

Marte Grytan, Vilde Amalie Mathisen og Viola  
Frederikke Loktu Telstø

# Tilstandsanalyse av inneklime i biblioteksmagasin under bakkenivå

Bacheloroppgave i maskin, VVS-teknikk

Veileder: Bjørn Austbø

Mai 2020





NTNU

## RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

**Tittel**

Tilstandsanalyse av inneklima i biblioteksmagasin under bakkenivå

Analysis of Indoor Climate in Repository beneath Ground Level

**Prosjektnr.**

EPT- V-2020-01

**Forfattere**

Marte Grytan

Vilde A. Mathisen

Viola F. L. Telstø

**Oppdragsgiver eksternt**

NTNU Gunnerusbiblioteket

**Veileder internt**

Bjørn Austbø

Rapporten er ÅPEN/~~LUKKET~~

**Dato levert**

20.05.2020

**Kort sammendrag**

Oppgaven går ut på å kartlegge inneklimaet i magasin BT1 i kjelleren på NTNU Gunnerusbiblioteket. Magasinet skal brukes til å oppbevare arkiv- og biblioteksmateriale. Kartleggingen utføres ved å gjennomføre ulike undersøkelser med hensikt å komme med løsninger som sørger for et stabilt inneklima i magasinet. Ut ifra undersøkelsene og litteratursøkene som er gjort er det kommet fram til at det er problemer med fukt i magasinet. Det er utarbeidet tre løsninger av ulikt omfang som skal bedre tilstanden for inneklimaet

**Stikkord fra prosjektet**

Inneklimaundersøkelser, behovsstyrt ventilasjon, mulige inneklimaløsninger, temperatur, relativ luftfuktighet, fukt i konstruksjon, varmetap

## Forord

Følgende bacheloroppgave er avsluttende oppgave for VVS-teknikk ved maskiningeniørstudiet, NTNU. Den har som hensikt å vise hvilken kunnskap studentene har tilegnet seg i løpet av den 3-årige utdanningen. Oppgaveløsningen er forskningsbasert med hensikt å bruke kunnskap om tekniske løsninger. Kunnskap og erfaringer fra TMAS3002 Ingeniørfaglig systemtenkning, TMAS2011 Ventilasjonsteknikk og TMAS2010 Termodynamikk og fluidmekanikk har kommet godt med i oppgaveprosessen og problemløsningen.

Oppgaven ble valgt på bakgrunn av oppgavens omfang og tema, samt god kommunikasjon med veileder og Gunnerusbiblioteket. Den er konkret, godt avgrenset, interessant og vi mente vi kunne få godt læringsutbytte av problemstillingen. Det var også motiverende at det var en reell problemstilling Gunnerusbiblioteket var interessert i å finne en løsning på.

Vi vil rette en stor takk til Bjørn Austbø for gode samtaler, veiledning og for å alltid være tilgjengelig. Tore Eliassen vil vi takke for gode faglige innspill og gode råd i forbindelse med riktig valg av utstyr og relevante undersøkelser. Vi ønsker også å takke de ansatte på Gunnerusbiblioteket for godt samarbeid og tilrettelegging i forbindelse med alle nødvendige undersøkelser utført i forbindelse med tilstandsanalysen, og spesielt Victoria Juhlin ved biblioteket for god hjelp og nødvendig informasjon. For tilgang til informasjon om tidligere lignende prosjekter vil vi takke Soon Clima AS ved prosjektleder Dag Grytan.

NTNU

Trondheim, 20. mai 2020



Marte Grytan



Vilde A. Mathisen



Viola F. L. Telstø

## Oppgavebeskrivelse

Magasin BT1 i Gunnerusbiblioteket har i dag ikke tilstrekkelig stabilt inneklime til oppbevaring av arkiv- og biblioteksmaterialer. For å kunne bruke magasinet til ønsket formål er det oppgitt at det må holde en stabil temperatur på 18°C og relativ luftfuktighet på 50% med en maksimal døgnvariasjon på  $\pm 2^\circ\text{C}$  og  $\pm 5\%$ . Målinger mottatt fra Gunnerusbiblioteket for 2019 viser at dagens inneklime er et godt stykke unna dette, som er grunnen til at magasinet i dag ikke kan brukes til ønsket formål. Det brukes derfor nå til oppbevaring av materiale fra nyere tid som kan tåle større svingninger i temperatur og relativ luftfuktighet. Hovedmålet med denne oppgaven er å foreta en tilstandsanalyse av magasinets inneklime med hensikt å komme med forslag til egnede løsninger for å holde en stabil temperatur og relativ luftfuktighet slik at det kan tas i bruk til ønsket formål i fremtiden.

Formålet med oppgaven er derfor å kartlegge problemer og utfordringer med nåværende inneklime, og finne grunnen til disse, for å danne et grunnlag til å foreslå mulige løsninger. Kartleggingen gjøres ved innhenting av teori i tillegg til undersøkelser av forskjellige inneklimeparametere i magasinet. Løsningsforslagene som presenteres på grunnlag av utførte undersøkelser er ment å være til hjelp for de ansatte på Gunnerusbiblioteket, slik at de kan vurdere om det er ønskelig å gjøre foreslåtte utbedringer for å få benyttet magasinet til ønsket formål.

## Sammendrag

Oppgaven tar for seg magasin BT1 i kjelleretasjen på NTNU Gunnerusbiblioteket. Magasinet brukes til oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale som krever et stabilt inneklima. Det er mottatt målinger for 2019 som viser at magasinet ikke kan brukes til ønsket formål ettersom både temperatur og relativ luftfuktighet ikke imøtekommer ønskede verdier. Denne oppgaven har som hovedmål å kartlegge inneklimaet i magasinet og komme med løsninger for magasinet slik at det kan anvendes etter ønsket bruk.

Det er gjort undersøkelser i magasinet av ulikt omfang, blant annet ved logging av temperatur og relativ luftfuktighet, fuktmålinger og undersøkelse med varmekamera. For å danne et godt teoretisk grunnlag er kunnskap fra tidligere emner og erfaring benyttet, det er også gjennomført en litteraturstudie for å tilføre ny kunnskap.

