. Trakeidene er stort sett orientert parallelt med stammens retning og derfor vil det bli mest krymping radielt og tangentielt, men mindre i lengderetningen. Fuktighetsnivået på materialer som blir forhandlet i byggevareforretning skal være under $18\% \pm 2\%$, (NS-EN14298 2004). Årsaker til dette er at sopper og insekter ikke vil angripe treverk som er under denne fuktighetsprosenten, men også fordi dette er i nærheten av likevektsfuktigheten som oppstår for materialer i bruk. Dette er gunstig for at materialene ikke skal krympe mye etter at de er montert.



Figur 2: Fuktinnhold (u) i prosent av tørrvekt. (Edvardsen et al. 2010)

Treverk er et hygrottermisk materiale og har stor evne til å ta opp og avgi fuktighet (bufre) med omgivelsene (Rode et al. 2005; Wu et al. 2008). Trefuktigheten vil over tid i et konstant klima innstille seg ved en likevektsfuktighet. Likevektsfuktigheten vil forandre seg med den relative luftfuktigheten og temperaturen. Derfor kan man tegne opp en kurve hvor man ser på forholdet mellom likevektsfuktigheten og den relative luftfuktigheten ved ulike temperaturer. Man kan ut i fra denne kurven lese hvilken fuktighet treverket vil oppnå over tid hvis den relative luftfuktigheten holder seg på et stabilt nivå og motsatt.

Man kan ha to trestykker av samme tremateriale i samme klima, men få ulike likevektsfuktighet. Dette kan skje hvis den ene treklossen har høy fuktighet og den andre lav fuktighet da de blir lagt inn i klimaet. Denne forskjellen mellom likevektsfuktighet kalles hysteresis. Trefuktigheten blir altså lavere ved oppfukning enn ved uttørking i det samme klimaet. Grunnen til dette kan være at ved oppfukning må vannmolekylene fortrenge oksygen- og nitrogenmolekyler, og dette krever energi.

2.5.3 Emisjoner fra treverk

Treverk gir ifra seg flere forskjellige flyktige stoffer, i gran og furu er et stoffet som har størst forekomst terpen. I industri hvor verdien av terpen er svært høy (opp til 10 000 ganger høyere enn i vanlig romluft) er det påvist negative helseeffekter. Personer som har vært utsatt for dette miljøet over tid har økt risiko for luftveislager, økt reaktivitet i luftveiene og økt forekomst av enkelte typer kreft. Det er derimot ikke påvist risiko for dette i tradisjonell bruk av treverk som bygningsmateriale, og verdiene av terpen går også ned over tid (Treteknisk 2009).

2.6 Ventilasjon

Ventilasjonens hensikt er å sikre et luftskifte av inneluft med uteluften for å redusere konsentrasjonen av forurensende stoffer. Kravet for forretningsbygg er $11 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ t})$ i driftstiden og $1,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ t})$ utenfor driftstiden (NS 3701:2012). Kravene fra TEK10 er at friskluftstilførselen skal vurderes ut fra tre forhold; personbelastning, materialbelastning og forurensninger fra prosesser og aktiviteter. Man skal dimensjonere etter det forholdet der belastningen er størst. I følge TEK10 skal det for yrkesbygg beregnes minimum personbelastning på $26 \text{ m}^3/\text{person}$ og time, mens for materialer skal det minimum være en utlufting av inneluften med $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ gulv og time når det er lavemitterende materialer og produkter inne i lokalet. Hvis materialene ikke er lavemitterende eller om det er benyttet udokumenterte material, skal man ha en utlufting på $3,6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ gulv og time. For denne oppgaven vil ikke forurensninger fra aktiviteter eller prosesser være aktuelt. Arbeidstilsynets krav til ventilasjonen skiller seg lite fra kravene i TEK10, men der oppgis tilluftsmengden i liter/sekund og m^2 , personbelastningen og materialfaktoren for kjente lavemitterende materialer blir tilnærmet det samme. Det øvre kravet til materialfaktoren er høyere i arbeidstilsynets anbefalinger enn i TEK10s krav. Det finnes flere ventilasjonssystemer; naturlig ventilasjon, mekanisk avtrekksanlegg og balansert mekanisk ventilasjonsanlegg. Bygget som denne oppgaven omhandler, har et balansert mekanisk ventilasjonsanlegg, og dermed beskrives kun dette ventilasjonssystemet i de følgende delkapitler.

2.6.1 Balansert mekanisk ventilasjon

Ved et balansert mekanisk ventilasjonssystem vil vifter gi tilluft og trekke ut avtrekksluften i ventilasjonssystemet. Dette skjer gjennom ventilasjonskanaler i bygningen. Luften suges først inn utenfra ved hjelp av en vifte. Luftinntaket må ikke plasseres i et område med mye forurensning. Denne luften blåses gjennom et filter slik at luften blir rensert for eventuelle forurensninger utenfra, og deretter varmes luften opp av en varmekilde. På nyere installasjoner i dag er det nesten alltid montert en varmegjenvinner. Etter varmegjenvinneren er det periodevis ytterligere behov for oppvarming av luften, og det er da normalt at luften går igjennom et varmebatteri som varmer opp luften til ønsket temperatur. Varmebatteriet kan varmes opp med elektrisitet, sentralvarmeanlegg eller overskuddsvarme fra installasjoner i bygningen. Etter varmebatteriet suges luften videre gjennom tilluftsviften før den tilslutt blir ført ut til de ulike rommene. Det finnes to metoder for å tilføre luft til et rom, omrøringsventilasjon og fortreningsventilasjon.

Ved omrøringsventilasjon tilføres friskluften rommet med høy hastighet utenfor oppholdssonen, ofte høyt oppe på en vegg eller i himling. Luftstrålen blåses ofte nedover i retning av oppholdssonen og på veien dit blander den seg med luften i rommet slik at hastigheten avtar og temperaturen utjevnes med romluften. Luften blir varmet opp av maskiner og mennesker i oppholdssonen og den varme luften fra oppholdssonen vil stige opp. Det forklarer hvorfor avsuget er montert høyt oppe på veggen.

Ved fortrenningsventilasjon tilføres friskluften nede ved gulvet med lav hastighet og med en temperatur litt lavere enn romluften. Den vil skyve varmere luft oppover mot himling hvor avsuget sitter. Når den kalde, friske luften treffer en varm overflate, vil den inngå i en oppadgående luftstrøm. Varme overflater er ofte forbundet med forurensningskilder, derfor er dette gunstig for å fjerne forurensningen uten at den blander seg mer enn nødvendig med resten av romluften.

I begge metodene føres luften igjen gjennom et filter etter avsuget, og dette renses luften for forurensninger den har med seg fra inneluften for at effekten på varmegjenvinneren ikke skal reduseres. Når luften har vært igjennom varmegjenvinneren går den igjennom avtrekksviften og ut.

2.6.2 Styring

For å redusere kostnadene til oppvarming, kjøling og transport av ventilasjonsluften kan man velge å ha behovsstyrt ventilasjon i stedet for konstant tilførsel av luft. Det finnes flere forskjellige faktorer å styre ventilasjonen etter; forurensningskonsentrasjon, tilstedeværelse av mennesker, tidsur, den relative luftfuktigheten og lufttemperaturen innendørs. Man kan også styre etter flere av disse faktorene samtidig, og dette kan gjøres manuelt eller automatisk.

3 Materiale og metode

3.1 Studieområde

Bygget i foreliggende oppgave finner sted i Elverum i Hedmark fylke (UTM 32 V, 60° 87'44,5"N 11° 57'61,3"E). Hedmark har et kontinentalt klima med moderat nedbør, lite vind, lav luftfuktighet, store temperaturforskjeller igjennom døgnet, varme somre og kalde vintre (Harstveit & 2009). Se værdata for Elverum i Vedlegg 1. Bygget ligger i et område med tett bebyggelse av eneboliger, sykehus og næringsbygg.

3.2 Beskrivelse av bygget

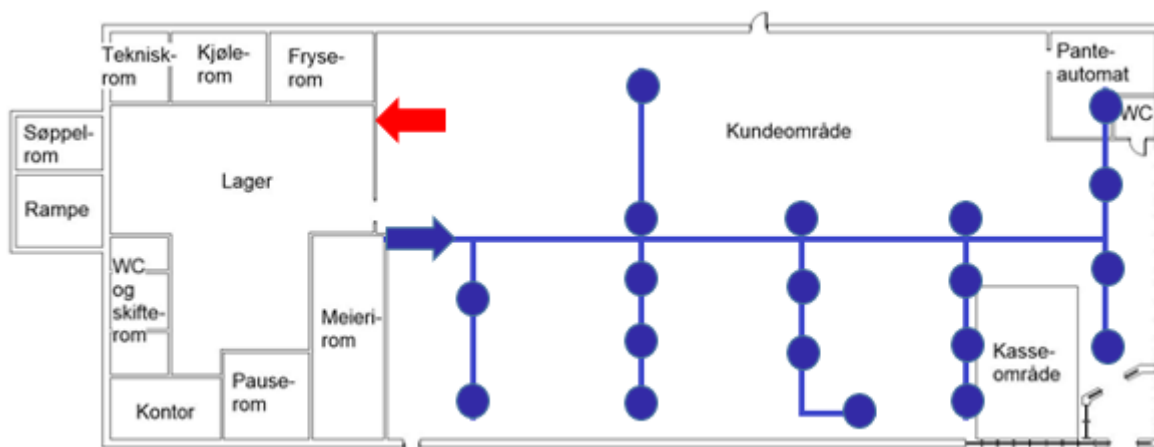
3.2.1 Teknisk

Byggets totale areal er 1300 m². Arealet er delt opp i kundeområde, kundetoalett, panterom, varemottak, varelager, kjølerom, fryserom, teknisk rom, pauserom, ansatt toalett og kontor (Figur 4). Denne oppgaven omhandler kun kundeområdet, hvilket har et areal på 840 m² med en takhøyde på ca. 6 meter. Gulvet er dekket av terrazzofliser, veggene er kledd med trepanel og taket med spilepanel. Alle bærende konstruksjoner er laget av tre, og taket bæres av et fagverk i limtre som ligger under himlingen. All bæring i veggene er kledd inn. I veggene er det 300 mm mineralull og i taket er det 350 mm mineralull som isolasjonssjikt. Det er fire aerogel-takvinduer på til sammen 120 m² i himlingen. Utvendig er butikken kledd med malmfuru fra Alvdal (Figur 3).



Figur 3: Kiwi Fjeldset utvendig fasade februar 2016.

Bygget har en balansert mekanisk ventilasjon som leverer 11000 m³/t. Ventilasjonsanlegget har en varmegjenvinner med en gjenvinningsgrad på 88%. I tillegg er det to varmebatterier hvor det ene varmes opp elektrisk og det andre er et vann-glykol varmebatteri som benytter seg av kondensatorvarmen fra kjøle- og frysesystemet i butikken. Ventilasjonsanlegget har også omrøringsventilasjon med diffusorer plassert i høyde med lysarmaturen omtrent 2,5 meter under himlingen jevnt utover i hele butikklokalet. Det finnes to avtrekk i butikken; et som er plassert over fryserommet og et over meierirommet. Ventilasjonen styres etter et tidsur og etter temperaturen. Ur-styring betyr hovedsakelig at ventilasjonen blir redusert på natten, i helger og på andre helligdager uten kunder og ansatte. Temperaturstyringen starter og stopper varmekildene ettersom temperaturen inne i bygget varierer. Først starter varmegjenvinneren, deretter varmebatteriet som benytter kondensatorvarmen og tilslutt varmebatteriet som er elektrisk. Se Figur 4 for plantegning med ventilasjonsanlegget i butikken. Kiwi har satt krav om at temperaturen som skal ligge rundt 20-21 °C. Hensikten er å beskytte matvarene mot forringelse og at kjøle- og fryseanlegget skal fungere optimalt. Se mail fra Kiwi i Vedlegg2.



Figur 4: Plantegning av Kiwi Fjeldset med oversikt over ventilasjonsanlegget. Den blå pilen viser rørføringen fra tilluftsviften ut til diffusorene, mens den røde pilen viser avtrekket. Det er kun ventilasjonsanlegget i kundeområdet som er tegnet inn i figuren.

3.2.2 Miljøhensyn

Byggematerialene i butikken består hovedsakelig av treverk. Begrunnelsen for dette valget er at tre er en fornybar ressurs som er klimanøytral (Miljødirektoratet 2016). Treverk er derfor miljøvennlig i forhold til mange andre produkter, slik som stål og betong. For å tilfredsstille energikravene til NS 3701:2012 har bygget mange energibesparende løsninger. Butikken har god isolasjon i vegger og tak, noe som bidrar til mindre behov for oppvarming på vinteren og

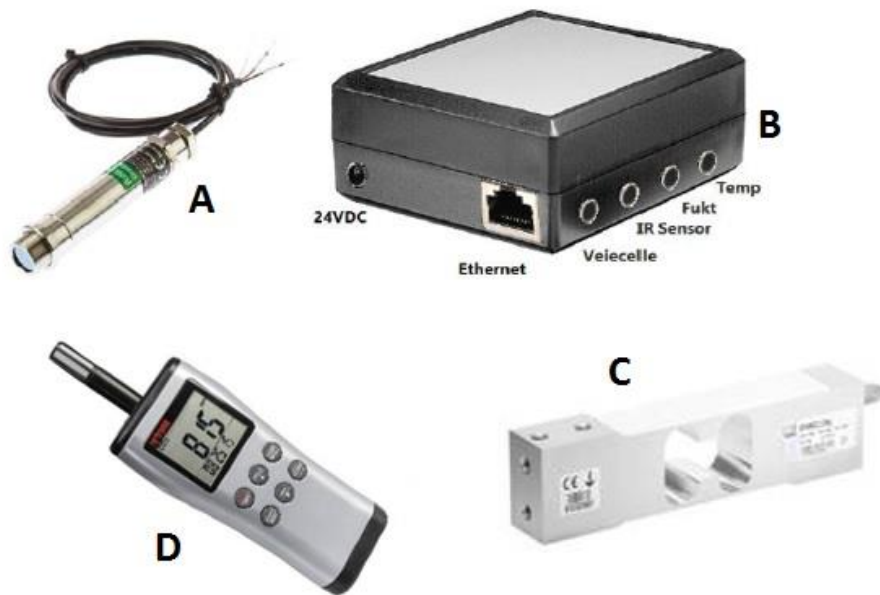
avkjøling om sommeren. I all armering er det benyttet resirkulert stål, og betongen som er brukt er lavkarbon betong. Dette bidrar til å redusere karbonfotavtrykket til byggeprosjektet med 50% sammenlignet med standard referansebygg. Feltene med aerogel i taket bidrar til å gi god spredning av dagslys i butikken samtidig som de har god isolasjonsevne.

Overskuddsvarmen fra kjøleaggregatene brukes for å varme opp ventilasjonsluften og tappevannet. All belysning er LED-lys, som reduserer energibehovet til belysning i butikken. Det er mulighet for dynamisk styring mot dagslys, og det er tilstedeværelsessensorer i rom som ikke trenger lys hele tiden. Det benyttes et energieffektivt kuldeteknisk anlegg med lavenergi kjøledisker. Det er i tillegg montert lokk på alle frysedisker og dører på alle kjøleskap. På taket er det montert et solcelleanlegg som skal produsere 70 000 kWh i året. Trepanelet vil redusere behovet for ventilasjon fordi det er et hygroskopisk materiale, og vil dermed fungere som en fukt og energibuffer, også kalt «naturlig varmpumpe» (Kraniotis et al. 2015; Osanyintola & Simonson 2006; Rode & Grau 2008; Woloszyn et al. 2009).