Resultatene fra undersøkelsene skal være til hjelp for å kartlegge tilstanden i magasinet og for å finne løsninger som egner seg. Loggingen av temperatur og relativ luftfuktighet viste at temperaturen varierer mellom 11,5°C–15,5°C og den relative luftfuktigheten ligger mellom 51–68%. Undersøkelsen med varmekamera viste at temperaturen på ytterveggene var omtrent 4°C lavere enn de andre veggene i rommet. Denne forskjellen i varmetap var forventet, og det ble derfor ikke gjort noen oppsiktsvekkende funn ved denne undersøkelsen. Det ble utført befaring i magasinet før undersøkelsene ble gjort, og i den sammenheng ble det mistenkt fuktproblemer i magasinet. Gjennomføringen av fuktmålingene konkluderte med at det er fuktproblemer i magasinet, særlig på yttervegger og gulv.

Ut ifra resultatene fra undersøkelsene og litteraturstudiet ble det utarbeidet tre forslag til inneklimaløsninger i tillegg til noen generelle forslag til forbedring for tilstanden i magasinet. De tre forslagene er av ulikt omfang og bygger på hverandre, hvor det første forslaget er et minimum av hva som burde gjøres for å bedre inneklimaet.

## Abstract

This bachelor thesis is about repository BT1 in the basement floor at NTNU Gunnerusbiblioteket. The repository is used for storage of archive and library materials that require a stable indoor climate. Measurements for 2019 show that the repository's state is not optimal for the desired use of the repository as both temperature and relative humidity is not as the desired values. The main purpose of this study is to do an analysis of the indoor climate in the repository and provide solutions for the repository so it can be used as desired.

Several examinations have been carried out in the repository of different scopes, among other by logging of temperature and relative humidity, moisture measurements and examination with thermographic camera. To form a good theoretical foundation, knowledge from earlier courses and experience have been used, and a literature study has been completed to acquire new knowledge.

The results from the examinations will be helpful to map the repository's state and to find suitable solutions. The logging of temperature and relative humidity show that the temperature varies between 11,5°C–15,5°C and the relative humidity varies between 51–68%. The examination with the thermographic camera showed that the temperature of the exterior walls was 4°C lower than the other walls in the room. This difference in heat loss was expected, and therefore there were not done any startling discoveries during this examination. Before the examinations were done there had been an inspection in the repository, in that context it was suspected moisture problems on the surfaces. The implementation of the moisture measurements concluded that there are moisture problems in the repository, especially on the exterior walls and floor.

Based on the results from the examinations and the literature study it has been compiled three suggestions to indoor climate solutions and some general suggestions to improve the repository's state. The three suggestions are of different scope and are based on each other, where the first suggestion is a minimum of what should be done to improve the indoor climate.

## Innhold

1	Innledning .....	1
1.1	Bakgrunn og motivasjon .....	1
1.2	Problemdefinering .....	1
1.2.1	Mål .....	2
1.3	Avgrensninger .....	3
1.4	Struktur .....	3
2	Teori .....	4
2.1	Oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale .....	4
2.1.1	ISO 11799 .....	4
2.1.2	ISO 18934 .....	5
2.1.3	NS-EN 15759-2 .....	5
2.2	Inneklimaundersøkelser .....	6
2.3	Ventilasjonsprinsipper .....	8
2.3.1	Fortrengningsventilasjon .....	8
2.3.2	Omrøringsventilasjon .....	9
2.3.3	Behovsstyrt ventilasjon .....	10
2.4	Oppvarmingsmetode .....	10
2.5	Avfuktning og befuktning .....	11
2.5.1	Avfuktning .....	12
2.5.2	Befuktning .....	12
2.6	Filter .....	12
2.7	Lufthastighet .....	14
2.8	Fukt i konstruksjon under bakkenivå .....	14
2.8.1	Kondensasjon .....	14
2.8.2	Fukttransport .....	15
2.8.3	Konstruksjonsprinsipper .....	16
2.8.4	Uttørking .....	17
3	Metode .....	18
3.1	Valg av metode .....	18
3.2	Utstyr og feilkilder .....	18
3.3	Litteratursøk .....	19
3.4	KSM-metoden .....	20
3.5	Logging av temperatur og relativ luftfuktighet .....	20
3.5.1	Testmåling 30.01.20 – 31.01.20 .....	20



3.5.2	Logging 31.01.20 – 13.05.20 .....	21
3.5.3	Samlet test av loggerne .....	21
3.5.4	Absolutt luftfuktighet.....	21
3.6	Utetemperatur.....	21
3.7	Varmekamera.....	22
3.8	Fuktmålinger .....	22
3.9	Lufthastighet .....	23
4	Resultater.....	24
4.1	KSM-metoden .....	24
4.2	Logging av temperatur og relativ luftfuktighet .....	25
4.2.1	Testmåling 30.01.20 – 31.01.20.....	25
4.2.2	Logging 31.01.20 – 13.05.20 .....	26
4.2.3	Samlet test av loggerne .....	27
4.2.4	Absolutt luftfuktighet.....	28
4.3	Utetemperatur.....	29
4.4	Varmekamera.....	30
4.5	Fuktmåling på overflater.....	33
4.6	Lufthastighet .....	36
5	Drøfting .....	37
5.1	Vurdering av data.....	37
5.1.1	Personbelastning .....	37
5.1.2	Formel for absolutt luftfuktighet .....	38
5.1.3	Samlet test av loggerne .....	38
5.2	Forhold i magasinet .....	38
5.2.1	Betydning av lys .....	38
5.2.2	Betydning av å åpne dør .....	39
5.2.3	Plassering av materiell i hyller .....	39
5.2.4	Trekk.....	39
5.2.5	Temperatur og relativ luftfuktighet.....	40
5.3	Utbedring .....	41
5.3.1	Tidligere utbedringer .....	41
5.3.2	Nødvendig utbedring og fuktreduserende tiltak.....	42
5.4	Varme.....	45
5.5	Ventilering av BT1 .....	46
5.5.1	Filter, luftkvalitet og gasser .....	47
5.5.2	Frisklufttilførsel .....	47
5.5.3	Styring .....	48

5.5.4	Ventilasjonsaggregat.....	49
5.6	Observasjoner og forslag til løsninger .....	49
5.6.1	Generelle observasjoner .....	50
5.6.2	Inneklimaløsninger.....	51
6	Konklusjon.....	53
7	Videre arbeid.....	54
	Referanseliste .....	55
	Vedlegg .....	58
	Vedlegg 1: Oversikt over magasinet og plassering av loggerne .....	58
	Vedlegg 2: Oversiktsbilde .....	59
	Vedlegg 3: Resultat temperatur .....	60
	Vedlegg 4: Resultat relativ luftfuktighet.....	61
	Vedlegg 5: Resultat absolutt luftfuktighet.....	62
	Vedlegg 6: Resultat utetemperatur .....	63
	Vedlegg 7: Stikkprøve av formel for absolutt luftfuktighet i Mollier-diagram .....	64
	Vedlegg 8: Stikkprøve av duggpunktkalkulator i Mollier-diagram .....	67
	Vedlegg 9: Mollier-diagram damptrykk i bakken .....	68
	Vedlegg 10: Mollier-diagram damptrykk i magasinet .....	69
	Vedlegg 11: Mollier-diagram oppvarming av inneluft.....	70