3.3 Datainnsamling

3.3.1 Beskrivelse av måleutstyr

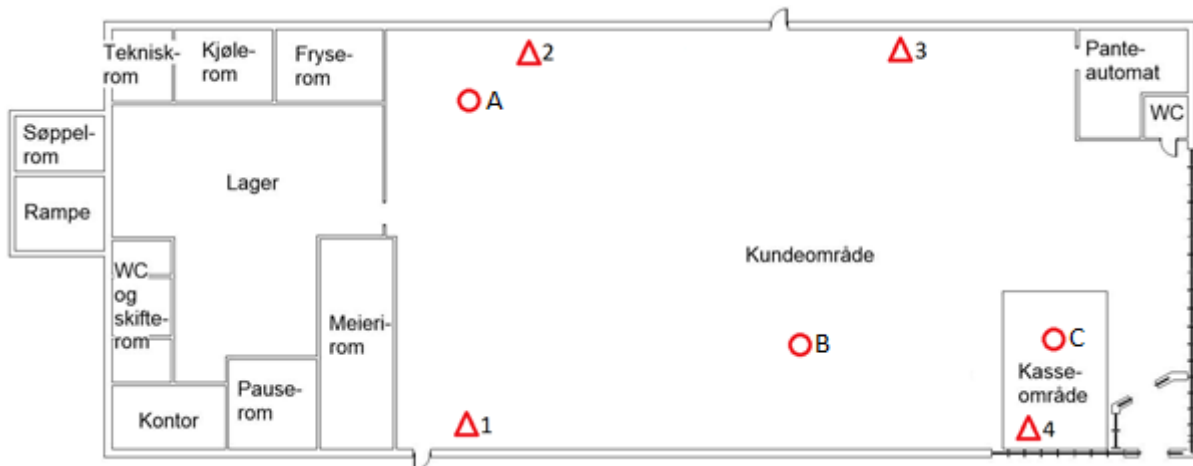
Det er satt opp tre ulike målesystemer i butikken. Det ene systemet er satt opp av Kiwi, det andre av Treteknisk, mens det tredje systemet kommer fra NMBU. Det er selskapet IWMAC som overvåker sensorene til Treteknisk. IWMAC har opprettet en innloggingstjeneste via internett, der man kan logge inn og se dataene som blir registrert i butikken. Denne funksjonen er benyttet i denne oppgaven for å hente ut registreringene fra Treteknisk sine sensorer. Systemet som Treteknisk har satt opp består av; en temperatursensor Pt1000 klasse B som er levert av Danfoss (Danfoss), en IR sensor PC21MT-0 produsert av Calex (Calex) som måler overflatetemperaturen til treverket, ei veiecelle SP4M levert av HBM (HBM), som måler vekten av 6 treklosser med en størrelse på 12,5 x 12,5 x 1,2 cm som henger under og relativ luftfuktighetssensor KLH420 produsert av Pro dual (Pro dual). Alle disse sensorene er plassert under himlingen på fire ulike steder (se røde trekanter på Figur 6). Sensorene er på hvert sted koblet til en loggermodul DMU – 3010 levert ifra Jenlogix (Jenlogix), som logger og sender dataene til en nettverksswitch som igjen sender dataene via Ethernet til en lokal webserver hos IWMAC. Hvis verdiene beveger seg utenfor de innstilte, kritiske grenser utløses alarmer.



Figur 5: Oversikt over måleutstyret som ble brukt under datainnsamlingen. A: Danfoss temperaturmåler, B: Jenlogix loggermodul, C: HBM veiecelle, D: Rotronic målesensor.

NMBU har montert en sensor av typen Rotronic (Rotronic) (se røde sirkler i Figur 6). Denne sensoren logger karbondioksidnivå i luften, relativ luftfuktighet og temperatur. Den har et internminne med begrenset lagringskapasitet og må derfor kobles til en annen enhet med programvare for overføring av logget data. NMBU-sensoren er plassert i 1,5 – 2 meters høyde.

Kiwi sine temperatur- og relative fuktighetssensorer er plassert i høyde med lysarmatur på ca. 3,5 meters høyde på de samme stedene som måleutstyret til Treteknisk (se røde trekanten i Figur 6). Kiwis målere er satt opp i forbindelse med pilotprosjektet og butikken har av den grunn flere sensorer enn en normal Kiwi-butikk. Denne oppgaven har hatt tilgang til og mulighet for å benytte alle disse sensorene.



Figur 6: Plantegning med målere. Rød sirkel viser målerne fra NMBU i 1,5 meters høyde, mens rød trekant viser Treteknisk sine sensorer som er plassert under himling.

3.3.2 Validitet og målenøyaktighet

Det er ønskelig å oppnå høy validitet og målenøyaktighet, men det finnes økonomiske, praktiske og hensiktsmessige begrensinger. I foreliggende oppgave skal man endre ventilasjonen og undersøke om klimaet endrer seg. I dette forsøket er loggerhastigheten 10 minutter for Rotronic CP11 på grunn av lagringskapasiteten. For systemet til Treteknisk er loggerhastigheten mye hyppigere, men varierer etter hvilken variabel man studerer, fordi her er det stor lagringskapasitet. Plasseringen til de ulike sensorene er avgjørende for dataene de logger.

Faktorer som har betydning for inneklimate bør måles der brukerne av bygget befinner seg. Derfor blir relativ luftfuktighet, karbondioksid og temperatur målt i samme høyde som menneskers utånding. De er i tillegg plassert flere steder i butikken fordi det kan være forskjellig luftkvalitet på ulikt sted.

Det blir også målt relativ luftfuktighet, overflatetemperatur på treverk, masseendring av treklosser og temperatur under himlingen for å kunne påvise om det vil oppstå et varmetilskudd ved oppfukning. Tidligere forsøk viser at det er størst oppfukning av treverk i himling (Skjelbred 2014), og derfor er utstyret plassert her. Treteknisk sitt måleutstyr plassert i himlingen, er merket med røde trekkanter og tall (se Figur 6).

Data fra målingene i den første timen etter at det er skiftet ventilasjonsstrategi er ikke tatt med i denne oppgaven. Disse er valgt bort fordi effekten av den nye ventilasjonsstrategien ennå ikke har gjort seg gjeldende. Forandringen i pådraget kommer omtrent én time etter at det er byttet ventilasjonsstrategi.

3.3.3 Beskrivelse av måleoppsettet

På Treteknisk sitt måleutstyr har det vært kontinuerlige målinger gjennom en periode på 16 uker, mens måleutstyret fra NMBU kun har logget i 7 uker. I løpet av denne 7-ukersperioden har ventilasjonen hatt to ulike strategier. Den første strategien innebar å kjøre ventilasjonen på «normal» drift. Den andre strategien som ble valgt, var å redusere ventilasjonen til et minimum, og bare øke den hvis den relative luftfuktigheten eller CO₂-nivået ble for høyt, i tillegg til nattkjøling. Denne strategien hadde til hensikt å øke luftfuktigheten i bygget samt redusere energibehovet med lavere ventilasjon. Begge strategiene ble i tillegg styrt etter temperatur. Ventilasjonsstrategi 1 hadde en Set-temperatur (temperaturen ventilasjonssystemet skal oppnå) på 21°C, mens Ventilasjonsstrategi 2 hadde en Set-temperatur på 19°C om dagen og 16°C om natten.

Ventilasjonsanlegget ble driftet i forskjellige prosentandeler av full ventilasjon som er 18 000 m³/t for tilluften og avtrekket i denne 7-ukersperioden. Denne perioden kan deles opp i tre intervaller. Tabell 1 viser tidsperiodene til de to ventilasjonsstrategiene. I tillegg var det en testperiode hvor det oppsto problemer med programmeringen av styreenheten til ventilasjonssystemet, noe som gjorde at endringen av ventilasjonen dro ut i tid.

Ventilasjonsstrategi 1 forsøker å tilfredsstille kravet ifra NS 3701: 2012 med 11 m³/(m² t). Siden bygget er på 1300 m², vil den totale luftmengden som kreves være 14300 m³/t (1300*11). Ventilasjonssystemet skal levere 18000 m³/t hvis det brukes med 100% pådrag på tilluftsviftene, med 80% pådrag vil viften levere 14400 m³/t.

Ventilasjonsstrategi 2 hadde til hensikt å dekke kravet til TEK10 på dagtid med en personbelastning på 40 personer og at emisjoner fra materialer var kjente og lave. Dette ga et behov av tilluftsmengden på 4300 m³/t om dagen ((26 m³/t og pers * 40 pers) + (2,5 m³/tm² * 1300 m²) = 1040 + 3250 = 4290 m³/time). Om natten skulle Ventilasjonsstrategi 2 ha høy ventilasjon for å øke den relative fuktigheten i bygget.

Tilluftsmengden i Ventilasjonsstrategi 2 ble endret i forhold til Ventilasjonsstrategien 1, og det ble satt et pådrag på ventilasjonsviften på 25 % (dette var den laveste verdi det var mulig å stille denne viften på), avtrekksviften ble satt til 20%.

Tabell 1: Oversikt over ventilasjonsstrategiene og hvilke tidsperioder de gjelder for.

Ventilasjonsstrategi	Tidsperiode	Endring kl.	Ventilasjon m ³ /t	Pådrag tilluft	Pådrag avtrekk
1	4. mai – 3. juni		11 000	80%	60%
Testperiode	3. juni – 10. juni	14:46:00	0 - 11 000	0% - 80%	0% - 60%
2	10. juni – 18. juni	14:10:00	4 500-11000	25% (80% natt)	20% (60% natt)

3.4 Beskrivelse av beregninger og analyser

18. juni ble alle resultatene tatt ut fra nettjenesten til IWMAC og fra NMBU-sensorene.

Deretter ble alle resultatene sortert etter tid og sted i butikken, og tilslutt sammenstilt i flere regneark (Excel), sortert etter hva de skulle vise. Alle data kunne sorteres på alle variabler, og dette ble gjort der det var hensiktsmessig for oppgaven.

3.4.1 Inneklima ved redusert ventilasjon

Dataene som kom fra Rotronic-sensorene ble lagt inn i et regneark, sammen med data om tilluftsmengden som ble hentet ifra Kiwi sine sensorer. Hvis CO₂-nivået endret seg mer enn 10% på 10 minutter ble dataene fjernet. Dette fjerner forstyrrelser på CO₂-nivået som får et unormalt høyt nivå. Dette kan for eksempel oppstå ved avlesning av sensorene fordi utåndingen til avleseren blåser rett mot sensoren. Det er også oppdaget en periode fra 6. og 7. mai der CO₂-nivåene steg til over 2500 ppm. Grunnen til denne CO₂-stigningen er ikke undersøkt, men det nærliggende å tro at det har vært en lekkasje fra enten kjøle- eller frysemaskiner som benytter det naturlige kuldemediet CO₂. Denne perioden er dermed ikke representativ for CO₂-nivået i butikken, uavhengig av ventilasjonsstrategi, og er derfor fjernet fra datasettet. I tillegg skal det nevnes at 7. mai måles sensorene så høyt CO₂-nivå at de automatisk slo seg av. Dette ble ikke oppdaget før avlesning av data den 10. mai. Dermed er det ikke registrert data fra 8. - 10. mai klokken 12.

Dataene ble sortert etter om butikken var åpen eller stengt og på kategoriene røde dager, ukedager og lørdager og tilslutt på kategorien mellom klokken 15.00 og 20.00.

Denne oppgaven har satt komforttemperaturen i butikken mellom 18 og 22°C. Dette er gjort etter samtaler med og ønsker fra de ansatte i butikken. De har en del fysisk arbeid og ønsket temperaturen i butikken tilpasset dette, samt opplevelsen av at det ble varmere utover dagen.

Målingene av temperatur og relativ fuktighet, for å kontrollere inneklime, kommer fra Rotronic sine sensorer. Den relative fuktigheten innendørs om sommeren bør ligge mellom 20 og 70% (Blom 1999), men for Kiwi Fjeldset er den øvre grensen 60% fordi lysarmaturen ikke tåler en høyere relativ fuktighet, ifølge leverandør.

CO₂, temperatur, relativ fuktighet og tilluftsmengden er sortert til å vise et gjennomsnitt av de registrerte verdiene for de siste 10 minuttene.

Det er valgt å ikke gjøre målinger av VOC i denne oppgaven. Årsaken er at det ikke finnes noen kjente kilder til høye konsentrasjoner av formaldehyd og akrolein, men noen endelig bekreftelse på at det ikke finnes høye konsentrasjoner av disse og andre VOC-stoffer får man ikke uten å måle dem.

3.4.2 Fuktbufringens temperaturpåvirkning

Treklossenes masseendring er funnet ved å se på veiecellens endring per time og summere den absolutte endringen til treklossene (både positiv og negativ endring). Oppgaven valgte å se på endringen per time for at variasjoner i målingene ikke skulle gi feilaktige store endringer.

Overflatetemperaturen og veiecellenes målinger er et gjennomsnitt av fire IR-sensorer og fire veieceller, og disse ble plassert i himlingen (se trekkanter i Figur 6). Lufttemperaturen i butikken er et gjennomsnitt av fire termometerer som ble plassert samme sted som IR-sensorene og veiecellene, men i høyde med lysarmaturen omtrent 2,5 meter lenger ned. Differansen mellom overflatetemperaturen og lufttemperaturen ble benyttet for å beskrive om man har et varmetilskudd eller kjøling fra treoverflaten. Denne omtales som TempDiff senere i oppgaven. Det antas at hvis differansen er lav, vil det være liten energiutveksling mellom treoverflaten og romluften, men hvis differansen er høy vil en større andel energi utveksles med romluften.

Dataene fra de ulike sensorene ble registrert med ulik frekvens, og de ble derfor sortert til å vise gjennomsnittet per minutt, per 10 minutt og per time. For å bli kvitt støy som er knyttet til veiecellenes målinger ble det benyttet et gjennomsnitt per time. Deretter ble alle data

sortert i fire kategorier: masseøkning under 0,02%, masseøkning over 0,02%, massereduksjon under 0,02% og massereduksjon over 0,02%, alle per 10. minutt.

Først ble TempDiff for alle masseøkninger og massereduksjoner til veiecellene over 0,02% sammenlignet, dette er senere i oppgaven omtalt som VC over 0,02% økning og VC over 0,02 reduksjon. Deretter ble TempDiff for masseøkninger og massereduksjoner til veiecellene under 0,02% sammenlignet, dette er omtalt som VC under 0,02% økning og VC under 0,02% reduksjon. Tilslutt sammenlignet man TempDiff for masseøkninger og massereduksjoner til veiecellene over 0,02% der de hadde vært sammenhengende i en periode lengre enn seks timer. Her ble den siste timen før denne perioden og de første fem timene i denne sammenhengende sekstimersperioden valgt ut til å representere denne kategorien. Denne er kategorien blir omtalt som VC over 0,02% Trend Forskjøvet økning og VC over 0,02% Trend Forskjøvet reduksjon. Dette ble gjort for å undersøke om TempDiff ble tydeligere når det skjedde over en lengre periode. Lengden på seks timer og forskyvningen ble gjort fordi man i metoden tolket dataene for å se etter sammenhenger.

For å kunne beregne vannopptaket for hele butikken må det totale trearealet som har fuktighetsutveksling med romluften være kjent (Tabell 2). Arealet av alle trearealer som hadde direkte kontakt med romluften ble beregnet, og oppgaven legger til grunn at dette trearealet hadde samme masseendring per areal som treklossene som var festet til veiecellene. Det ble tatt hensyn til at trakeider som går på tvers av overflaten (endeved) tar opp og avgir mer fuktighet med omgivelsene enn der veden går på langs med overflaten. Treoverflaten i himlingen er basert på et romareal på 840m², og her er det redusert for aerogel-vinduene. I himlingen er det anslått at det er benyttet lekter av 48x48mm med 48mm imellom lektene. Dermed er det tre overflater per lekt som er i kontakt med luften i rommet. Videre er veggens treareal beregnet, og her er det knyttet stor usikkerhet til hvor stor andel av dette arealet som utveksler fuktighet med luften i rommet. Årsaken er at store trearealer er gjemt bak fryse- og kjøleskap. Det er antatt at det skapes varme fra fryse- og kjøleskapene som bidrar til at luften bak skapene stiger på grunn av varmen, trearealet bak disse skapene kan slik bidra i fuktighetsutvekslingen mellom trevirket og romluften. Basert på en skjønnsmessig vurdering ble det anslått at den gjennomsnittlige høyden med treareal på veggene er 4 meter. Grunnen er at det finnes en rekke steder som er helt uten trevirke. Veggpanel med glass er også trukket fra. Tilslutt er trearealet av fagverkene regnet ut, også dimensjonene av disse ble skjønnsmessig bestemt. Som man forstår er det knyttet store usikkerheter til alle parameterne i

utregningene av trearealet. I det videre forutsettes det at det kun er det beregnede trearealet som utveksler fuktighet med omgivelsene.

Tabell 2: Beregning av treareal i butikken.

Himling	Antagelse av sprekk (mm)	Treareal (m ² /m ²)	Treoverflate (m ²)
48X48 (mm)	48	1,5	1140
Glatt vegg	Høyde (m)	Lengde vegger (m)	Treoverflate (m ²)
	4	100	398
Fagverk limtre	Areal et fagverk (m ²)	Antall fagverk	Treoverflate (m ²)
200x500 (mm)	13	5	66
		Sum areal trevirke	1604

3.4.3 Energibesparelse ved redusert ventilasjon

Som følge av at ventilasjonen ble redusert, ble også den teoretiske energibesparelsen beregnet for bygget. Den ble beregnet på bakgrunn av hvor mye energi som kreves for å varme opp én kubikk luft én grad med en gitt luftfuktighet og temperatur. I denne oppgaven ble den spesifikke varmekapasiteten og densiteten til luft benyttet for å beregne et varmebehov på 0,35 Wh/m³K. Dermed kunne energibesparelsen beregnes når det var kjent hvor mange grader luften skulle varmes opp og volumet av luften som skulle varmes opp. Dette volumet var kjent fordi det samsvarer med tilluftsmengden som er oppgitt i antall kubikkmeter per time. Antall grader denne luften skulle varmes opp samsvarte med differansen mellom inntakstemperaturen og ønskede temperaturen på tilluften. Dermed var mengden energi som måtte til for å kjøle ned luften tilstrekkelig for å oppnå ønsket temperatur, kjent. Alle verdiene som ble brukt til dette delkapittelet var basert på et gjennomsnitt per 10. minutt.

Redusert ventilasjon sin påvirkning på temperaturen og energi

Tabell 7 er delt opp i tre kategorier horisontalt som er butikktemperaturen, kjølebehovet for å oppnå 19°C og tilluftsmengden. Butikktemperaturen er et gjennomsnitt av fire målere med gjennomsnitt for hvert 10. minutt plassert i høyde med lysarmaturen (se røde trekantene i Figur 6). Kjølebehovet for å oppnå 19°C, er en parameter som denne oppgaven har definert. Dette fordi da man endret ventilasjonsstrategi endret man også Set-temperatur i butikken igjennom døgnet. Siden man ikke har kjøling på tilluften ble denne satt på et lavt nivå for at det ikke skulle tilføres varme på kalde dager for å oppnå set-temperatur. Dette vanskeliggjorde en

sammenligning av kjølebehovet mellom ventilasjonsstrategiene, fordi ventilasjonssystemet kalkulerte inntakstemperaturen med forskjellige krav til butikktemperaturen. Derfor har denne oppgaven laget parameteren «kjølebehov for å oppnå 19°C» for å forklare hvor mye energi man trenger for å kjøle ned tilluftsmengden til 19°C fra inntakstemperaturen. Dette for at man skal få et mest mulig likt sammenligningsgrunnlag for kjølebehov mellom ventilasjonsstrategiene. Den totale kjølemengden er ikke korrekt, men den prosentvise endringen blir tilnærmet lik. Tilluftsmengden sier hvor mange kubikkmeter luft som blir sugd inn gjennom viften per time. Kategoriene vertikalt i Tabell 7 er ventilasjonsstrategi, temperaturer over 21°C og temperaturer over 23°C. Parameterne temperaturer over 21°C og temperaturer over 23°C er beskrivelser for hvordan dataene er sortert. De er først sortert etter om inntakstemperaturen er over en bestemt temperatur, deretter ble gjennomsnittet av inntakstemperaturen for Ventilasjonsstrategi 2 regnet ut. Det ble så plukket ut datoer i Ventilasjonsstrategi 1 som til sammen ga tilnærmet samme gjennomsnitt av inntakstemperaturen som man hadde i Ventilasjonsstrategi 2, med omtrent det samme antall målinger. Hvis man da ikke fant to perioder som oppfylte omtrent de samme gjennomsnittene, ble færre datoer i Ventilasjonsperiode 2 plukket ut for deretter å gjenta prosessen med å finne to perioder med tilnærmet samme gjennomsnitt. Det ble totalt plukket ut 87 inntakstemperaturer for parameteren temperaturer over 21°C for både Ventilasjonsstrategi 1 og 2. Dette tilsvarte en periode på 870 minutter over 21°C i hver av strategiene. Det samme ble gjort for parameteren temperaturer over 23°C, men her ble det bare funnet 18 inntakstemperaturer for hver av strategiene som tilsvarte 180 minutter i hver strategi. For parameteren temperaturer over 21°C ble differansen mellom ventilasjonsstrategiene og mellom inntakstemperaturene 0,002°C, mens for parameteren temperaturer over 23°C ble denne differansen 0,2°C.

Energibesparelsen på tilluften ved redusert ventilasjon og butikktemperatur

For å finne ut hvor stort kjølebehovet er, har man plukket ut en periode i hver ventilasjonsstrategi som har tilnærmet lik inntakstemperatur i en periode med behov for nedkjøling. Dette fordi man ønsker å sammenligne to perioder med like forutsetninger. Det er definert at det er behov for kjøling i denne sammenhengen hvis inntakstemperaturen er høyere enn den kalkulerte tilluftstemperaturen. Differansen mellom butikktemperaturen i Ventilasjonsstrategi 1 og Ventilasjonsstrategi 2 ble også sammenlignet i disse beregningene.

Men ble i disse beregningene utelatt fra Figur 18 da de ikke var signifikant forskjellig fra hverandre.

3.5 Statistiske analyser

Alle statistiske analyser ble utført med bruk av statistikkprogrammet R (R Studio) og Microsoft Office Excel.

En u-paret T-test ble benyttet for å vurdere om det var en signifikant forskjell på to utvalgs gjennomsnitt. Man fikk da en p-verdi som skulle være mindre enn 0,05 eller 0,01 om utvalgene var signifikant forskjellige fra hverandre på et signifikansnivå 95% eller 99%.

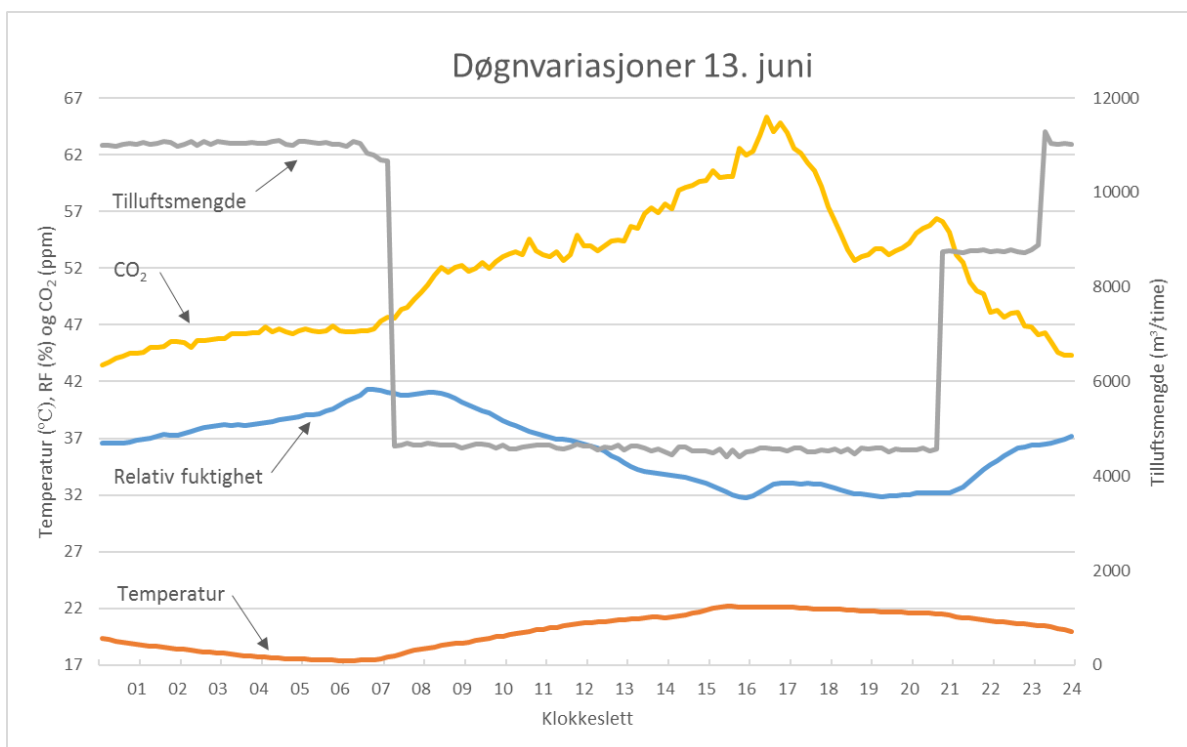
Ved hjelp av multippel lineær regresjon ble det gjort et forsøk på å finne den beste lineære sammenhengen mellom responsen og de ulike forklaringsvariablene. Følgende formel ble benyttet for å finne den beste modellen til å forklare sammenhengen i resultatene: $Y_i = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \epsilon_i$. Her ble en AIC-modell brukt for å velge ut modellen med lavest AIC-score for å sikre enklest mulig modell. I tillegg er R^2 benyttet for å se hvor mye modellen forklarer variasjonene i dataene.

4 Resultater

4.1 Inneklima med redusert ventilasjon

For å kunne si noe om inneklimaet i butikken, har man i denne oppgaven sett på data fra fire variabler; CO₂, relativ fuktighet, temperatur, og tilluftsmengde. Figur 7 viser variasjon for disse fire variablene igjennom et tilfeldig valgt døgn i Ventilasjonsstrategi 2 (13. juni).

Figuren viser at temperaturen og CO₂-nivået går opp utover dagen, mens den relative fuktigheten går ned. Ventilasjonen blir justert ned på dagtid, og opp om natten. Vedlegg 1 viser en oversikt over klimaet på Elverum (nærmeste målestasjon er Disenå) gjennom hele perioden fra 4. mai til 18. juni.

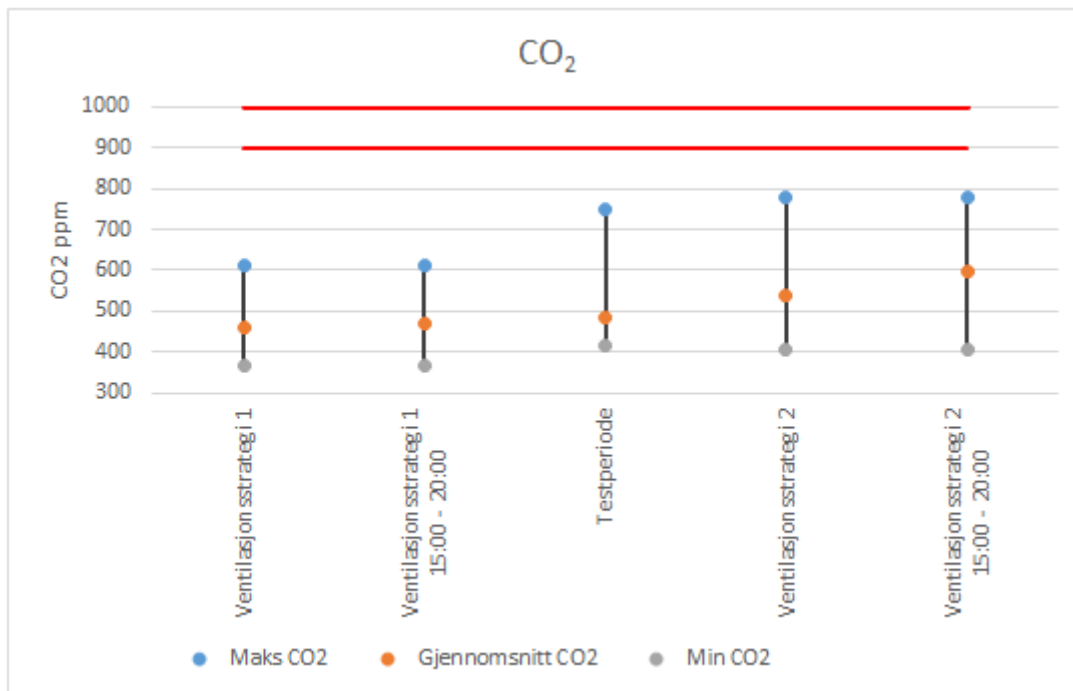


Figur 7: Oversikt over hvordan de fire variablene CO₂, relativ fuktighet, temperatur, og tilluftsmengde endrer seg gjennom et døgn. CO₂ er dividert på 10 for å passe til primæraksen. Korrekte CO₂-verdi framkommer ved å multiplisere verdien på akse med 10.

4.1.1 CO₂-nivået

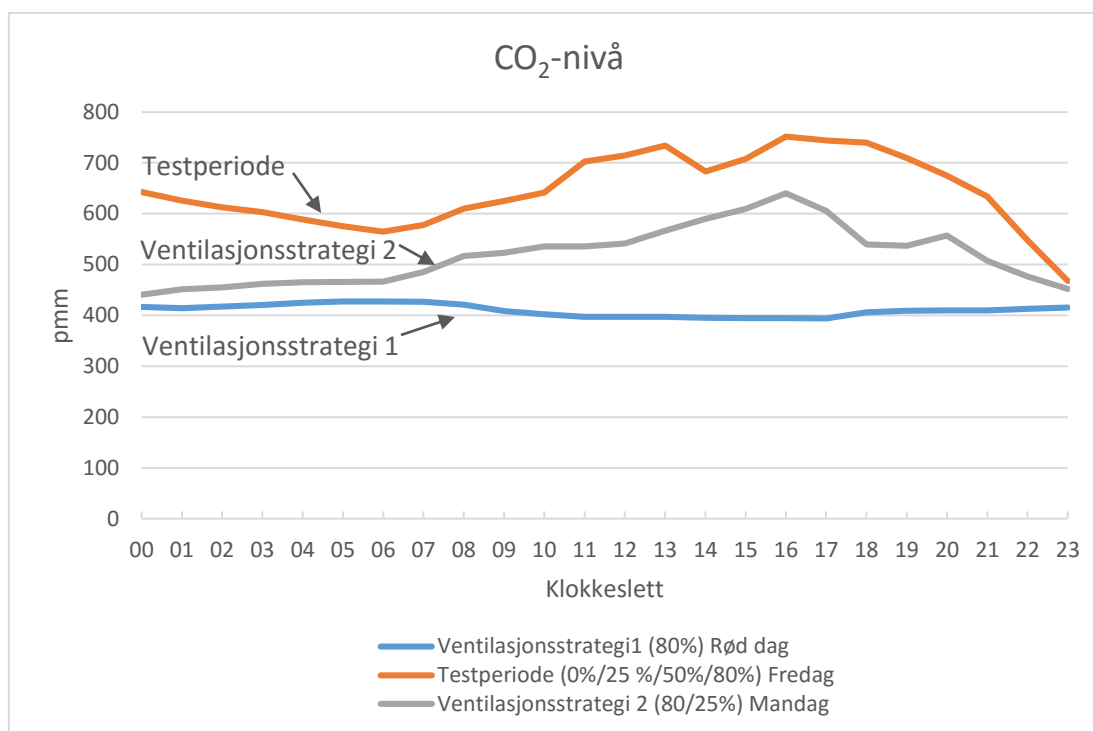
Når det gjelder CO₂-nivået i butikken har gjennomsnittet økt noe ved endring av ventilasjonsstrategi (Figur 8). Det er lagt inn en øvre grense på hva som er godkjent CO₂-nivå i næringsbygg er 1000 ppm. Det er også et krav fra TEK10 om at CO₂-nivået i inneluften ikke skal være mer enn 500 ppm høyere enn CO₂-nivået i uteluften. Hvis vi antar at uteluften inneholder ca. 400 ppm CO₂, vil kravet til inneluften være mindre enn 900 ppm CO₂. Det går

fram av figuren at CO₂-nivået i butikken er godt under denne øvre grensen. Dette gjelder også maks- og min-verdiene. Ventilasjonsstrategi 1 har CO₂-nivået i butikken et gjennomsnitt på 458 ppm når butikken er åpen. I samme periode, men når kundebelastningen er på sitt høyeste mellom 15:00-20:00, er CO₂-nivået på 469 ppm. Under testperioden øker gjennomsnittet til 483 ppm. Ventilasjonsstrategi 2 har et CO₂-nivå med gjennomsnitt på 539 ppm, og med størst kundebelastning i butikken øker gjennomsnittet til 595 ppm CO₂ i luften.



Figur 8: CO₂ i ppm. for de ulike tidsperiodene. Figuren viser maks, min og gjennomsnitt av alle målingene.

Figur 9 viser hvordan CO₂-nivået varierer gjennom et døgn med de to ventilasjonsstrategiene og testperioden. Den blå linja viser en dag uten mennesker i butikken med Ventilasjonsstrategi 1 og 80% pådrag på tilluftsviften. Den oransje linja viser en fredag i testperioden. Her er det ingen ventilasjon om fra midnatt frem til kl. 14:00, da settes den til 25%, kl. 21:50 øker den til 50%, og kl. 23:20 økes den til 80% pådrag på tilluftsviften. Grå linje viser en mandag med 80% pådrag om natten frem til kl. 07:00 da den reduseres til 25%, før den kl. 21:00 på kvelden igjen øker til 80% pådrag på tilluftsviften.



Figur 9: CO₂-nivået igjennom et døgn med varierende ventilasjon og CO₂-belastning.

Det er også kjørt en uparet T-test av ventilasjonen for å se om Ventilasjonsstrategi 2 har en effekt på CO₂-nivået i butikken sammenlignet med Ventilasjonsstrategi 1 (Tabell 3). Begge p-verdiene viser et tall som er så godt som null, og med en signifikanstest på 1%-nivå vil det si at Ventilasjonsstrategi 2 har en effekt på CO₂-nivået i butikken.