## Figurliste

Figur 1.1: Temperatur og relativ luftfuktighet i løpet av 2019 .....	1
Figur 3.1: Metode for opphenging av loggerne .....	20
Figur 3.2: Plassering av logger utendørs.....	22
Figur 3.3: Sensoren er plassert øverst til venstre .....	23
Figur 3.4: Synlig fuktskade på vegg.....	23
Figur 3.5: Filterkassenes plassering .....	23
Figur 4.1: Temperatur [°C] 30.01.20 - 31.01.20 .....	25
Figur 4.2: RF [%] 30.01.20 - 31.01.20 .....	26
Figur 4.3: Temperatur [°C] 31.01.20 - 13.05.20.....	26
Figur 4.4: RF [%] 31.01.20 - 13.05.20 .....	27
Figur 4.5: Samlet test temperatur .....	27
Figur 4.6: Samlet test relativ luftfuktighet.....	28
Figur 4.7: AF [g/m <sup>3</sup> ] 31.01.20 - 13.05.20.....	28
Figur 4.8: Utetemperatur [°C] 11.02.20 - 11.03.20.....	29
Figur 4.9: Varmegjennomgang i hjørne .....	30
Figur 4.10: Varmegjennomgang i yttervegg .....	30
Figur 4.11: Varmegjennomgang i yttervegg .....	31
Figur 4.12: Varmegjennomgang i rør .....	31
Figur 4.13: Varmegjennomgang inngangsdør.....	32
Figur 4.14: Oversikt over veggoverflatene i rommet.....	33
Figur 4.15: Middels høy måleverdi .....	35
Figur 4.16: Mulig fuktskade på gulv langs vegg 2 .....	35
Figur 4.17: Lufthastighetsmåler .....	36
Figur 5.1: Plantegning sluse .....	39
Figur 5.2: Duggpunktkalkulator (Image Permanence Institute, u.å.) .....	40
Figur 5.3: Duggpunktkalkulator (Image Permanence Institute, u.å.) .....	41

## Tabelliste

Tabell 2.1: Skjema for KSM-metoden (Ingebrigtsen, 2019).....	7
Tabell 2.2: PM-klasser filter blir testet i.....	13
Tabell 2.3: Filterklasser og krav .....	13
Tabell 3.1: Utstysrliste .....	18
Tabell 3.2: Mulige feilkilder for måleutstyr .....	19
Tabell 4.1: Resultat KSM-metoden .....	24
Tabell 4.2: Indikatorer for fuktmåler .....	33
Tabell 4.3: Resultater fuktmålinger .....	34
Tabell 5.1: Utdrag fra målinger utført 20.02.20 .....	37
Tabell 5.2: Utdrag fra absolutt luftfuktighet 20.02.20.....	37
Tabell 5.3: Beregning av AF.....	38
Tabell 5.4: Utrekning av vanndampmotstand, $Z_p$ .....	44
Tabell 5.5: Observasjoner .....	50
Tabell 5.6: Forslag til løsninger .....	51

## Begrep og definisjoner

<b>AF</b>	Absolutt luftfuktighet, gram vanndamp per kubikkmeter luft (Grøn, 2009).
<b>Arkiv- og biblioteksmateriale</b>	Alle dokumenttyper lagret i arkiv og bibliotek uavhengig av dets fysiske format. Hovedsakelig bøker, manuskripter, kart, grafiske samlinger og andre dokumenter bestående av papir, men også papyrus, pergament, filmer, fotografisk materiale, audiovisuelle opptak, magnetiske og optiske media, så vel som innbindinger og beskyttende materiale.
<b>Damptrykk</b>	Damptrykket er også kalt partialtrykket, og er den andelen av atmosfæretrykket som forekommer av luftens vanndampinnhold.
<b>Diffusjon</b>	Vannmolekyler, damp, som forflytter seg gjennom porøse materialer. Vanndampen forflytter seg fra områder med høyere damptrykk/absolutt luftfuktighet til områder med lavere damptrykk/absolutt luftfuktighet.
<b>Duggpunkt</b>	Temperaturen hvor luften starter å skille ut vann.
<b>ENØK</b>	Energiøkonomisering, utnytte energi mer effektivt
<b>Hygroskopisk materiale</b>	Materiale hvor fuktighetsnivået endrer seg i takt med den relative fuktigheten til omgivelsene, for eksempel tre, papir, lær, tekstiler eller bein.
<b>Indusere</b>	Å lede, føre inn i, slutte eller å frembringe ved induksjon (Grøn, 2019). Her ved at romluft blir indusert i tilført friskluft, romluften føres inn i eller slutter seg til den tilførte friskluften.
<b>Inergen</b>	Sammensetning av ordene <i>inert gass</i> og <i>nitrogen</i> . Består av 52% nitrogen, 40% argon og 8% karbondioksid (brannmannen.no, 2002). Benyttes i brannsløkkingsanlegg der eksempelvis vann kan være ødeleggende.

<b>Inert (luft)</b>	Inert betyr «som ikke har evne til å danne forbindelser». Inert luft er oppholdssikker luft der vanlige materialer ikke vil antenne og brenne. Det lave oksygeninnholdet i luften hindrer brann å oppstå ettersom det ikke er tilstrekkelig med oksygen til antenning (Brannvernforeningen).
<b>Kapillærkrefter</b>	Kraften som trekker væske gjennom et porøst materiale. Vann trekkes gjennom små porer og hulrom ved at vannets adhesjon til hydrofile materialer trekker vannet opp til tross for ytre påvirkninger, som blant annet gravitasjon.
<b>Lux</b>	Måleenheten for belysningsstyrke ( $\text{lumen/m}^2$ ), forteller hvor opplyst en flate er (Valmøt, 2015).
<b>Magasin</b>	Bygning eller rom som er utformet kun til bruk av langtidsforvaring av arkiv- og biblioteksmateriale.
<b>Mikroklima</b>	Klimaet i en del av en bygning eller et rom som er annerledes enn klimaet ellers i rommet, for eksempel ved stillestående luft i et lite område.
<b>Oppholdssonen</b>	Defineres som det området hvor personer normalt oppholder seg i et rom: 0,6m fra yttervegg, 0,2m fra innervegg og fra 0,05m opp til 1,8m over gulvet.
<b>PM</b>	Particulate matter, svevestøv.
<b>RF</b>	Relativ luftfuktighet, det prosentvise forholdet mellom absolutt luftfuktighet og fuktigheten som må til for å nå mettet luft (Samuelsen, 2017).
<b>U-verdi</b>	Varmegjennomgangskoeffisient, angir en bygningsdels varmeisolerende evne, måles i $\text{W/m}^2$ .
<b>Vanndamppermeabilitet</b>	Materialets evne til å slippe gjennom vanndamp (Edvardsen og Ramstad, 2014)

**Ventilasjonseffektivitet ( $\varepsilon_v$ )** Sier noe om hvor godt et rom blir ventilert av den tilførte friskluften. Uttrykkes ved:

$$\varepsilon_v = \frac{C_a - C_t}{C_i - C_t}$$

$C_t$  = Forurensningskonsentrasjon i tilluften [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]

$C_a$  = Forurensningskonsentrasjon i avtrekksluften [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]

$C_i$  = Forurensningskonsentrasjon inne [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]

**VOC**

Flyktige organiske forbindelser som på grunn av lavt kokepunkt lett går over i gassfase.

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn og motivasjon

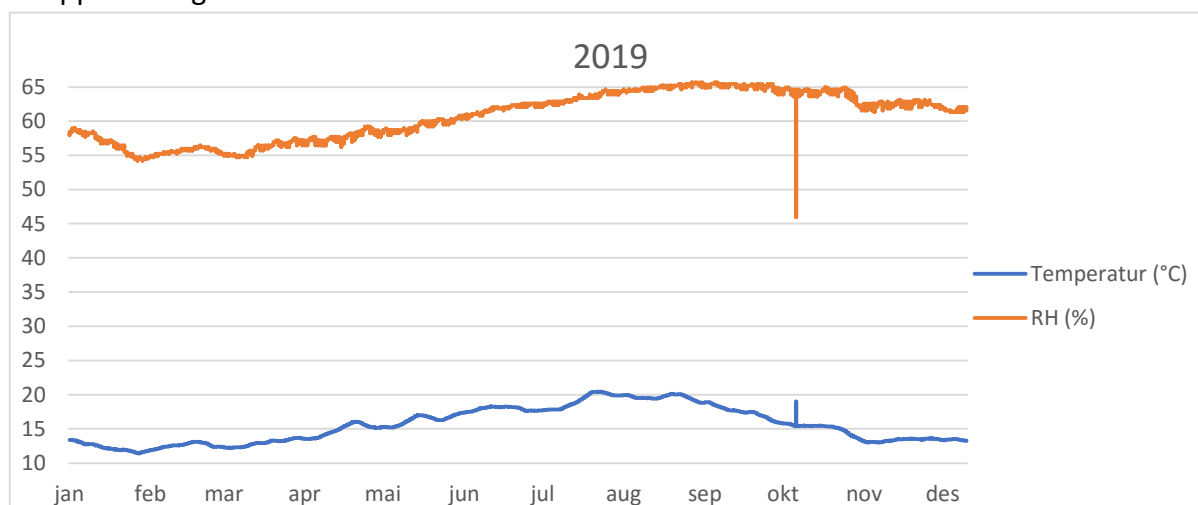
Det er stadig flere eldre bygg som har behov for oppgradering med tanke på inneklimate. Ingen bygninger er like og vil dermed føre med seg ulike utfordringer og behov ved renovering. I denne oppgaven er konstruksjonen opprinnelig fra 1930-tallet og det aktuelle magasinet, BT1, er plassert i kjelleretasjen i boktårnet til NTNU Gunnerusbiblioteket. Rommene i etasjene over BT1 er også magasiner som anvendes til oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale.

Valget falt på denne oppgaven av flere grunner. Den er konkret, avgrenset, reell og i tillegg interessant og relevant. Det gir god motivasjon at de ansatte på Gunnerusbiblioteket er interesserte i å finne en løsning på problemene som er i magasinet, slik at de også har et godt grunnlag for at renovering skal være vellykket. Det kreves at løsningene som eventuelt benyttes må være kommet fram til på grunnlag av gode undersøkelser og grundig teoriinnhenting. Problemstillingen og de metodene som skal anvendes underveis er interessante, og vil gi et godt grunnlag for senere prosjekter.

## 1.2 Problemdefinering

Magasin BT1 i Gunnerusbiblioteket har i dag ikke tilstrekkelig stabilt inneklimate til oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale. Den eneste formen for ventilasjon i rommet er to luftinntak som føres inn i hver sin filterkasse med påmontert manuelt spjeld. Disse spjeldene står i dag helt stengt, og det er derfor ingen frisklufttilførsel i rommet. Det er montert en panelovn i rommet som ikke er i bruk per dags dato, det er derfor heller ingen form for oppvarming.

For at magasinet skal kunne brukes til ønsket formål er det oppgitt at magasinet må holde en temperatur på 18°C og en relativ luftfuktighet på 50% med en døgnvariasjon på henholdsvis  $\pm 2^\circ\text{C}$  og  $\pm 5\%$ . Som vist i figur 1.1 er dagens inneklimate langt unna disse verdiene, denne loggingen er kun gjort med én logger som har hengt i samme punkt gjennom hele året. Dette gjør at magasinet ikke kan brukes til ønsket formål og brukes i dag til oppbevaring av materialer som ikke har like stort behov for stabilt inneklimate.



Figur 1.1: Temperatur og relativ luftfuktighet i løpet av 2019



Formålet med oppgaven er å kartlegge nåværende situasjon for å finne ut hva som må reguleres for å oppnå et tilstrekkelig stabilt inneklima med gitte rammer. Videre skal det utarbeides forslag til hvordan det kan løses i praksis, i form av inneklimaløsninger. Resultatene og løsningene fra denne oppgaven vil kunne benyttes ved andre lignende tilfeller.

For å utføre kartleggingen skal det gjennomføres undersøkelser av ulik art, eksempelvis logging av temperatur og relativ luftfuktighet. I tillegg er det ønskelig å undersøke BT1 blant annet ved hjelp av varmekamera, fuktmålinger på overflater, samt sjekke tilstanden i eksisterende filterkasser. Undersøkelsene skal ha som hensikt å vise om dette kan være faktorer som påvirker inneklimaet.