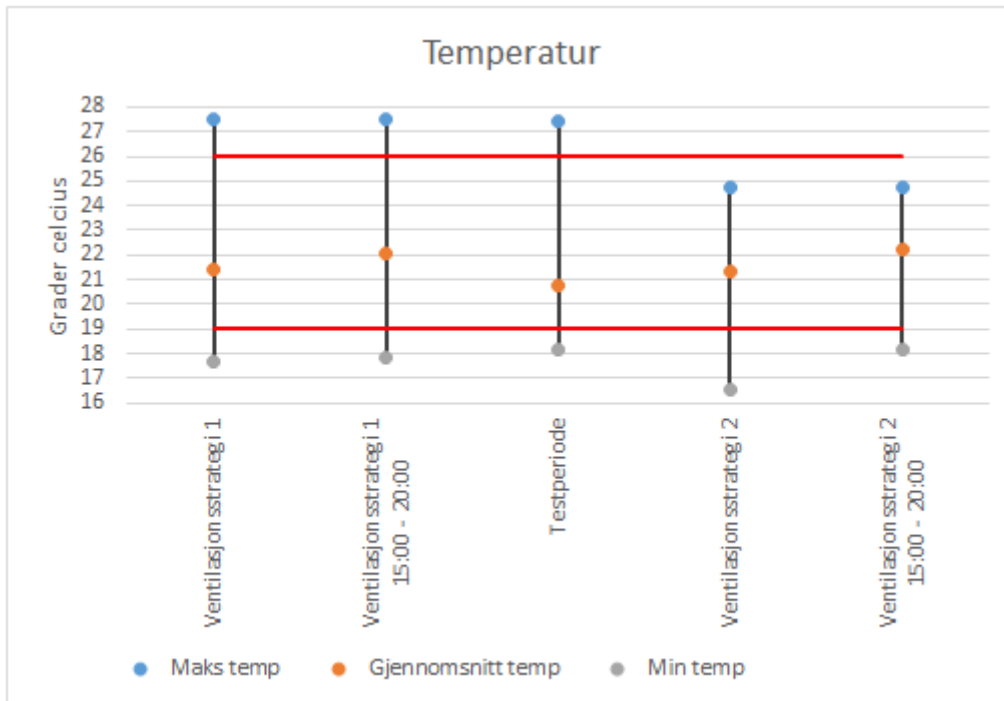
Tabell 3: Uparet T-test av de to ventilasjonsstrategiene.

T-test	Ventilasjonsstrategi 1	Ventilasjonsstrategi 2
Gjennomsnitt	458	539
Varians	925	7541
Observasjoner	5164	2092
p-verdi	9E-280	

4.1.2 Temperatur

Lufttemperaturen i butikken ved de to ventilasjonsstrategiene presenteres i Figur 10. Man kan se i figuren at gjennomsnittlig temperatur ligger på samme nivå uavhengig av ventilasjonsstrategi. De anbefalte grensene for øvre og nedre temperatur blir brutt når

Ventilasjonsstrategi 1 benyttes, mens Ventilasjonsstrategi 2 bare bryter den nedre grensen. I tillegg er utetemperaturen for de to forskjellige ventilasjonsstrategiene regnet ut til å være 15°C for Ventilasjonsstrategi 1 og 18°C for Ventilasjonsstrategi 2, men dette er ikke presentert i figur.



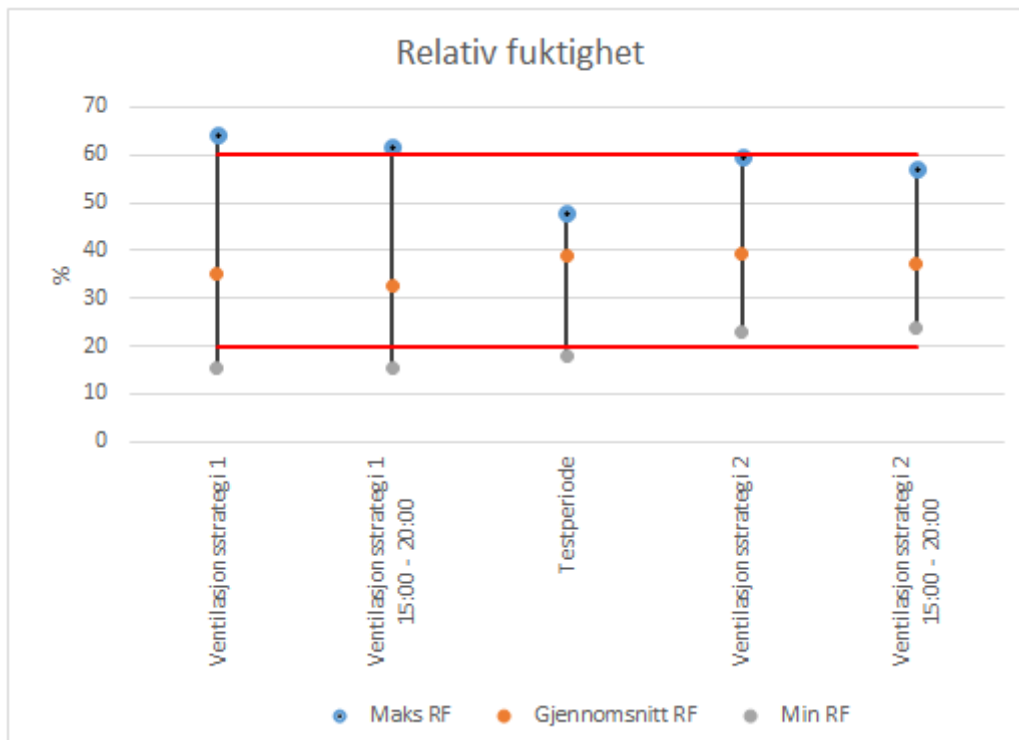
Figur 10: Temperatur grader celsius for de ulike tidsperiodene. Figuren viser maks, min og gjennomsnitt av alle periodene, dessuten er arbeidstilsynets anbefalte øvre og nedre grense lagt inn.

4.1.3 Relativ fuktighet

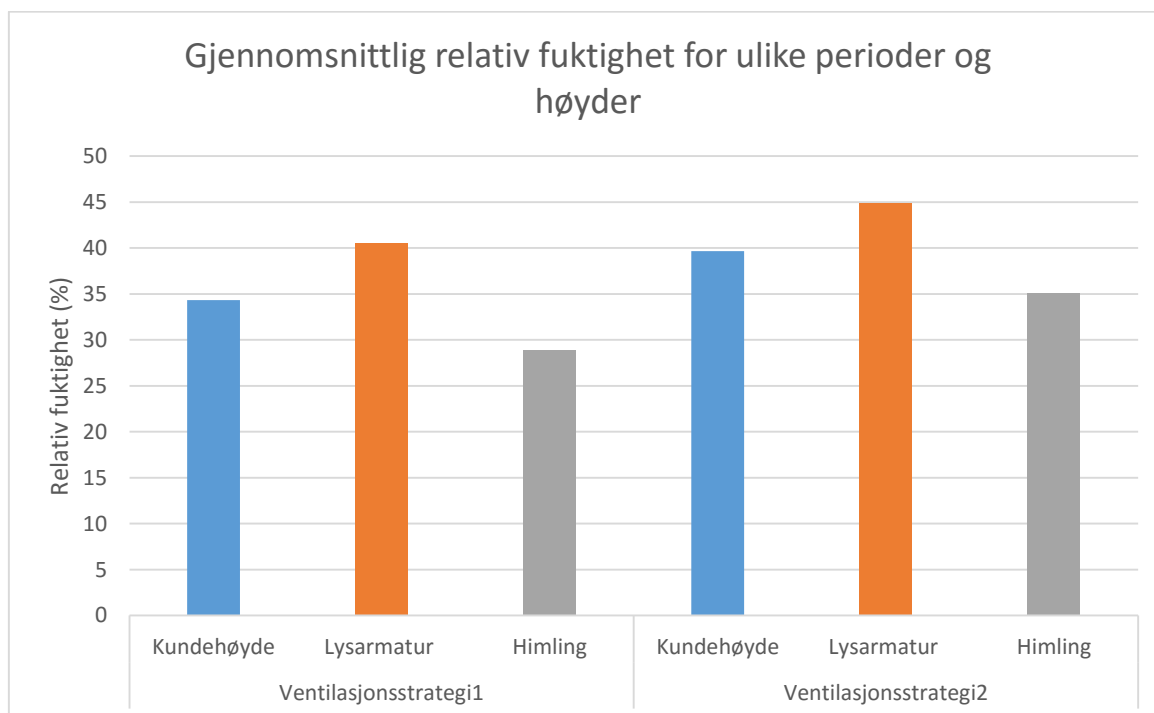
Figur 11 viser den relative fuktigheten i de ulike ventilasjonsstrategiene. For Ventilasjonsstrategi 1 kan man se at maksimums- og minimumsverdiene er høyere og lavere for relativ fuktighet enn for Ventilasjonsstrategi 2. Ventilasjonsstrategi 2 er innenfor den øvre og nedre grensen for hva som er godkjent fuktighet i et næringsbygg (mellom 20% og 60%). Det går også fram av figuren at gjennomsnittet for den relative fuktigheten har gått opp i Ventilasjonsstrategi 2.

På Figur 12 kan man se hvordan den relative fuktigheten varierer med høyden i butikken og ventilasjonsstrategiene. Man ser at de laveste verdiene er oppunder himlingen og at de høyeste verdiene befinner seg i høyde med lysarmaturen som ligger på omtrent 3,5 – 4 meter. I høyde 1,5 til 2 meter der ansatte og kunder befinner seg, ligger den relative fuktigheten omtrent midt imellom verdiene til himling og lysarmatur. Figuren viser også at den relative

fuktigheten har økt, med omtrent 5% for alle høydene, da man endret ventilasjonsstrategi fra 1 til 2.



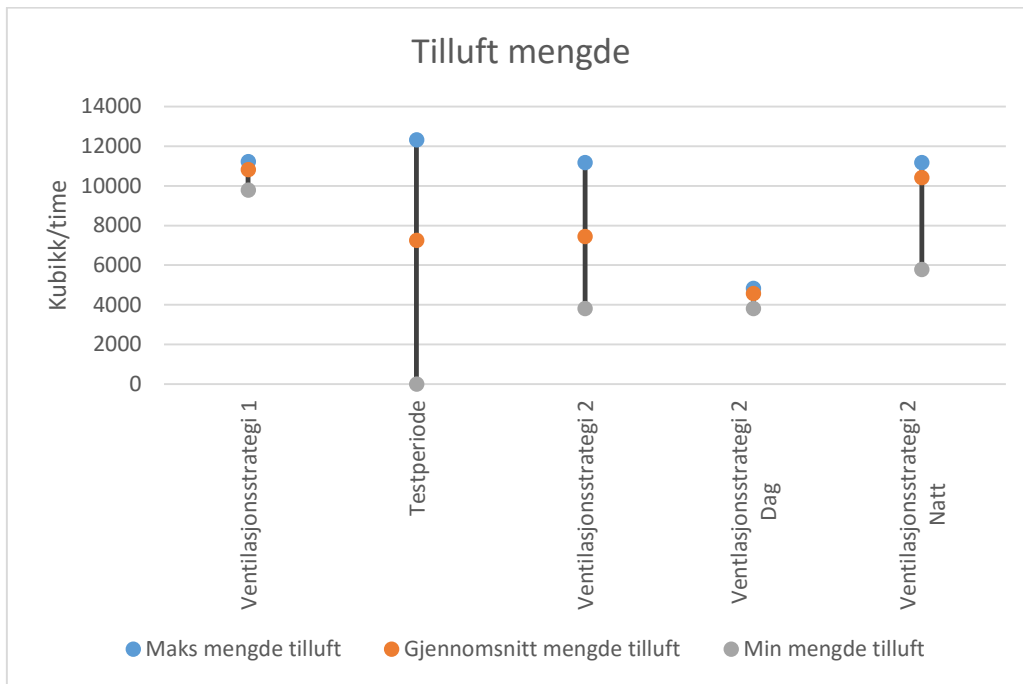
Figur 11: Relativ fuktighet i prosent for de ulike tidsperiodene. Figuren viser maks, min og gjennomsnitt av alle målingene.



Figur 12: Viser hvordan den relative fuktigheten varierer med høyden i butikken og mellom ventilasjonsstrategiene.

4.1.4 Tilluftsmengde

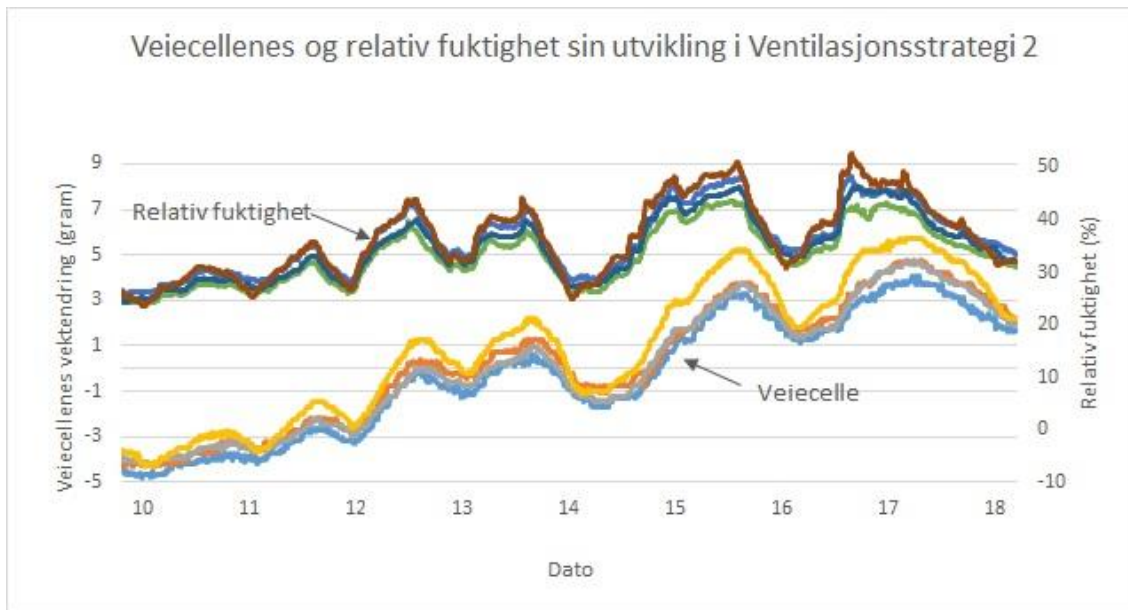
Mengden tilluft i de ulike ventilasjonsstrategiene kan sees i Figur 13. Det går tydelig fram av figuren at store mengder tilluft ble tilført butikken under Ventilasjonsstrategi 1 sammenlignet med Ventilasjonsstrategi 2. Man kan også se at mengden tilluft har vært nede i 0 m³/t i testperioden. Ventilasjonsstrategi 2 er delt opp i dag og natt. Her ser man en tilluftsmengde på omtrent 4500 m³/t på dagtid, mens natten har omtrent 10 000m³/t.



Figur 13: Denne figuren viser mengde tilluft i kubikk per time for de ulike ventilasjonsstrategiene.

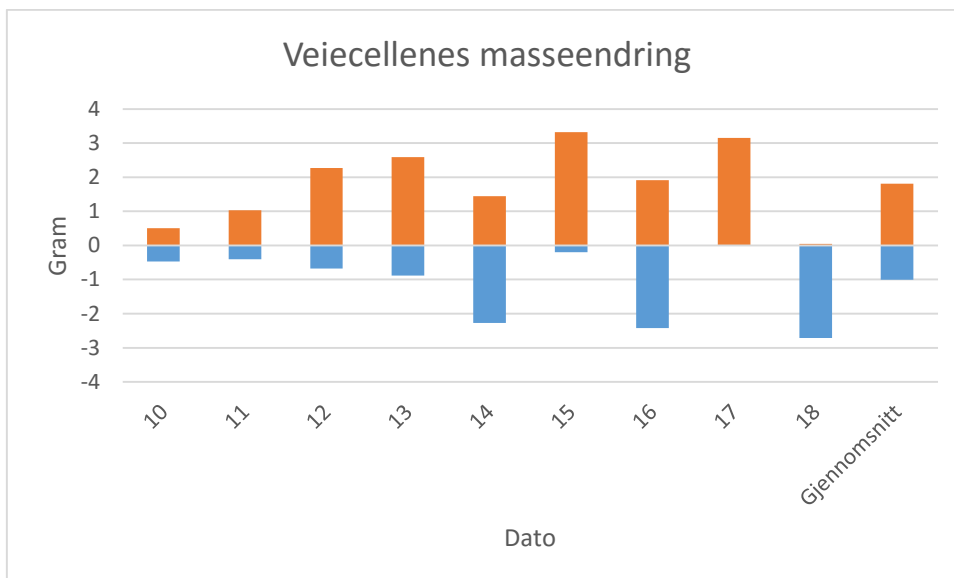
4.2 Fuktbufringens temperaturpåvirkning

Figur 14 viser de fire veiecellenes masseendring og den relative fuktighetsforandringen gjennom åtte dager fra 10. – 18. juni. Masseendringen til veiecellene og den relative fuktigheten varierer gjennom døgnet, og for perioden øker de begge.



Figur 14: Utvikling av veiecellens masseendring og relativ fuktighet gjennom åtte dager fra 10. – 18. juni. Den gule linjen representerer den veiecellen med størst masseendring. Denne befinner seg i kasseområdet med solstråling fra vinduene og den mest konsentrerte personbelastningen.

I Figur 15 kan se gjennomsnittet av masseøkninger og massereduksjoner per døgn i Ventilasjonsstrategi 2. Man kan se at det som finnes en massereduksjon og masseøkning på samme dag bortsett ifra 17.06 og 18.06. Det er regnet ut en gjennomsnittlig massereduksjon på 1 gram per døgn og en gjennomsnittlig masseøkning på 1,8 gram. Dette vil si at det gjennomsnittlig for perioden vil være en kjøleenergi på 4,1 kWh og en varmeenergi på nesten 8kWh. Det vil si at i løpet av Ventilasjonsstrategi 2 som varer i 9 dager har veiecellene økt med omtrent 6,4 gram $((1,8g - 1g) * 8dager \text{ med økning})$ noe som kan bekreftes i figur 14. Dette betyr at det for hele perioden er tilført mer varme ved sorpsjon enn det har gitt kjøling.



Figur 15: Masseøkning (oransje) og massereduksjon (blå) per døgn i Ventilasjonsstrategi 2 vises i gram og man har gjennomsnittet for hele perioden til høyre i figuren.

Det er gjennomført en uparet T-test for å kontrollere om TempDiff i de forskjellige kategoriene er signifikant forskjellig fra hverandre. Og med et signifikansnivå på 95% er VC over 0,02% økning og reduksjon og VC over 0,02% Trend Forskjøvet økning og reduksjon signifikant forskjellige. VC under 0,02% er ikke signifikant forskjellig fra hverandre, her ble også gjennomsnittet av TempDiff det samme for økning og reduksjon som bekrefter dette.

Tabell 4: En uparet T-test er gjennomført for å kontrollere om TempDiff i de forskjellige kategoriene er signifikant forskjellige fra hverandre.

T-test	VC over 0,02% reduksjon	VC over 0,02% økning	VC under 0,02% reduksjon	VC under 0,02% økning	VC over 0,02% Trend Forskjøvet reduksjon	VC over 0,02% Trend Forskjøvet økning
Gjennomsnitt	0,86	0,75	0,89	0,89	1,01	0,76
Varians	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02
Observasjoner	54	52	82	69	24	24
p-verdi	0,00018697307		0,80372672270		0,00000000117	

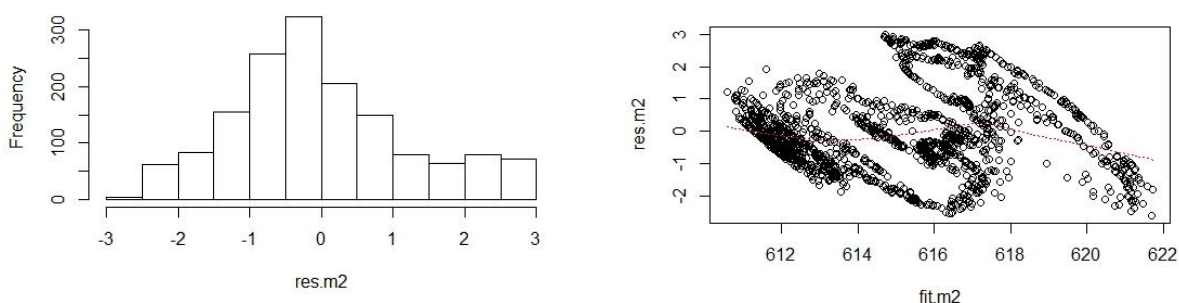
De fire modellene som er beregnet i R vises i en oversikt i Tabell 5. Her kan man se hvilke variabler som inngår i modellen som forklarer veiecellen best. Det framgår av tabellen en R^2 for hver modell som sier noe om hvor mye modellen forklarer av variasjonene i dataene. Det

er modell 1 og 4 som forklarer variasjonene i dataene best med en $R^2=0,818$, men den enkleste modellen er valgt ut (modell 1).

Tabell 5: Oversikt over de fire modellene som er beregnet i R

	Modell	AIC	R^2
Modell 1	VC=RF*Diffsnitt	5022,063	0,818
Modell 2	VC=Diffsnitt	7517,421	0,0790
Modell 3	VC=RF	5502,795	0,7497
Modell 4	VC=RF+Diffsnitt+(RF*Diffsnitt)	5022,063	0,818

Figur 16 viser histogrammet og residualplottet som gir et inntrykk av normaliteten til resultatene predikert av modell 1. Man kan se at resultatene er relativt normalfordelt med en liten skjevhet. Residualplottet viser residualene (differansen mellom de målte og predikerte verdiene) mot de predikerte ved hjelp av den valgte modellen. Alle de 15530 målingene i veicellen er representert med et punkt i residualplottet, og ingen av de estimerte målingene går utenfor -3 og 3. Den røde linjen i residualplottet viser gjennomsnittet, som er tilnærmet lik null. Det er heller ingen tydelige trender i residualplottet.



Figur 16: Histogram og residualplot for modell 1. $R^2=0,818$.

Videre er det regnet på hvor stort energipotensialet er ved de ulike masseendringene til veicellene. Hvor mye energi trevirket faktisk kan gi er veldig usikkert, og Tabell 6 viser et anslag for beregnet energipotensiale. Beregningene er basert på en masseendring på 1, 2, 3, 4 og 5 gram per døgn hos veicellene, fordi dette er masseendringen veicellen omtrent har hatt gjennom et døgn (Figur 14). Man kan altså se at trevirket i butikkens kundeområde kan gi fra seg 4,1 kWh ved veicellens masseendring på 1 gram, og opp til 20,4 kWh ved veicellens masseendring på 5 gram.

Tabell 6: Beregning av energi som følge av fuktbufring i treverk.

Vektendring per døgn (gram)	Areal treklosser (m ²)	Vannopptak per (m ²)	Treareal (m ²)	Vannopptak (gram)	Vann (liter eller kg)	Lagringskapasitet over et døgn (kJ)	Energi (kWh)
1	0,2703	3,7	1604,2	5935,0	5,9	14701,1	4,1
2	0,2703	7,4	1604,2	11870,1	11,9	29402,2	8,2
3	0,2703	11,1	1604,2	17805,1	17,8	44103,2	12,3
4	0,2703	14,8	1604,2	23740,1	23,7	58804,3	16,3
5	0,2703	18,5	1604,2	29675,2	29,7	73505,4	20,4

4.3 Energibesparelse ved redusert ventilasjon

I dette kapittelet er det tatt for seg den reduserte ventilasjonens påvirkning på temperatur og energi. I tillegg er en potensiell energibesparelse for nedkjøling som følge av redusert luftmengde og temperatur, beregnet. Det er kun sett på energibesparelsen knyttet til tilluftsmengdene.

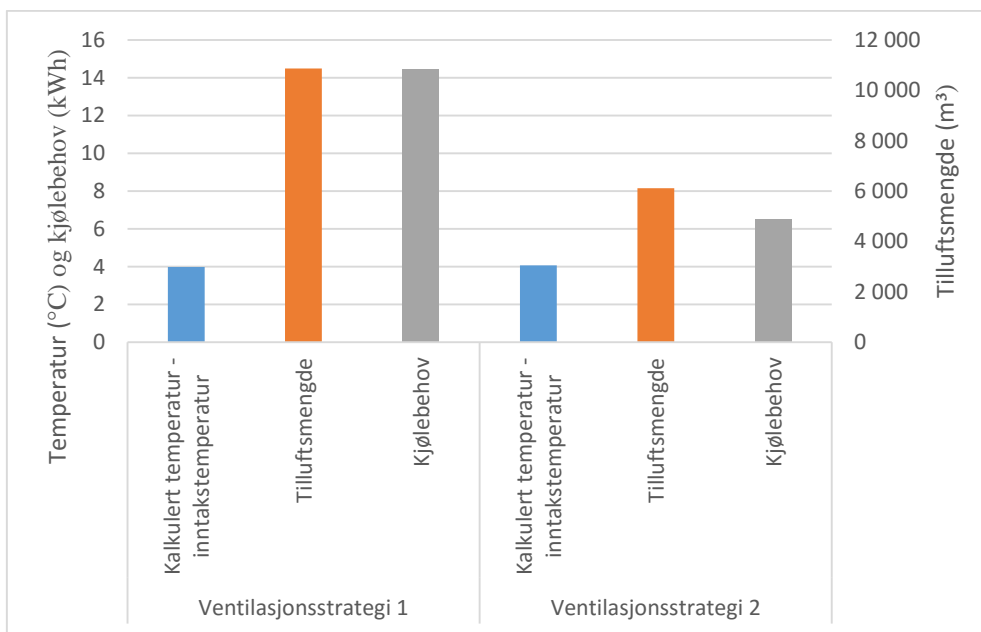
Man kan se effekten av den reduserte ventilasjonen i Tabell 7 ved å se hvordan tilluftsmengden endres mellom ventilasjonsstrategiene. Butikktemperaturen i Ventilasjonsstrategi 1 øker med 1,0°C når den nedre grensen for tilluftens temperatur øker med 2°C. For Ventilasjonsstrategi 2 ble denne forskjellen bare på 0,3°C. For parameteren temperaturer over 21°C er forskjellen mellom ventilasjonsstrategiene for butikktemperatur på 0,5°C, mens for parameteren temperaturer over 23°C får tilsvarende 1,2°C. For parameterne under kategorien kjølebehov for å oppnå 19°C, kan man se at kjølebehovet øker med 4,8 kWh mellom parameterne for temperaturer over 21°C og temperaturer over 23°C for Ventilasjonsstrategi 1, tilsvarende for Ventilasjonsstrategi 2 er denne forskjellen på 1,8kWh. Da man sammenlignet kjølebehovet for å oppnå 19°C mellom ventilasjonsstrategiene fant man for parameteren temperaturer over 21°C at kjølebehovet sank med 7,3 kWh mens for parameteren temperaturer over 23°C sank den tilsvarende med 10,3 kWh. Dette tilsvarer en reduksjon i kjølebehov på 58 og 59%.

Tabell 7: Viser hvordan den gjennomsnittlige tilluftsmengden, butikktemperaturen og kjølebehovet for å oppnå 19°C varierer mellom parameterne temperaturer over 21°C og temperaturer over 23°C og mellom ventilasjonsstrategiene 1 og 2.

	Tilluftsmengde (m ³)		Butikktemperatur (°C)		Kjølebehov for å oppnå 19 °C (kWh)	
	Strategi 1	Strategi 2	Strategi 1	Strategi 2	Strategi 1	Strategi 2
Ventilasjon						
Temperaturer over 21°C	10873	4502	23,1	22,6	12,6	5,3
Temperaturer over 23°C	10706	4504	24,1	22,9	17,4	7,1

Redusering av temperaturen vil føre til et større kjølebehov og mindre oppvarmingsbehov. Det er i denne oppgaven fokusert på kjøling, og oppvarmingsbehovet er ikke blitt undersøkt. Man vil for perioder som krever oppvarming over 19°C få en energibesparelse på 2°C som vil tilsvare 1,05 kWh per 1000 m³ tilluft. Siden oppvarmingsbehovet stort sett er tilstede nattes tid i sommerhalvåret, vil man ikke få noen energibesparelse som skyldes tilluftsmengden, fordi den er konstant i begge ventilasjonsstrategiene. Man vil få en energibesparelse på reduksjonen av butikktemperaturen på natten, og denne vil grovt sett være på 7,6 kWh ved oppvarmingsbehov over 21°C (10800 m³ * 0,35 Wh/m³K * 2K).

Det er et gjennomsnittlig kjølebehov for Ventilasjonsstrategi 1 på 14,4 kWh. Tilsvarende for Ventilasjonsstrategi 2 er denne 6,5 kWh (Figur 17). Dette er bestemt ut ifra tilluftsmengden som reduseres fra omtrent 11 000 til 6000 m³/t, og differansen mellom kalkulert inntakstemperatur og inntakstemperaturen som er antall grader inntaksluften må kjøles for å oppnå ønsket temperatur. Den er i figuren justert for å få et likt sammenligningsgrunnlag for kjølebehovet.



Figur 17: De blå søylene viser en oversikt over differansen mellom kalkulert temperatur og inntakstemperaturen som er antall grader inntaksluften må kjøles for å oppnå ønsket temperatur. Den er i den figuren justert for å få et likt sammenligningsgrunnlag for kjølebehovet. De oransje søylene tilsvarer tilluftsmengden, mens de grå viser kjølebehovet.

5 Diskusjon

Problemstillingen i denne oppgaven besto av tre spørsmål, diskusjonen er derfor delt inn i tre delkapitler som hver tar for seg hvert av de tre spørsmålene. Det første kapittelet diskuterer ut fra de målte parameterne om inneklimate fortsatt er tilfredsstillende etter redusert ventilasjon. Deretter blir det diskutert om man kan påvise temperaturforandringer mellom ventilasjonsstrategiene som følge av fuktbufferingens sorpsjonsvarme. Til slutt blir energieffekten av redusert ventilasjon for bygget diskutert.

5.1 Inneklimate ved redusert ventilasjon

For å kartlegge hvordan inneklimate og spesielt luftkvaliteten endrer seg ved redusert ventilasjon, kreves det at man måler en rekke faktorer. Denne oppgavens omfang og økonomiske rammer har ikke gitt mulighet for å registrere og måle alle variablene som bidrar til å forklare inneklimateets kvalitet. De variablene som oppgaven har målt er: CO₂, temperatur, relativ fuktighet og tilluftsmengde.

5.1.1 CO₂

I dette kapittelet blir det diskutert om CO₂-nivået som er funnet i de to ventilasjonsstrategiene tilfredsstiller kravene som stilles for å opprettholde et godt inneklimate. Ved å endre ventilasjonsstrategi øker CO₂-nivået i butikken med 80 ppm, fra 460 til 540 ppm i gjennomsnitt. Det er gjort en uparet T-test for å kontrollere om forskjellen i gjennomsnittet er tilfeldig eller ikke (Tabell 2). Som et resultat av T-testen får man en p-verdi som skal være lavere enn en grenseverdi, for å kunne bekrefte at forskjellen mellom datasettene ikke er tilfeldig ved et bestemt signifikansnivå. CO₂-nivåene i denne oppgaven er signifikant forskjellig med et signifikansnivå på 1%. Man ser at ved å redusere luftmengden vil CO₂-nivået stige, men hvor mye CO₂-nivået stiger avhenger av flere parametere.

Folkehelseinstituttet har satt et øvre krav for CO₂-nivå til å være 1000 ppm, som er beskrevet i deres rapport om «Anbefalte faglige normer for inneklimate» (Folkehelseinstituttet 2015). Det er også som nevnt tidligere et krav om maksimum 500 ppm høyere CO₂-verdi enn CO₂-nivået i uteluften (TEK10). CO₂-nivået i tilluften er avgjørende for hvor lave verdier man kan oppnå inne i bygget, og for hvor høy ventilasjonen må være for å oppnå ønsket CO₂-nivå. For Kiwi Fjeldset er det nærliggende å anta at CO₂-nivået på tilluften ligger i gjennomsnitt rundt 400

ppm på grunn av lav CO₂-forurensing i området. Dette sannsynliggjør resultatene med minimumsverdier på under 400 ppm (Figur 8) og blå linje i Figur 9 som viser CO₂-nivået i butikken en dag den er stengt. Den høyeste CO₂-verdien som er registret i hele perioden er i Ventilasjonsstrategi 2, og denne er på nesten 800 ppm. Dette bekrefter at perioden som er undersøkt i denne oppgaven har et CO₂-nivå som ligger godt innenfor det strengeste kravet på 900 ppm. Dette resultatet er med på å bekrefte at det ikke er behov for den høye ventilasjonen i Ventilasjonsstrategi 1 med hensyn til CO₂-nivået. Dette forutsetter at ingen av parameterne endrer seg slik at de påvirker CO₂-nivået nevneverdig.

Økende ventilasjon fører til at CO₂-nivået nærmer seg samme nivå som tilluften. Dette vil i motsatt tilfelle, ved redusert ventilasjon, gi et økende CO₂-nivå hvis det finnes CO₂-tilførsel. I Figur 9 kan man se hvordan økende ventilasjon reduserer CO₂-nivået. Klokken 13:00 på fredag i testperioden går pådraget til ventilasjonsviften fra 0% til 25%. Dette fører til at CO₂-nivået synker selv om belastningen med stor sannsynlighet øker i denne perioden etter klokken 13:00. For tilsvarende tidsperiode med Ventilasjonsstrategi 2 øker CO₂-nivået.