### 1.2.1 Mål

Hovedmålet med denne oppgaven er å utføre tilstandsanalyse av inneklima i BT1, og foreslå inneklimaløsninger for at magasinet kan tas i bruk til ønsket formål på bakgrunn av denne. Følgende målsettinger ble utarbeidet før prosjektets start, og skal være til hjelp underveis for å sikre at rapporten blir fullstendig.

#### **Kartlegge og dokumentere krav til inneklimaet.**

Gjøre oss kjent med hvilke krav som stilles til inneklimaet for at det skal kunne bli benyttet til ønsket formål, og dokumentere dette.

#### **Kartlegge magasinet med tanke på undersøkelsene som skal utføres.**

Gjøre nødvendige kartlegginger av rommet for å finne ut hvor det er mest hensiktsmessig å ha målepunktene for loggerne og hvor det er mest egnet å ta andre planlagte undersøkelser.

#### **Legge til rette for at gjennomførte undersøkelser av inneklimaet i magasinet er mest mulig representative, og dokumentere dette.**

For at det skal være mulig å finne passende løsninger for forbedring av inneklimaet i magasinet er det viktig at undersøkelsene blir representative. Derfor må relevant kunnskap og teori innhentes for at utvalget av målepunkt og metode er korrekt. Metode og resultater skal dokumenteres for kvalitetssikring.

#### **Komme med tre forslag til inneklimaløsninger som gjør det mulig å bruke magasinet til ønsket formål.**

Ettersom Gunnerusbiblioteket ikke har gitt noen økonomiske rammer eller begrensinger er det valgt å utarbeide tre forslag av ulikt omfang.

#### **Presentere resultatene på en slik måte at det ikke er nødvendig å ha fagbakgrunn for å kunne forstå hovedtrekkene.**

Det er ønskelig at innholdet i rapporten som skal utarbeides, lett skal kunne forstås uavhengig av fagbakgrunn. Spesielt for at Gunnerusbiblioteket skal ha utbytte av denne rapporten. Dette betyr ikke nødvendigvis at alle deler av rapporten vil være like enkle å forstå uten fagbakgrunn fra VVS.

### 1.3 Avgrensninger

Denne rapporten tar kun for seg ett magasin i boktårnet på Gunnerusbiblioteket. Ved undersøkelsene som er utført er det ikke tatt hensyn til menneskelig komfort, kun de rammene som er satt for oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale. Det er ikke satt noen økonomiske begrensninger. Oppgaven vil være preget av begrenset tid, ettersom denne rapporten skal utarbeides i løpet av ett semester. Dette gjør at det ikke er mulighet for egne analyser over flere sesongskifter, ved behov vil det derfor bli brukt informasjon gitt fra Gunnerusbiblioteket på dette området. Koronautbruddet og tiltakene som ble innført med hensyn til smittefare er en begrensende faktor for arbeidet med denne oppgaven. Etter 12.03.20 ble campus stengt, og det ble hjemmekontor for studentene og flere ansatte ved NTNU, dette hindret tilgangen til Gunnerusbiblioteket og personlige møter i gruppen og med veileder.

### 1.4 Struktur

Innledningsvis i rapporten presenteres teorien som er innhentet i forbindelse med utført litteratursøk. Denne delen skal danne det teoretiske grunnlaget for utarbeidelsen av rapporten videre, deriblant analyse av resultater og utarbeidelse av forslag for stabilt inneklima. Det gjennomgås blant annet ulike typer ventilasjon, faktorer som påvirker inneklima og optimale forhold for lagring av arkiv- og biblioteksmateriale.

Deretter følger en metodedel som beskriver hva som er gjort i praksis for å komme frem til de resultatene som foreligger senere i rapporten. Deriblant ulike utførte undersøkelser, eksempelvis fuktmålinger på overflater. Resultatene vil deretter bli lagt frem, analysert og drøftet, med hensyn til oppgavens problemdefinering og mål.

I siste del av rapporten diskuteres ulike momenter som er uklare eller som av andre årsaker anses som nødvendig å drøftes ytterligere. Dette legger det siste grunnlaget for konklusjonen hvor rapporten også oppsummeres i korte trekk. Avslutningsvis vil det også presenteres videre arbeid og tanker rundt oppgaveløsingen i seg selv.

## 2 Teori

I dette kapitlet vil teorien som kreves for å utforme og utføre metodedelen, resultatene og drøftingen presenteres. Denne skal sørge for at løsningene det er kommet fram til er representative og utformet på et godt kunnskaps- og teorigrunnlag.

### 2.1 Oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale

Det er oppgitt følgende ønsker med tanke på inneklimate i BT1; 18°C og 50% RF med en maksimal døgnvariasjon på  $\pm 2^\circ\text{C}$  og  $\pm 5\%$ .

#### 2.1.1 ISO 11799

ISO 11799 (Standard Norge, 2015) beskriver en rekke anbefalinger for oppbevaring av arkivmateriale. Anbefalingene settes for å oppnå sikker oppbevaring og lengst mulig levetid.

Riktig relativ luftfuktighet er svært viktig for å oppnå lengst mulig levetid på materialer. Relativ luftfuktighet over 60% gir en større risiko for mikrobiologisk aktivitet som kan føre til økt nedbrytningsrate. Er derimot luftfuktigheten for lav kan materialene bli påført fysisk stress som kan føre til skader. Optimalt inneklimate vil kunne variere for ulike typer materialer. Generelt vil nedbrytningen av materialer bremses i kjøligere omgivelser med noe lavere fuktighet. Anbefalt relativ luftfuktighet for optimal lagring av arkiv- og biblioteksmateriale er derfor mellom 30-40%.

Det er anbefalt at betongvegger males og betonggulv herdes med tetningsmasse. Enkelte gasser kan være skadelig for arkiv- og biblioteksmateriale, syrlige gasser kan for eksempel føre til permanente skader på fotografier og plastfilm kan deformeres. Derfor bør det unngås bruk av blant annet oljebasert maling eller maling som inneholder polyuretan. Bruken av VOC-kilder bør reduseres til et minimum, i tillegg til overnevnte maling kan dette være gulvtepper, enkelte typer lim og materialer som inneholder svovel. For å hindre at slike forurensninger og ubehandlet luft trenger inn i rommet fra omkringliggende omgivelser vil et overtrykk, eller i det minste et nøytralt trykk, være hensiktsmessig.

Arkiv- og biblioteksmaterialet skal oppbevares i hyller som er stabile nok til å oppbevare bøker trygt. Hyllene skal være av kjemisk inerte materialer og skal verken produsere eller holde på støv. Materiellet skal stå minimum 20 cm unna yttervegger og minimum 10 cm over gulv for å minimere risiko i forbindelse med vannskader og skadedyr, i tillegg vil det bidra til enklere renhold. Vegger, gulv og tak bør være av materialer som har høy termisk treghet og fuktbufring.

Magasiner bør brantettes for å minimere risiko for brann inne i magasinet. I brannslukkingssystemet er det anbefalt å bruke nitrogengass eller rent vann. Der det lagres materialer som er sensitivt mot vann vil inert luft eller inergen være best. Oksygenivået i luften senkes til under 15%, dette vil kvele flammer og hindre spredning av brann. Et slikt anlegg krever at magasinet er tilstrekkelig lufttett. Slokking ved hjelp av gass kan også være mer effektivt i magasin med tette hyller, ettersom det kan være vanskelig å få tilstrekkelig vann til alle områder med sprinkleranlegg.

Det bør ikke være mer belysning i magasinet enn nødvendig for uthenting av materialer, inspeksjon og rengjøring. For rengjøring er 100 lux på gulvnivå tilstrekkelig (Standard Norge, 2015), dette tilsvarer normal belysning innendørs. Avstanden mellom ubeskyttet materiale

og lys må tas hensyn til dersom belysningen avgir varme. Ettersom LED-belysning avgir minimalt med varme vil det kunne være fordelaktig å benytte seg av dette.

### 2.1.2 ISO 18934

Det er flere forskjellige internasjonale standarder og retningslinjer som tar for seg optimale lagringsforhold for samlinger, og tidligere har disse vært spisset mot hver enkelt materialtype. Det vil si en standard for hver enkelt materialtype hvor det er fokus på å forlenge levetiden til de forskjellige materialtypene maksimalt. I ISO 18934 (Standard Norge, 2011), som er den nyeste standarden på dette området, reflekteres det over det faktum at et magasin ofte kan inneholde flere ulike materialtyper og at det i slike magasin derfor er spesielt viktig med et stabilt klima som er tilfredsstillende for de ulike typene materiale med tanke på maksimalt forlenget levetid.

Nedbryting av alle materialer er temperaturavhengig, og en lav temperatur vil i de fleste tilfeller være fordelaktig. Relativ luftfuktighet spiller også inn, og de fleste typer materiale trives som nevnt best med en stabil verdi mellom 30-40%. En stabil temperatur vil derfor være avgjørende ettersom den påvirker den relative luftfuktigheten. Det vil skape fysisk stress på hygroskopisk materiale ved store svingninger i både temperatur og relativ luftfuktighet, dette står nærmere beskrevet i NS-EN 15757 (Standard Norge, 2010). Det er anbefalt med en døgnvariasjon på maksimalt  $\pm 5\%$  i tillegg til en viss årstidsvariasjon.

Dersom materialer skal flyttes fra et kaldt magasin til steder med høyere temperatur og annet duggpunkt, vil det være risiko for kondens på materialene. Dette kan skade materialene og for å unngå dette anbefales det at det anvendes en klimasluse hvor materialene kan akklimatiseres før de fraktes videre. Om en slik sluse ikke er gjennomførbar eller tilstede kan materialene legges i fuktsikre bokser eller poser før de fraktes ut av det kalde magasinet, slik at materialene akklimatiseres i disse.

### 2.1.3 NS-EN 15759-2

Ventilasjon er et viktig verktøy for å sikre et godt inneklima, både der folk skal ferdes og i spesialrom som har strengere krav til inneklima. NS-EN 15759-2 (Standard Norge, 2010) tar for seg hvordan ventilasjonen burde administreres for optimal beskyttelse av kulturminnebygninger og -samlinger.

Avhengig av egenskapene til et bygg vil inneklimaet til en viss grad bli påvirket av klimaet utendørs. Hvor tett et bygg er og hvilken isoleringsmetode som er benyttet vil for eksempel kunne påvirke kvaliteten på inneklimaet. Dersom inneklimaet ikke er av tilstrekkelig god kvalitet kan dette skade både bygget og dets innhold. Åpning og lukking av dører og vinduer, personbelastning, belysning og oppvarming eller kjøling er påvirkningsfaktorer, og kontrollering av mengden forurensning vil derfor være hensiktsmessig.

Luftutskiftning og -sirkulasjon er to av flere faktorer som er med på å definere inneklimaet i et bygg, i tillegg er de fundamentalt nødvendig for å oppnå et tilfredsstillende inneklima for konservering. Det er derfor laget retningslinjer for bruk av ventilasjon for å forbedre konserveringsforholdene til kulturminnebygninger og -samlinger. Ettersom ingen kulturminnebygninger eller -samlinger er like, vil det være nødvendig å få en oversikt over hvilke påvirkningsfaktorer inneklima vil ha på den aktuelle bygningen eller samlingen. Denne

kartleggingen bør alltid utføres av en gruppe profesjonelle innenfor bygningskonstruksjon og -fysikk, kulturminneforvaltning og ventilasjon. Ventilasjon har egenskaper som kan påvirke både positivt og negativt, og det er derfor viktig at en slik kartlegging utføres grundig slik at de ønskelige egenskapene sikres for et konserverende inneklime.

For å forbedre inneklime til et tilfredsstillende nivå skal minimal energibruk etterstrebes, samt installasjon av minst mulig teknisk utstyr. Dersom luftutskiftningen er for høy skal det så langt det er mulig prioriteres å øke tettheten i bygget for å redusere denne, ved for eksempel å utbedre tetning i vinduer og dører. For å redusere forurensning er det først og fremst viktig å prøve og redusere allerede eksisterende kilder. Det vil også være nødvendig med tilstrekkelig filtrering av inntaksluft, samt at ved å holde noe overtrykk vil forurensning hindres i å trekke inn.

Befuktning og avfukting er noe som kan integreres i de fleste moderne ventilasjonsaggregat for å ha god kontroll på relativ luftfuktighet i de ventilerte områdene. Dette er noe som kan benyttes for å skape et tilpasset inneklime til for eksempel samlinger som skal oppbevares i de aktuelle områdene. Dersom befuktning skal benyttes i en slik sammenheng er det derfor spesielt viktig å være oppmerksom på risiko for kondens dersom den fuktige luften skulle treffe overflater som holder en temperatur under duggpunktet.

## 2.2 Inneklimeundersøkelser

I Ventilasjonsteknikk Del 1 (Ingebrigtsen, 2019) er inneklimeundersøkelser beskrevet, og det blir gitt en kort introduksjon til en enkel metode kalt KSM-metoden, kvalifisert skjønn metoden. Metoden bygger på enkle parametere som normale sanser, sunt vett og enkle temperaturmålinger.

Denne metoden inneholder 16 forskjellige parametere som kan ha en innvirkning på inneklime, og er utarbeidet av dr.med. Kjell Aas. Parameterne metoden tar for seg er gjengitt i tabell 2.1.

KSM	Kategori	Forklaring
1	Uteluft ved luftinntak	Plassering og utforming av luftinntak vurderes for blant annet påvirkning fra industri eller biltrafikk.
2	Personbelastning	Antall personer må ikke overstige det rommet er beregnet for med hensyn til blant annet ventilasjon. Vurderes ut fra persontetthet og CO <sub>2</sub> -konsentrasjon.
3	Spesielle forurensninger	Eventuell tobakksrøyking, asbeststøv eller -kilder, radongasser eller andre spesielle forurensninger.
4	Andre vanskelige forurensningskilder	Vanlige forurensningskilder som parfyme fra ansatte, kjemiske rengjøringsmidler, lukt fra yttertøy, søl i papirkurver osv.
5	Temperatur	Vurderes i fyringssesongen. Temperaturer, trekk, kaldras, ujevn varmestråling og temperaturgradienter vurderes.
6	Fukt og luftfuktighet	Relativ luftfuktighet skal ikke være så lav at det fører til irriterte slimhinner, eller så høy at det fører til kondens på vinduer eller andre kalde flater.

7	Lukt	Vurderes av personer med normal luktesans (ikke røykere). Utføres ved at kontrollpersonen kommer fra et område med frisk luft.
8	Støv, støvsamlere	Hvor renholdsvennlig er rommet? Mange horisontale flater høyt oppe vanskeliggjør renholdet. Teppegulv er en kilde til støv, kan være vanskelig å få rene.
9	Rengjøring	Vurdering av hvor ofte hovedrengjøring foretas og om løpende rengjøring foretas daglig eller ukentlig. Kvalitet på rengjøringen må også vurderes.
10	Ventilasjon	Generelle krav til ventilasjon basert på antall personer, CO <sub>2</sub> -konsentrasjon eller generelt luftskifte. Hvordan ventilasjonen er designet og styrt blir også vurdert.
11	Allergenkilder	Dersom mange jobber i samme lokale må det tas hensyn til allergier. Det gjelder allergier mot dyr, egg, nøtter osv.
12	Byggets historie (fuktskader?)	Informasjon om tidligere skader eller hvordan forholdene var den gangen bygget ble bygget. Eksempel på tid mellom støping av betong og legging av linoleum eller vinyl.
13	Støy og akustikk	Her ligger et roms akustikk samt lydnivå. Lydnivå kan komme utenfra, fra omliggende rom eller fra personalets arbeid i seg selv.
14	Belysning	Flimrende lyd, blendende lys og lysets fargeangivelse må vurderes i tillegg til mengden lys.
15	ENØK/HENØK (helse først)	Hvordan fungerer styringen av temperatur og ventilasjon? ENØK-tiltak må ikke gå på bekostning av helse.
16	Annet: fysisk tilrettelegging, orden, tilgjengelighet, trivsel, osv.	Vurdering av det mekaniske miljøet for eksempel tilgjengelighet for funksjonshemmede, sikring mot skader og ulykker og tilpassede arbeidsplasser. Estetisk miljø vurderes også. Vurderes etter skjønn.

Tabell 2.1: Skjema for KSM-metoden (Ingebrigtsen, 2019)

De forskjellige faktorene skal vurderes av en kvalifisert person som gir en karakter mellom 1-4 der:

- 1 = Godt
- 2 = Mindre godt
- 3 = Dårlig
- 4 = Meget dårlig

For å forbedre inneklima anbefales det utbedring på de punkter som vurderes til 3 eller 4. En person med spesiell opplæring, eventuelt erfaring fra lignende undersøkelser, regnes å være en kvalifisert person.

## 2.3 Ventilasjonsprinsipper

### 2.3.1 Fortrengningsventilasjon

Ved fortrengningsventilasjon tilføres luften nede ved gulvet og trekkes ut oppe ved taket. Den grunnleggende ideen bak fortrengningsventilasjon er at de fleste forurensningene i et rom er varme, og stiger oppover grunnet termisk oppdrift. Ved å tilføre friskluft ved gulvet og trekke den ut oppunder taket vil dette føre til en svært god luftkvalitet i oppholdssonen. Dette ventilasjonsprinsippet er spesielt hensiktsmessig i lokaler der det oppholder seg mye mennesker, eller andre steder det er nødvendig med svært god luftkvalitet, for eksempel laboratorier. En utfordring med dette prinsippet kan være den vertikale temperaturgradienten. Når hensikten med den tilførte luften er å fjerne overskuddsvarme vil det naturlig være en temperaturstigning fra gulv til tak. Derfor må en gitt grense for denne gradienten være et dimensjoneringskriterium om arealene fortrengningsventilasjonen skal bli benyttet i skal bli brukt av personer eller andre varmekilder som gir konveksjonsstrømmer (Skistad, 1989).

Ved fortrengningsventilasjon vil konsentrasjonen av forurensning i romluften dele seg inn i horisontale sjikt, hvor forurensningskonsentrasjonen stiger oppover mot taket. Konsentrasjonen av forurensning vil likevel ikke være høyere oppunder taket enn den er i hele rommet ved bruk av omrøringsventilasjon. Luften i oppholdssonen vil derfor være renere ved bruk av fortrengningsventilasjon og er derfor hensiktsmessig å benytte seg av der god luftkvalitet er en forutsetning. Følgende formel kan benyttes for å regne ut konsentrasjonen av forurensning i luften, forutsatt lik luftmengde og forurensningsbelastning, stasjonære forhold og at tilluften ikke inneholder forurensninger:

$$c_f = \frac{m_t}{q_i}$$

$c_f$  = forurensningskonsentrasjonen i den blandede luften [ $g/m^3$ ]

$m_t$  = forurensningsbelastning [ $g/s$ ]

$q_i$  =  $q_i$  = friskluftmengde [ $m^3/s$ ]

*Formel 2.1: Konsentrasjon av forurensning i luft*

Lufttilførselen ved fortrengning vil ikke ha noe problem med å bre seg utover store arealer til tross for at den blir tilført ved relativt lave hastigheter. Luftstrømningen brer seg utover gulvet som et «luftteppe» og plassering av tilluftsventilen har derfor mindre betydning enn om tilførselen skulle skjedd fra taket. Likevel kan denne luftstrømningen hindres om den møter på tilstøtende konveksjonsstrømninger, for eksempel kaldras fra en yttervegg. Her vil det danne seg omblending av romluften, selv om dette er helt nede ved gulvet. Slike forstyrrende luftstrømmer vil kunne skape en viss omblending i romluften, likevel vil fortrengningen i stor grad opprettholdes og ventilasjonseffektiviteten vil fremdeles være bedre enn ved bruk av omrøringsventilasjon.