En av de mest avgjørende faktorene for hvor fort og hvor høyt CO₂-nivået stiger er CO₂-tilførselen inne i bygget. Generelt sett er celleånding for levende organismer og forbrenning av organiske materialer de kildene som gir størst tilførsel av CO₂. For Kiwi Fjeldset er det i denne oppgaven antatt at mennesket er den største og mest utslagsgivende CO₂-kilden. Noe som kan bekreftes ved høye CO₂-nivåer når det er mye folk i butikken, og motsatt ingen signifikante utslag i CO₂-nivå på dager når butikken er stengt. På Figur 9 kan man se at de høyeste CO₂-nivåene finnes på ettermiddagen når folk er ferdige på jobb og ønsker å handle mat, og motsatt er det en flat linje når butikken er stengt.

En faktor som i liten grad bestemmer CO₂-nivået, men som er med på å påvirke hvor fort endringene i CO₂-nivået skjer er luftvolumet inne i lokalet. På Kiwi Fjeldset er det omtrent 6 meter mellom gulv og himling, og omtrent 840 m² gulvareal. Dette gir et stort luftvolum per person i butikken, og det tar lang tid å endre CO₂-nivået. Siden det ikke er noen CO₂-belastning om natten vil man derfor kunne bruke denne perioden til å kvitte seg med eventuelle høye konsentrasjoner av CO₂ som har bygget seg opp gjennom dagen. Dette kan man se på resultatene om morgenen da det alltid er registrert lave CO₂-nivåer (Figur 9).

5.1.2 Temperatur

Temperaturen inne i bygget har variert gjennom døgnet (Figur 7), og igjennom forsøksperioden (Figur 10). Den høyeste verdien var på 27,5°C, den laveste var på 16,6°C og gjennomsnittet var på 21,4°C for alle åpningstidene butikken har hatt i hele forsøksperioden. Gjennomsnittstemperaturen fra Ventilasjonsstrategi 1 til Ventilasjonsstrategi 2 har ikke forandret seg i forsøksperioden.

Kravene for at man skal finne termisk velbehag om sommeren er mellom 23-26°C ifølge NS-EN ISO 7730:2005, men faktorer som bekledning og aktivitetsnivå spiller også inn på dette termiske velbehaget. Arbeidstilsynet anbefaler at temperaturen bør ligge mellom 19 og 26°C, og at temperaturer over 22°C bør unngås ved lett arbeid innendørs i perioder med oppvarmingsbehov (Arbeidstilsynet). Tek10 sine krav tar også hensyn til aktivitetsnivå, og enkelte av arbeidsoppgavene de ansatte på Kiwi har passer inn i kategorien middels aktivitetsnivå, men for det meste synes det som om lett aktivitetsnivå er det mest riktige både for ansatte og kunder på Kiwi Fjeldset. Da blir også kravene fra TEK10 de samme som anbefalingene fra Arbeidstilsynet. Denne oppgaven har satt komforttemperaturen i butikken mellom 18 og 22°C. Dette er gjort etter samtaler med og ønsker fra de ansatte i butikken. I Vedlegg 2 kan man også se et krav fra Kiwi som er strengere enn Arbeidstilsynets og TEK10s anbefalinger for den øvre temperaturgrensen. Med dette kravet ser man at den øvre grensen brytes i begge ventilasjonsstrategier (Figur 10). Man kan se at temperaturene for Kiwi Fjeldset ikke tilfredsstiller anbefalingene fra Arbeidstilsynet eller NS-EN ISO 7730:2005, hverken for høye eller lave temperaturer for Ventilasjonsstrategi 1, mens for Ventilasjonsstrategi 2 er det bare den nedre grensen som brytes. Årsaken til at temperaturen faller under minstekravet i Ventilasjonsstrategi 2 skyldes at Set-temperaturen er satt til 16°C om natten for å øke den relative fuktigheten. Dette fører til at temperaturen om morgenen kan være lav, men kan lett unngås ved å øke pådraget på varmegjenvinneren eller kondensatorvarmebatteriene. Det er ikke gjort, fordi varmen om dagen påfører et større ubehag enn den lave temperaturen om morgenen. Årsaken til at temperaturen blir for høy, er et større varmetilskudd enn det er kjøling fra ulike kilder i butikken. Man kan se ut i fra resultatene at temperaturen ikke tilfredsstiller Kiwi sine krav, men at det for Ventilasjonsstrategi 2 ikke blir verre.

Gjennomsnittstemperaturen forandret seg ikke i Ventilasjonsstrategi 2 i forhold til Ventilasjonsstrategi 1. Et delmål var å styre ventilasjonssystemet til å senke temperaturen i butikken, men den forandret seg ikke. Dette kan skyldes at utetemperaturen i gjennomsnitt var

over 2°C høyere i perioden med Ventilasjonsstrategi 2 enn i Ventilasjonsstrategi 1. Flere betraktninger om kjølingen man forventer fra trevirket i butikken kommer i kapittel 5.2. Det kommer også noen betraktninger om effekten av redusert ventilasjon og dens påvirkning på temperatur i kapittel 5.3.

5.1.3 Relativ fuktighet

Den relative fuktigheten varierer gjennom døgnet, og har en minimumsverdi på 15,2 og en maksimumsverdi på 64,5 for hele undersøkelsesperioden fra 4 mai til 18 juni. (Figur 7 og 11). Krav til relativ fuktighet som er satt i denne oppgaven skal være mellom 20 og 60%. Det går fram av resultatene at den relative fuktigheten ligger utenfor området som er anbefalt for Ventilasjonsstrategi 1 (Figur 11). For Ventilasjonsstrategi 2 ligger fuktigheten innenfor verdiene som er anbefalt. Det er vurdert hvordan den relative fuktigheten varierer i ulike høyder i butikken og mellom ventilasjonsstrategiene. Den relative fuktigheten økte i gjennomsnitt alle stedene med omtrent 5% da ventilasjonsstrategien ble endret. Det er lavest fuktighet i himlingen. Deretter kommer relativ fuktighet i kundehøyde, og tilslutt den relative fuktigheten ved lysarmaturen.

Når ventilasjonen ble redusert om dagen, men fortsatt holdt høy om natten, tyder resultatene på at dette ga et bedre inn klima med tanke på relativ fuktighet. Det er flere faktorer som påvirker dette resultatet. Ved høy ventilasjon har den relative fuktigheten i tilluften stor betydning for hva den relative fuktigheten blir innendørs. For Ventilasjonsstrategi 2 ble den relative fuktigheten målt i 10 døgn, mens for Ventilasjonsstrategi 1 ble den målt i 26 døgn, dette øker sannsynligheten for høyere maksimalverdier og lavere minimumsverdier på grunn av et større utvalg. Ved endring til Ventilasjonsstrategi 2 ble også de ulike verdiene kontrollert flere ganger daglig slik at man kunne justere på temperatur og pådrag på ventilasjonsviftene. Dette ble i et tilfelle gjort da den relative fuktigheten passerte 58%. Da ble temperaturen i butikken hevet med 1°C fra 18 til 19°C, slik at den relative fuktigheten holdt seg under 60%. Den høyest verdien som ble målt i ventilasjonsstrategi 2 var på 59,5%. Grunnen til at man holdt seg innenfor grensene i Ventilasjonsstrategi 2 og ikke i Ventilasjonsstrategi 1, er at verdiene i Ventilasjonsstrategi 1 ble målt utenfor den nedre anbefalte grensen på 20% skyldes at i perioder med tørr luft om dagen og når dette er kombinert høy ventilasjon bidro til raskere uttørking av bygget enn den lave ventilasjonen i Ventilasjonsstrategi 2. Når det gjelder den øvre grensen for relativ fuktighet er det vanskeligere å komme med noen sikre antagelser, men en kombinasjon av mindre utvalg data,

bedre kontroll og oppfølging av den relative fuktigheten kan det være rimelige å anta hadde betydning for dette resultatet.

5.1.4 Tilluftsmengde

Den viktigste forskjellen mellom Ventilasjonsstrategi 1 og Ventilasjonsstrategi 2 er mengden tilluft. Dette kommer klart frem i Figur 13, da gjennomsnittlig tilluftsmengde gikk fra 10 800 til 7400 m³/t. NS 3701:2012 krever at det leveres 14400 m³/t, men differansen mellom 14400 og 10800 m³/t som ventilasjonen ga ved 80% pådrag på ventilasjonsviften har ikke blitt undersøkt, men luftmengden i avtrekket ligger på omtrent 21000 m³/t ved Ventilasjonsstrategi 1. Dermed antas det i denne oppgaven at det blir tilført nok friskluft selv om dette ikke vises på tilluftsmengden.

Det er kjent at høy luftmengde er positivt for de fleste helsemessige aspektene for mennesket så lenge temperatur, luftfuktighet og lufthastighet ikke øker for mye. Dette fordi høy luftmengde fører til et høyt luftskifte og dermed blir luft med høy konsentrasjon av forurensning byttet ut med luft med lavere konsentrasjon av forurensning. Ulempen med høy ventilasjon er at det er kostbart, men kostnader skal ikke gå på bekostning av et godt innneklima.

Ventilasjonsanlegget er dimensjonert etter NS 3701:2012, som for dette bygget gir det strengeste kravet til innneklima. et er beregnet at 11 m³/(m² t) skal gi tilfredsstillende luftkvalitet for en person per 4 m² i lokalet for NS3701:2012. Kiwi Fjeldset er på 840 m² og dette vil utgjøre 210 mennesker i butikken samtidig. Dette er en veldig høy belastning for en matbutikk, og det vil sjelden eller aldri komme opp i dette antallet. Dermed er det naturlig at man bør vurdere om det aktuelle ventilasjonsanlegget i butikken er tilpasset effektbehovet. Som nevnt i innledning blir ofte effektbehovet overvurdert mer enn nødvendig på grunn av en usikkerhet som kommer av en manglende beregnings- og analysemetode for å finne de riktige forutsetningene (Alsén 2016). På Kiwi Fjeldset kan man anta ut i fra resultatene i foreliggende oppgave at også her er ventilasjonsanlegget noe overdimensjonert med tanke på kapasiteten. Det er også en usikkerhet for hvilken standard man skal bruke for å beregne et slikt effektbehov. I denne oppgaven er det valgt å bruke TEK10 sine krav som har en lavere tilluftsmengde.

En annen parameter som har betydning for Kiwi Fjeldset er stor takhøyde som forhindrer luftkvaliteten å variere like mye som for forretningslokaler med mindre luftvolum. Dette

muliggjør evnen til å lagre forurensning i lokalet uten at den øker til kritiske verdier om dagen, for slik at de kan fjernes om natten når man ønsker å få inn fuktig luft i sommerhalvåret med behov for kjøling.

5.2 Fuktbufringens temperaturendring

Fuktbufring i trevirket (Tabell 6) viser at man kan spare opptil 20,4 kWh i kjøling avhengig av utvekslingen av fuktighet mellom trevirket og romluften. Treklossene i forøket skulle brukes for å påvise en slik sammenheng. Denne faseovergangen der energi blir avgitt og tatt opp er kjente fysiske egenskaper. I faseovergangen for vann mellom væske og gass, brukes eller frigis det 2477 kJ/ kg. Det som derimot er ukjent er om man kan påvise om denne fuktighetsvariasjonen gjelder for alt trevirke i butikken, og hvor stor betydning den da vil ha for butikktemperaturen. Derfor vil temperaturpåvirkning som skyldes fuktighetsendringen til trevirket være like mye en metodetesting som et ordinært numerisk forsøk. Resten av dette delkapittelet skal derfor omhandle mulighetene for å påvise en slik temperatureffekt. Videre skal det diskuteres om metoden som er brukt i dette forsøket har vært hensiktsmessig for å påvise denne effekten.

5.2.1 Veiecellenes masseendring

Som skrevet i teorikapittelet, vil opptak og avgivelse av fuktighet i porøse materialer føre til at man kan utnytte den latente energien som finnes i forbindelse med faseovergangene mellom damp og væske til fuktigheten i luften. Derfor er det ønskelig å finne masseendringen til trevirket i butikken slik at man kan finne energilagringspotensialet. Denne oppgaven har funnet at den totale masseendringen til treklossene i Ventilasjonsstrategi 2 er mellom 1,0 og 4,3 gram i døgnet (Figur 15). Man kan også se at 81,8% av variasjonen til veiecellene kan forklares ut i fra en modell med relativ fuktighet og differansen mellom tilluftstemperaturen og lufttemperaturen inne i bygget (Tabell 5). I Figur 15 ser man et gjennomsnittet av masseøkninger og massereduksjoner per døgn i Ventilasjonsstrategi 2. Det er alle dager både en massereduksjon og masseøkning bortsett fra 17.06 og 18.06. Hvis man ser i vedlegg 1, Værdata Elverum, vil man finne at 17.06 var en dag med høy luftfuktighet og litt regn, dette forklarer at det denne dagen kun var en masseøkning. For 18.06 ble den relative luftfuktigheten redusert i forhold til 17.06 og dette har ført til en massereduksjon. Det var også denne dagen som forsøket ble avsluttet, og man har derfor ikke fått noen masseøkning på

kvelden. For disse to dagene kan man se at man har en masseendring på omtrent 3 gram, som fører til en varmemengde og kjølemengde disse dagene på omtrent 12,3kWh. For dager med både masseøkning og massereduksjon vil man som regel få en massereduksjon på dagen siden det er varmt og ofte lav relativ fuktighet og trevirket tørkes derfor ut. For natten vil man som regel få en masseøkning siden man da øker den relative fuktigheten i luften. Dette gjøres ved høy ventilasjon og lavere butikktemperatur.

Det at den relative fuktigheten forklarer så mye som 81,1% av masseendringen til treklossene er forventet. Relativ fuktighet er den mest avgjørende faktoren for når det oppstår likevekt mellom fuktigheten og trevirket. At sammenhengen ikke var større enn 75% mellom relativ fuktighet og veiecellene kan skyldes at småendringer i relativ fuktighet ikke vil gjøre noe utslag på veiecellen (Tabell 5). På grunn av en målenøyaktighet på 0,5 gram kreves det at den relative fuktigheten forandrer seg i en lengre tidsperiode slik at fuktigheten i luften får tid til å adsorberes og absorberes i trevirket. Man kan beskrive ytterligere nesten 7% av variasjonen ved å tilføre parameteren Diffsnitt (Tabell 5). Utgangspunktet for at denne parameteren ble brukt til å beskrive variasjonen til veiecellene, var for å finne ut at når det var en betydelig masseendring i prøven ville det bli påvist ved at Diffsnitt endret seg signifikant. Dette fordi temperaturen økte eller ble redusert på overflater på grunn av sorpsjonsvarme som gjorde at differansen til romlufttemperaturen endret seg. Om disse 7% faktisk skyldes denne effekten eller andre tilfeldigheter, som at det alltid er benyttet varmegjenvinner om natten, kan ikke sies noe om i denne oppgaven. Det kan bare gjøres antagelse om at det kan være en slik effekt, men man kan ikke bekrefte dette med sikkerhet ut ifra disse statistiske betraktningene.

Det ble forutsatt at trearealet i butikken hadde en tilnærmet lik fuktighetsendring som treklossene i forsøket. Undersøkelser burde vært gjort for å avdekke om dette faktisk stemte. En annen forutsetning som ble gjort i denne oppgaven var at om treklossene hadde en masseendring, så ville dette skyldes at de tok opp eller avga fuktighet til den omkringliggende luften. Det skal også nevnes at den største masseendringen til treklossene var på totalt 4,3 gram, men man har likevel i Tabell 5 benyttet en masseendring på 5 gram. Dette fordi masseendringen til treklossene er hentet fra et datasett som streker seg over 8 dager, som er et lite utvalg. Det er dermed stor sannsynlighet for at man ikke har truffet en periode hvor minimum og maksimum masseendring befant seg.

5.2.2 Temperaturdifferansens reaksjon på veiecellens masseendring

Det er funnet at differansen mellom VC over 0,02% reduksjon og VC over 0,02% økning er på 0,11°C for TempDiff (Tabell 4). VC under 0,02% reduksjon og VC under 0,02% økning har ikke en signifikant forskjell for tilhørende TempDiff. Når det gjelder VC over 0,02% Trend Forskjøvet reduksjon og VC over 0,02% Trend Forskjøvet økning gir disse en differanse på 0,25°C for TempDiff.

Tidligere forsøk utført av Nore et al. (2014) med to treprøver hvor den ene var pakket inn i damptett folie og den andre var ubehandlet og åpen for fuktighetsforandring. Begge prøvene ble utsatt for en relativ fuktighet som økte fra 20% til 90%. Det ble da funnet en temperaturøkning 2,4°C etter 500 sekunder på treklossen som var ubehandlet, mens treklossen som var innpakket i en damptett folie bare hadde en temperaturøkning på 1,1 °C. Det er ikke direkte overførbart å sammenligne forsøket Nore et al. (2014) med data fra denne oppgaven, da det ikke er like store variasjoner i relativ fuktighet. Denne foreliggende oppgaven har heller ingen damptett overflate å sammenligne med, men en lufttemperatur i rommet. Men det er også i denne oppgaven funnet at det er en signifikant forskjell mellom temperaturdifferansen på masseøkning og massereduksjon. Selv om forskjellen her bare er på 0,25°C, vil man likevel kunne anta og forvente at energiutvekslingen er betydelig på grunn av et stort treareal.

5.2.3 Sammenligning mellom teoretisk kjøleenergi og tilluftens kjølebehov

Det skal i dette kapitlet sees på et scenario der man sammenligner størrelsesforholdene mellom kjølebehovet for tilluften og kjøleenergien som avgis fra faseendringen.

Tabell 6 viser at det kan beregnes et teoretisk energioverskudd fra faseendringen mellom væske og gass i størrelse fra 4,1 kWh til 20,4 kWh for Ventilasjonsstrategi 2. Den gjennomsnittlige massereduksjonen er 1 gram for Ventilasjonsstrategi 2, og dette tilsvarer en kjølemengde på 4,1 kWh. Det er et kjølebehov på tilluften på 6,5 kWh (Figur 17). Det som er ukjent er hvor stort kjølebehov det er for at andre varmetilførsler ikke skal øke temperaturen i butikken. Det er nærliggende å anta at varm tilluft er en av de største varmekildene i butikken. Av det følger at den totale varmetilførselen til butikken ikke er større enn to ganger tilluften. Det gir et samlet kjølebehov på 19,5 kWh, men det kan antas at dette estimatet er høyere enn det reelle behovet.

Følgende betraktninger av størrelsesforholdet mellom kjølemengden som avgis og kjølebehovet kan gjøres ($4,1\text{kWh}/19,5\text{kWh} = 21\%$). Dette er den minste andelen man kan tenke seg at kjølemengden utgjør av kjølebehovet til butikken, forutsatt at kjølemengden er riktig. Siden kjølemengden utgjør minst 21% av kjølebehovet er det grunn til å tro at dette burde vises på temperaturen i butikken, og at de ønskede temperaturene i stor grad oppnås, bortsett fra de dagene varmebehovet er ekstra stort uten at kjølemengden øker tilsvarende.

Det kan delvis bekreftes ut fra resultatene at luften i butikken i stor grad oppnår den ønskede temperaturen (Figur 10). Det er i Figur 10 vist at gjennomsnittstemperaturen for hele perioden med Ventilasjonsstrategi 2 var 21°C på dagtid. Problemet med dette gjennomsnittet er at det ikke forteller noe om spredningen. Det er diskutert i kapittel 5.2.2 om det kan finnes en temperatureffekt ut ifra sorpsjonsvarmen. Konklusjonen var at det hadde en signifikant betydning på TempDiff mellom parameterne VC over 0,02% økning og VC over 0,02% reduksjon. Denne forskjellen var $0,11^{\circ}\text{C}$, noe som ikke er en stor forskjell, men siden treoverflaten i butikken er stor, vil summen likevel antas å bli betydningsfull. Det at man ikke klarer å finne større temperaturforskjeller når veiecellene har signifikante masseendringer, kan skyldes flere forskjellige faktorer.

Oppgaven antok at resten av trearealet i bygget hadde samme luftbufring som treklossene, men dette kan ha vært en litt for optimistisk tilnærming. Dette fordi treklossene henger fritt og kommer derfor høyst sannsynlig lettere i kontakt med romluften enn himling og vegger. Fagverket som stikker ned i butikken bør ha like stor masseendring som treklossene, men dette overflatearealet utgjør ikke så mye som overflatearealet av tak og vegger.

Man kan dermed ikke hverken bekrefte eller avkrefte om dette størrelsesforholdet mellom kjølebehovet og kjølemengden har betydning for temperaturen fordi det er for mange ukjente parametere både for kjølebehovet og kjølemengden.

5.3 Energibesparelse ved redusert ventilasjon

I dette kapitlet skal det drøftes hvor stor påvirkning energibesparelsen ved redusert ventilasjon har på temperaturen og hvor stor energibesparelsen vil bli som følge av dette.

Det ble for dataene i Figur 17 ikke funnet noen signifikant forskjell på butikktemperaturene i ventilasjonsstrategi 1 og 2 derfor ble den heller ikke tatt med i figuren. Resultatene i Tabell 7 viser at når man plukker ut perioder som har relativt stort behov for kjøling, får man

signifikante forskjeller mellom ventilasjonsstrategiene. For parameteren temperaturer over 21°C er forskjellen mellom ventilasjonsstrategiene for butikktemperatur på 0,5°C, mens for parameteren temperaturer over 23°C får tilsvarende 1,2°C. Da man sammenlignet kjølebehovet for å oppnå 19°C mellom ventilasjonsstrategiene fant man for parameteren temperaturer over 21°C at kjølebehovet sank med 7,3 kWh mens for parameteren temperaturer over 23°C sank det tilsvarende med 10,3 kWh. Dette tilsvarer en reduksjon i kjølebehov på 58 og 59%. Fordi det ikke fantes kjøleaggregat var sjansen for at det skulle bli for kaldt på dagtid så liten at denne temperaturdifferansen ikke ble justert. Hvis man tar hensyn til denne justeringen og legger til 2°C på differansen mellom kalkulert temperatur og inntakstemperatur, får man Figur 17 et redusert kjølebehov på 55%.

Det kan dermed bekreftes at når det er behov for kjøling vil redusert ventilasjon også føre til redusert kjølebehov. Dette får større effekt jo høyere temperaturen på tilluften er, og størst effekt på temperaturer over 23 grader. Og desto høyere intensiteten er, desto mer vil temperaturen reduseres. Det er i denne oppgaven bare sett på energibehovet til nedkjøling og ikke til oppvarming.

5.4 Undersøkellesmetode

Dette kapitlet omhandler en vurdering av undersøkelsesmetoden og forslag til videre arbeid ut fra denne oppgavens funn.

En usikkerhet i denne oppgaven har vært om treverket i himling og vegger vil få samme masseendring som veiecellene i forsøket hadde. En variabel som ville ha bidratt til å finne svaret på denne problemstillingen, hadde vært å kjenne relativ fuktighet på inntaksluften til butikklokalet og i avtrekksluften. Det ville da vært mulig å lage et fuktighetsregnskap for butikken og funnet differansen på mengden fuktighet i tilluft og i avtrekksluften. Denne differansen ville da ha vært fuktighets-økningen til luften i butikklokalet og til treverket i butikken. Luftfuktigheten i butikken ville vært kjent og det ville da vært mulig å finne hvor mye fuktighet treverket hadde tatt opp eller avgitt. Også disse målingene ville hatt forstyrrelser, men det er en rimelig antagelse at disse dataene ville vært et nyttig verktøy.

Da oppsettet til Ventilasjonsstrategi 2 ble programmert, ønsket man høy ventilasjon om natten kombinert med lavere temperatur i butikklokalet. Hypotesen var at den høye relative fuktigheten i uteluften om natten, ville føre til at den relative fuktigheten i lokalet økte. Det er i arbeidet med oppgaven vurdert om denne antagelsen er riktig. Teori kan bekrefte at dette

ikke nødvendigvis stemmer. Sammenhengen mellom temperatur og relativ fuktighet beskrives av Molliers diagram som beskrevet i teorikapittel. Denne sammenhengen burde blitt tatt hensyn til når tilluftsmengden ble justert om natten, slik at man bare økte tilluftsmengden hvis det ville gi en høyere relativ fuktighet i butikklokalet så fremt dette er ønskelig.

Det som gjorde at det likevel ble høyere relativ fuktighet om natten var en kombinasjon mellom den økte ventilasjonen og en senket butikktemperatur. Resultatene bekrefter at den relative fuktigheten øker for perioden med Ventilasjonsstrategi 2 sammenlignet med perioden med Ventilasjonsstrategi 1 (Figur 11). Men om dette kun skyldes redusert temperatur på natten eller også høyere total fuktighet på tilluften om natten enn om dagen, er ikke undersøkt. Hvis man fortsatt ønsker høy ventilasjon om natten med argumentasjonen om at dette gir høyere relativ fuktighet inne i butikken, bør dette forholdet undersøkes videre for å bekrefte denne argumentasjonen.

Det er i denne oppgaven ikke undersøkt fuktighetsnivået til trevirket da veiecellene hadde de høyeste verdiene. Dette bør gjøres for å finne ut hvilket nivå fuktigheten i treverket har i perioder med høy relativ fuktighet. Det vil være viktig å vite når trevirket når grensen for kritisk fuktighet fordi slik fuktighet vil øke sjansen for mikrobiologisk vekst som kan gi husstøvmidd og muggsopp. Ved å kjenne treverkets fuktighet, kan ventilasjonsanlegget programmeres slik at den relative fuktigheten ikke øker ytterligere.

Ventilasjonen i butikklokalet blåser ned mot gulvet mens mesteparten av trearealet befinner seg over diffusorene. En større andel av fuktigheten hadde muligens kunne vært utvekslet med treverket om luften passerte over treoverflatene, men noen videre undersøkelser er ikke gjennomført på dette.

6 Konklusjon

I denne oppgaven hvor effekten på innemiljø og energiforbruk ved bruk av ubehandlet trevirke ble undersøkt, fant man at ventilasjonen kan reduseres uten at det kommer i konflikt med de krav som stilles til innemiljøet. Parameterne CO₂, relativ fuktighet og tilluftsmengde viser at ved å redusere ventilasjonen på dagtid i sommerhalvåret, vil ikke inneklimate komme utenfor kravene og anbefalingene fra TEK10, Arbeidstilsynet og NS 3701:2012.

Temperaturkravene er ikke tilfredsstillt for noen av de to ventilasjonsstrategiene, men ved redusert ventilasjon er resultatene fra temperaturmålingene innenfor den øvre grensen som er satt. Kravet til den nedre temperaturgrensen er ikke innfridd. Kiwi har enda strengere krav til temperatur enn de ovenfornevnte kravene fordi det oppbevares næringsmidler i lokalene.

Disse kravene innfris ikke i noen av strategiene da temperaturen er for høy i lokalene. Det observeres likevel at redusert ventilasjon også her ligger nærmere disse kravene og gir best resultat.

Hvis man antar at treoverflaten vil gi kjøling og oppvarming av romluften om overflatetemperaturen på trevirket er forskjellig fra romluften får man påvist en differanse mellom temperaturdifferansen for når trevirket fuktes og tørkes over 0,02% per 10. minutt på 0,25°C. Redusert ventilasjon gir et energipotensiale på 55% ved nedkjøling av tilluften for å oppnå tilfredsstillende temperatur i butikken.

7 Litteratur

- Alsén, K. W. L. (2016). Kunnskapshull gir pengesløsning i millionklassen. *Fremtidens byggenæring* 016.
- Arbeidstilsynet. *Temperatur - varme og kulde på jobben*. Tilgjengelig fra: <http://www.arbeidstilsynet.no/fakta.html?tid=78340#Regler> (lest 03.07.16).
- Asphaug, S. K., Time, B., Thue, J. V., Geving, S., Gustavsen, A., Mathisen, H. M. & Uvsløkk, S. (2015). Kunnskapsstatus–Fuktbufring i materialer og påvirkning på energibehov. *ZEB Project report 22 – 2015*.
- Blom, P. (1999). *Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort*. Byggforskserien, 421.501.
- Blom, P. (2000). *Krav til innemiljøet i yrkes- og servicebygninger*. Byggforskserien, 421.505.
- Calex. *IR- Temperatursensor, Calex PC21MT-0*. Tilgjengelig fra: <http://no.rs-online.com/web/p/ir-infrared-temperature-sensors/0553349/?searchTerm=Calex+PC21MT-0&relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E4272616E644D504E266C753D6E6F266D6D3D6D61746368616C6C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D5C707B5A737D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D3526736E3D592673743D4B4559574F52445F4D554C54495F414C5048415F4E554D455249432677633D4E4F4E45267573743D43616C657820504332314D542D30267374613D43616C657820504332314D542D3026> (lest 23.06.16).
- Chomcharn, A. & Skaar, C. (1983). Dynamic sorption and hygroexpansion of wood wafers exposed to sinusoidally varying humidity. *Journal of the International Academy of Wood Science*, 17 (4): 259-277.
- Christensen, G. N. (1965). The rate of sorption of water vapor by thin materials. Volume Four: principles and methods of measuring moisture in liquids and solids. Reinhold, New York: 279-293.
- Danfoss. *Luft temperatursensor, Danfoss PT1000 084N0046*. Tilgjengelig fra: <http://products.danfoss.no/productdetail/refrigeration/electronic-controls-sensors-transmitters/aks-eks-temperature-sensors/aks-12-pt-1000-temperature-sensor/084n0046/#> (lest 23.06.16).
- Edvardsen, K. I., Ramstad, T. Ø., Haug, T., Saltnes, J. & Byggforsk, S. (2010). *Trehus*. 9. utg., 4. rev. oppl. utg. Håndbok (Norges byggforskningsinstitutt : trykt utg.), b. 53. Oslo: Sintef byggforsk.
- Folkehelseinstituttet. (2015). *Anbefalte faglige normer for inneklimate*. Revisjon av kunnskapsgrunnlag og normer - 2015. Nasjonalt folkehelseinstitutt 147 s.
- Geving, S. & Thue, J. V. (2002). *Fukt i bygninger*. Håndbok (Norges byggforskningsinstitutt : trykt utg.), b. 50. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- Grøn, Ø. (2009). *Varmekapasitet*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/varmekapasitet> (lest 20.04.16).

- Harstveit, K. E. & (2009). *Kontinentalt klima*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/kontinentalt_klima (lest 27.05.2016).
- HBM. *Veiecelle, SPM4*. Tilgjengelig fra: <https://www.hbm.com/en/3012/sp4m-maximum-accuracy-single-point-load-cell/> (lest 23.06.16).
- Holøs, S. (2016). *Godt inneklima i nye boliger*. Byggforskserien 421.510.
- Jenlogix. *Loggmodul (IO), Advantech DMU-3010*. Tilgjengelig fra: <http://jenlogix.interactivepulse.co.nz/product-details.cfm?catID=889&prodID=3985&DMU-3010> (lest 23.06.16).
- Kraniotis, D., Nyrud, A. Q., Englund, F. & Nore, K. (2015). Moisture buffering, energy potential and VOC emissions of wood exposed to indoor environments.
- Miljødirektoratet. (2016). Vern eller bruk av skog som klimatiltak: Miljødirektoratet, Landbruksdirektoratet, Norsk institutt for bioøkonomi.
- Miljøverndepartementet. (2012). Stortingsmelding 21 (2011– 2012) – Norsk klimapolitikk.
- NAAF. (2014). *Hva er inneklima?: Norges astma og allergiforbund*. Tilgjengelig fra: <http://www.naaf.no/ar/inneklima/> (lest 15.05.2016).
- Nilsson, P. E. (2003). *Achieving the desired indoor climate: energy efficiency aspects of system design*: Studentlitteratur AB.
- Nore, K., Kraniotis, D., Brückner, C. & Nyrud, A. Q. (2014). Latent heat emissions of spruce surface under dynamic indoor climate and the energy potential. *Wood Material Science and Engineering* (Norwegian Institute of Wood Technology, Oslo, Norway).
- NS-EN14298. (2004). *Skurlast - Vurdering av tørke kvalitet*.
- Nyrud, A. Q. & Bringslimark, T. (2012). Opplevelse av trematerialer i innemiljø. *FOKUS på tre: Treteknisk*.
- Osanyintola, O. F. & Simonson, C. J. (2006). Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: Experimental facilities and energy impact. *Energy and Buildings*, 38 (10): 1270-1282.
- Produl. *Fuktensor. Produal KLH420*. Tilgjengelig fra: <http://www.produal.com/EN/Products/Transmitters/Humidity%20transmitters/KLH%20420%20dash-%20KLH%20420-N> (lest 23.06.16).
- Rode, C., Peuhkuri, R. H., Hansen, K. K., Time, B., Svennberg, K., Arfvidsson, J. & Ojanen, T. (2005). *NORDTEST project on moisture buffer value of materials*. AIVC Conference 'Energy performance regulation': Ventilation in relation to the energy performance of buildings. 47-52 s.
- Rode, C. & Grau, K. (2008). Moisture Buffering and its Consequence in Whole Building Hygrothermal Modeling.(Technical report). *Journal of Building Physics*, 31 (4): 333.