Dersom det blir valgt å benytte fortrengningsventilasjon for å oppnå best mulig luftkvalitet er det viktig å avpasse luftmengden etter mateluftbehovet til eventuelle konveksjonsstrømmer for å få fullt utbytte av prinsippet. Dersom det er varmeoverskudd i rommet kan ikke

tilluften ha høyere temperatur enn romluften, ettersom luften vil strømme oppover og i veldig liten grad inn i oppholdssonen. Likevel kan den ikke holde mye lavere temperatur enn 0,5°C under romluften om det er liten eller ingen induksjon av romluft i den tilførte luften, dette vil føre til et kaldras og det vil oppstå et område ved gulvet under tilluftsventilen hvor lufthastigheten kan bli betydelig høyere enn ut av fronten til tilluftsventilen. Dette fører til at temperaturen vil være kaldere i dette området enn i resten av rommet. Trekk ved gulvet er derfor noe det må tas ekstra hensyn til ved prosjektering av anlegg hvor fortrenningsventilasjon blir anvendt. Dersom tilluften har samme temperatur som romluften vil luften strømme ut i rommet i en tilnærmet laminær strøm.

Det stilles ulike krav til tilluftsventilen ut ifra hva som ønskes oppnådd med ventilasjonen. Tilluft med lav hastighet og så liten grad av turbulens som mulig er spesielt hensiktsmessig dersom god luftkvalitet i oppholdssonen er målet, og å tilføre luft gjennom en filtermatte vil være særlig fordelaktig i et slikt tilfelle. Om målet derimot er å fjerne overskuddsvarme og det er ønskelig å tilføre undertemperert luft vil en ventil som sørger for en viss grad induksjon av romluft lønne seg for å forhindre gulvtrekk. Desto større temperaturdifferanse det er på tilluften og avtrekksluften, jo større grad av induksjon kreves. Hvor stor induksjonsgrad en ventil har er avhengig av i hvor stor grad den er perforert, der liten perforeringsgrad gir større grad av induksjon (Skistad, 1989).

### 2.3.2 Omrøringsventilasjon

Omrøringsventilasjon er det mest vanlige ventilasjonsprinsippet og god omrøring vil føre til lik luftkvalitet i hele rommet. Prinsippet er at friskluften blir tilført med høy hastighet utenfor oppholdssonen, gjerne høyt oppe på en vegg eller fra taket, slik at det dannes en luftstråle. Romluften vil induseres i luftstrålen og sørge for at lufthastigheten og temperaturen blir utjevnet når luftstrålen når oppholdssonen. (Tekna, 2016)

Trekk unngås ved at hele luftmassen i et rom settes i bevegelse, og dette er derfor en effektiv ventilasjonsmetode for å kjøle ned et rom på en komfortabel måte. I tillegg kan temperaturen på tilluften ved omrøringsventilasjon være lavere enn ved fortrenningsventilasjon på grunn av den høye induksjonen av romluft i den tilførte luften. En ulempe er derimot at forurensningene som allerede er i rommet spres utover all luften i hele rommet, ettersom den nye, friske luften blander seg godt med romluften. Avtrekksventilene bør ikke plasseres for nære tilluftsventilene, dette kan føre til kortslutning. Ved tilfeller der det tilføres overtemperert luft vil ventilasjonseffekten kunne bedres ved å plassere avtrekksventilene ved gulvnivå. (Naaf, 2016)

Dersom dette ventilasjonsprinsippet benyttes er det viktig å være oppmerksom på rommets utforming, spesielt med tanke på hindringer. Lysarmaturer, søyler og dragere er alle hindringer som kan føre til at ønsket strømningsbilde ikke oppnås. Videre kan dette føre til tilstrekkelig omrøring av luften ikke oppnås. Lysarmaturer kan for eksempel føre til at luftstrålen løsner fra taket tidligere enn tilsiktet. Dersom en hindring ikke skal ha innvirkning på luftstrømmen må den tilsvare mindre enn 2% av høyden på rommet (Regenscheit, Stensaas, 1973, s. 271). Utformingen av rommet som skal ventileres har også innvirkning på strømningsbildet, og dersom tverrsnittet på luftstrålen utgjør rundt 40% av rommets



tverrsnitt vil det ikke lenger være noe induksjon av romluft i strålen og den vil etter hvert oppløses.

I et ventilert rom er det ønskelig å unngå stillestående luft, men samtidig unngå ubehagelig trekk i oppholdssonen. For å oppnå dette er det ønskelig at lufthastigheten til omrøringsstrømmen holder seg mellom 0,1 m/s og 0,3-0,5 m/s, avhengig av graden fysisk aktivitet i rommet. Om det er romdybden eller innblåsningshastigheten som blir dimensjonerende faktor kommer blant annet an på hvilken type stråle som er anvendt (Stensaas, 1973).

### 2.3.3 Behovsstyrt ventilasjon

Behovsstyrt ventilasjon er et ventilasjonssystem der luftmengden, eller den tilførte varme- eller kjøleeffekten reguleres automatisk etter det faktiske behovet. Dette innebærer at anlegget får styresignaler fra romsensorer og reguleres for å oppnå ønsket kvalitet på inneklimaet. Et slikt system kan med fordel benyttes i bygg eller rom der det er stor variasjon i ventilasjonsbehovet over tid, som for eksempel i næringsbygg.

Et eksempel på behovsstyrt ventilasjon er en VAV-løsning, variable air volume. I motsetning til andre ventilasjonssystemer som holder en konstant luftmengde og er temperaturregulert, holder et VAV-system en konstant innblåsningsstemperatur mens luftmengden er variabel. Slike system kan for eksempel reguleres etter kjølebehovet i