- Rotronic. *Rotronic CP11*. Tilgjengelig fra: <http://www.rotronic.com/en/humidity-measurement-feuchtemessung-temperaturmessung/co2/cp11.html> (lest 25.06.16).
- Skjelbred, M. (2014). Undersøkelse av eksponerte treoverflaters effekt for termisk inneklime. *Masteroppgave NMBU*.
- TEK10. (2010). *Byggteknisk forskrift (Revidert 2016). Veiledning om tekniske krav til byggverk*: Direktoratet for byggkvalitet. Tilgjengelig fra: https://www.dibk.no/globalassets/byggteknisk-forskrift-tek10/byggteknisk-forskrift-tek-10-veiledningen-til-byggteknisk-forskrift---direktoratet-for-byggkvalitet_mai-2016.pdf (lest 09.07.16).
- Teknologi, N. (2013). Energibruk i bygg - rammer, krav og muligheter, hefte nr 8.
- Thue, J. V. (2009). Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fuktkapasitet> (lest 20.04.16).
- Time, B. (1998). Hygroscopic moisture, transport in wood. *Norwegian University of Science and Technology*.
- Treteknisk. (2009). *Treteknisk håndbok*. 3. utg. Teknisk håndbok (trykt utg.), b. nr. 4. Oslo: Norsk treteknisk institutt.
- Woloszyn, M., Kalamees, T., Abadie, M. O., Steeman, M. & Kalagasidis, A. S. (2009). The effect of combining a relative-humidity-sensitive ventilation system with the moisture-buffering capacity of materials on indoor climate and energy efficiency of buildings. *Building and Environment*, 44 (3): 515-524.
- Wu, Y., Fazio, P. & Kumaran, M. K. (2008). Moisture buffering capacities of five North American building materials. *Journal of Testing and Evaluation*, 36 (1): 34-40.

8 Vedlegg

1. Værdata Elverum
2. Mail fra Kiwi 11.07.16

Vedlegg 1: Værdata Elverum

Dato	Tidspunkt	Temperatur	Nedbør	Luftfuktighet
04.05.2016	onsdag0	3.8	0.0 mm	91 %
04.05.2016	onsdag6	-0.6	0.0 mm	95 %
04.05.2016	onsdag12	10.7	0.0 mm	47 %
04.05.2016	onsdag18	14.5	0.0 mm	28 %
05.05.2016	torsdag0	4.7	0.0 mm	65 %
05.05.2016	torsdag6	1.2	0.0 mm	87 %
05.05.2016	torsdag12	12.7	0.0 mm	43 %
05.05.2016	torsdag18	15.2	0.0 mm	34 %
06.05.2016	fredag0	7.2	0.0 mm	72 %
06.05.2016	fredag6	5.7	0.0 mm	79 %
06.05.2016	fredag12	14.7	0.0 mm	39 %
06.05.2016	fredag18	17.3	0.0 mm	27 %
07.05.2016	lørdag0	8.3	0.0 mm	70 %
07.05.2016	lørdag6	4.2	0.0 mm	79 %
07.05.2016	lørdag12	14	0.0 mm	41 %
07.05.2016	lørdag18	19.3	0.0 mm	32 %
08.05.2016	søndag0	9.1	0.0 mm	75 %
08.05.2016	søndag6	4.5	0.0 mm	88 %
08.05.2016	søndag12	18.5	0.0 mm	40 %
08.05.2016	søndag18	22.2	0.0 mm	23 %
09.05.2016	mandag0	11.6	0.0 mm	65 %
09.05.2016	mandag6	5.4	0.0 mm	86 %
09.05.2016	mandag12	17.6	0.0 mm	39 %
09.05.2016	mandag18	23.1	0.0 mm	22 %
10.05.2016	tirsdag0	13.6	0.0 mm	53 %
10.05.2016	tirsdag6	5.7	0.0 mm	78 %
10.05.2016	tirsdag12	18.1	0.0 mm	34 %
10.05.2016	tirsdag18	20.2	0.0 mm	31 %
11.05.2016	onsdag0	8.9	0.0 mm	55 %
11.05.2016	onsdag6	3	0.0 mm	78 %
11.05.2016	onsdag12	12.6	0.0 mm	37 %
11.05.2016	onsdag18	17.5	0.0 mm	34 %
12.05.2016	torsdag0	9.7	0.0 mm	67 %
12.05.2016	torsdag6	5.5	0.0 mm	80 %
12.05.2016	torsdag12	18.2	0.0 mm	36 %
12.05.2016	torsdag18	19.4	0.0 mm	26 %
13.05.2016	fredag0	7.5	0.5 mm	76 %
13.05.2016	fredag6	5	0.0 mm	55 %
13.05.2016	fredag12	9.5	0.0 mm	31 %
13.05.2016	fredag18	10.8	0.0 mm	30 %
14.05.2016	lørdag0	7.3	0.0 mm	37 %
14.05.2016	lørdag6	4.3	0.0 mm	56 %

14.05.2016	lørdag12	10.2	0.0 mm	32 %
14.05.2016	lørdag18	10.2	0.0 mm	50 %
15.05.2016	søndag0	6.4	0.0 mm	55 %
15.05.2016	søndag6	5.4	0.0 mm	56 %
15.05.2016	søndag12	10.5	0.0 mm	33 %
15.05.2016	søndag18	12.2	0.0 mm	32 %
16.05.2016	mandag0	6.9	0.0 mm	52 %
16.05.2016	mandag6	5.2	0.0 mm	59 %
16.05.2016	mandag12	13	0.0 mm	30 %
16.05.2016	mandag18	16.2	0.0 mm	19 %
17.05.2016	tirsdag0	6.9	0.0 mm	54 %
17.05.2016	tirsdag6	2	0.0 mm	80 %
17.05.2016	tirsdag12	12.2	0.0 mm	37 %
17.05.2016	tirsdag18	14.9	0.0 mm	25 %
18.05.2016	onsdag0	11	0.0 mm	47 %
18.05.2016	onsdag6	5.1	0.0 mm	80 %
18.05.2016	onsdag12	11.4	0.0 mm	41 %
18.05.2016	onsdag18	14.5	0.0 mm	42 %
19.05.2016	torsdag0	9.8	0.4 mm	81 %
19.05.2016	torsdag6	9.1	0.7 mm	92 %
19.05.2016	torsdag12	8.5	0.0 mm	82 %
19.05.2016	torsdag18	13.5	0.0 mm	61 %
20.05.2016	fredag0	10.2	0.0 mm	88 %
20.05.2016	fredag6	10.4	0.0 mm	86 %
20.05.2016	fredag12	11.7	0.0 mm	86 %
20.05.2016	fredag18	11.8	0.0 mm	78 %
21.05.2016	lørdag0	8.3	0.0 mm	92 %
21.05.2016	lørdag6	4.7	0.0 mm	95 %
21.05.2016	lørdag12	15.2	0.0 mm	47 %
21.05.2016	lørdag18	15.8	0.0 mm	45 %
22.05.2016	søndag0	10.3	0.2 mm	87 %
22.05.2016	søndag6	10.8	0.0 mm	88 %
22.05.2016	søndag12	13.6	0.0 mm	83 %
22.05.2016	søndag18	13.7	0.9 mm	90 %
23.05.2016	mandag0	14.1	0.2 mm	92 %
23.05.2016	mandag6	14	1.9 mm	93 %
23.05.2016	mandag12	11.6	2.9 mm	92 %
23.05.2016	mandag18	11.9	2.5 mm	94 %
24.05.2016	tirsdag0	10.4	0.0 mm	90 %
24.05.2016	tirsdag6	9.2	0.0 mm	70 %
24.05.2016	tirsdag12	9	0.3 mm	77 %
24.05.2016	tirsdag18	13.2	0.0 mm	57 %
25.05.2016	onsdag0	9.5	0.0 mm	59 %
25.05.2016	onsdag6	8.5	0.0 mm	61 %
25.05.2016	onsdag12	14.5	0.0 mm	42 %

25.05.2016	onsdag18	17.2	0.0 mm	30 %
26.05.2016	torsdag0	9.9	0.0 mm	54 %
26.05.2016	torsdag6	7.9	0.0 mm	55 %
26.05.2016	torsdag12	14.1	0.0 mm	41 %
26.05.2016	torsdag18	17.3	0.0 mm	43 %
27.05.2016	fredag0	13.1	0.0 mm	57 %
27.05.2016	fredag6	12.5	0.0 mm	62 %
27.05.2016	fredag12	19.7	0.0 mm	31 %
27.05.2016	fredag18	16.4	0.0 mm	49 %
28.05.2016	lørdag0	11.9	0.2 mm	76 %
28.05.2016	lørdag6	11	0.0 mm	73 %
28.05.2016	lørdag12	12.4	0.0 mm	69 %
28.05.2016	lørdag18	15.5	0.0 mm	57 %
29.05.2016	søndag0	13.1	0.0 mm	69 %
29.05.2016	søndag6	12.1	0.5 mm	86 %
29.05.2016	søndag12	13.9	0.1 mm	78 %
29.05.2016	søndag18	13.4	0.4 mm	86 %
30.05.2016	mandag0	12.9	0.0 mm	89 %
30.05.2016	mandag6	12.4	0.0 mm	92 %
30.05.2016	mandag12	13.4	0.1 mm	86 %
30.05.2016	mandag18	17.5	0.0 mm	71 %
31.05.2016	tirsdag0	13.6	0.0 mm	75 %
31.05.2016	tirsdag6	11.2	0.0 mm	83 %
31.05.2016	tirsdag12	19.9	0.0 mm	56 %
31.05.2016	tirsdag18	25.4	0.0 mm	28 %
01.06.2016	onsdag0	15.3	0.0 mm	75 %
01.06.2016	onsdag6	12.3	0.0 mm	84 %
01.06.2016	onsdag12	22.8	0.0 mm	45 %
01.06.2016	onsdag18	26.7	0.0 mm	29 %
02.06.2016	torsdag0	16.9	0.0 mm	72 %
02.06.2016	torsdag6	13.4	0.0 mm	79 %
02.06.2016	torsdag12	22.7	0.0 mm	48 %
02.06.2016	torsdag18	26.3	0.0 mm	34 %
03.06.2016	fredag0	18.4	0.0 mm	68 %
03.06.2016	fredag6	14.7	0.0 mm	79 %
03.06.2016	fredag12	23.2	0.0 mm	47 %
03.06.2016	fredag18	27.4	0.0 mm	20 %
04.06.2016	lørdag0	15.5	0.0 mm	25 %
04.06.2016	lørdag6	10.3	0.0 mm	45 %
04.06.2016	lørdag12	14.8	0.0 mm	37 %
04.06.2016	lørdag18	19.9	0.0 mm	26 %
05.06.2016	søndag0	14.2	0.0 mm	37 %
05.06.2016	søndag6	10	0.0 mm	53 %
05.06.2016	søndag12	17	0.0 mm	32 %
05.06.2016	søndag18	19.7	0.0 mm	29 %

06.06.2016	mandag0	13.2	0.0 mm	57 %
06.06.2016	mandag6	11.9	0.0 mm	57 %
06.06.2016	mandag12	19.8	0.0 mm	42 %
06.06.2016	mandag18	23.7	0.0 mm	39 %
07.06.2016	tirsdag0	14.8	0.0 mm	81 %
07.06.2016	tirsdag6	12.9	0.0 mm	84 %
07.06.2016	tirsdag12	18.7	0.0 mm	66 %
07.06.2016	tirsdag18	22.3	0.0 mm	48 %
08.06.2016	onsdag0	17	0.0 mm	76 %
08.06.2016	onsdag6	11.1	0.0 mm	52 %
08.06.2016	onsdag12	14.3	0.0 mm	28 %
08.06.2016	onsdag18	17.3	0.0 mm	24 %
09.06.2016	torsdag0	9.2	0.0 mm	48 %
09.06.2016	torsdag6	7	0.0 mm	55 %
09.06.2016	torsdag12	12.7	0.0 mm	34 %
09.06.2016	torsdag18	15.3	0.0 mm	29 %
10.06.2016	fredag0	8.6	0.0 mm	47 %
10.06.2016	fredag6	6.7	0.0 mm	52 %
10.06.2016	fredag12	12.1	0.0 mm	31 %
10.06.2016	fredag18	14.1	0.0 mm	38 %
11.06.2016	lørdag0	9	0.0 mm	65 %
11.06.2016	lørdag6	6.6	0.0 mm	78 %
11.06.2016	lørdag12	13.8	0.0 mm	47 %
11.06.2016	lørdag18	17	0.0 mm	38 %
12.06.2016	søndag0	12.9	0.0 mm	58 %
12.06.2016	søndag6	8.8	0.0 mm	72 %
12.06.2016	søndag12	18	0.0 mm	35 %
12.06.2016	søndag18	17.8	0.0 mm	41 %
13.06.2016	mandag0	12.2	0.0 mm	67 %
13.06.2016	mandag6	10	0.0 mm	79 %
13.06.2016	mandag12	18.8	0.0 mm	33 %
13.06.2016	mandag18	18.1	0.0 mm	42 %
14.06.2016	tirsdag0	13.3	0.0 mm	76 %
14.06.2016	tirsdag6	12.5	0.0 mm	71 %
14.06.2016	tirsdag12	20.9	0.0 mm	31 %
14.06.2016	tirsdag18	22.3	0.0 mm	23 %
15.06.2016	onsdag0	13.4	0.0 mm	44 %
15.06.2016	onsdag6	11.8	0.0 mm	61 %
15.06.2016	onsdag12	14	0.6 mm	77 %
15.06.2016	onsdag18	14.3	0.0 mm	76 %
16.06.2016	torsdag0	12.8	0.1 mm	91 %
16.06.2016	torsdag6	13	0.0 mm	89 %
16.06.2016	torsdag12	20.2	0.0 mm	50 %
16.06.2016	torsdag18	21.3	0.0 mm	42 %
17.06.2016	fredag0	15	0.0 mm	74 %

17.06.2016	fredag6	15.3	0.0 mm	73 %
17.06.2016	fredag12	14.8	1.1 mm	83 %
17.06.2016	fredag18	16	0.0 mm	82 %
18.06.2016	lørdag0	14.8	0.0 mm	71 %
18.06.2016	lørdag6	12.5	0.0 mm	68 %
18.06.2016	lørdag12	15.7	0.0 mm	53 %
18.06.2016	lørdag18	18.9	0.0 mm	43 %

Vedlegg 2: Mail Kiwi 11.07.16

From: "Jan Eilif Johansen"
To: "'Svein Anders Lundstadsveen'"
CC: "Kristine Nore" ; "Per Tore Olsen" ; "Jan Eilif Johansen"
Date: 11. juli 2016 07:43:44
Subject: SV: Kiwi Fjeldset

Hei.

I Kiwi har vi satt at vi skal ha ca 20-21 grader i butikken.
24/25 grader er altfor høyt.

Hvilken emisjon vi har på butikkene. Litt usikker på hva du er ute etter.

Men når det gjelder temperatur, så har vi i våre butikken både pakket og upakket varer, samt at vi har kjølt og frysevarer.

Pakker varer er tørrvarer som ikke utsatt for verken varme eller kaldt temp, den varen som er utsatt for varme er sjokolade (produktet mister farge)

Upakket varer, dette er i hovedsak brød og frukt/grønt.

Brød er ikke utsatt varer i forhold til temp.

Men frukt/grønt er utsatt, den optimale temperaturen for frukt/grønt som er plassert på torv er mellom 10-12 grader, når temperaturen kommer opp i 24 grader forringer kvaliteten på varen fort. 19-20 grader er grei temp for varer som rullerer fort.

Kjølfrysevarer, når temperaturen overstiger 25 grader i butikken, blir lokalet så overopphetet at diskene klarer ikke å holde kravene på 0-4 grader på kjøll og minus 15 grader på frys.

Håper dette var svar på dine spørsmål.

Mvh

Jan Eilif Johansen

Fra: Svein Anders Lundstadsveen [<mailto:sveinanders@hotmail.com>]

Sendt: 8. juli 2016 16:31

Til: Jan Eilif Johansen

Kopi: Kristine Nore ; Per Tore Olsen

Emne: Kiwi Fjeldset

Hei Jan Eilif!

Jeg er enig med deg om at forholdene må samsvare med arbeidstilsynets anbefalinger og krav. Når det gjelder KIWIs temperaturer er nok 24 til 25 grader for varmt. Arbeidstilsynet anbefaler på sine hjemmesider at temperaturene bør ligge mellom 19 og 26 grader, men er nok for dere ønskelig å ha et internt krav som ligger lavere enn 26 grader.

For ventilasjon er kravene 7 liter/sek og person som blir 25,2 m³/time og person. I tillegg kommer det et krav om utlufting av materialer, men dette er jeg litt usikker på. Denne parameteren går fra 0,7 til over 2 liter/ sek og m² gulv. Dette tilsvarer fra 2100 m³ til 6050 m³ for kundearealet i butikken. Hvis man har en personbelastning på 40 personer blir det totalt fra 3100 til 7050 m³ per time. For idag blir det tilført omtrent 4500 m³/time som tilsvarer en materialfaktor på 1,15 liter / sek og m² gulv om man regner personbelastning på 40 personer. Øker man til 80 personer vil materialfaktoren bli på 0,83 liter / sek og m² gulv. Det finnes også en tredje faktor som heter tillegg for prosesser og aktiviteter på 1 l/s.

Så mitt store spørsmål som jeg føler avgjør hele saken er hvilke emisjoner man regner med at finnes i butikken? Dette har jeg også forsøkt å finne ut i min masteroppgave, men har ikke funnet ut noe spesifikt om matbutikker. Derfor lurte jeg på om dere har noe dokumentasjon eller normer dere følger, i så fall hadde jeg blitt takknemlig om også jeg hadde fått tilgang til dette.

Mvh Svein-Anders Lundstadsveen



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway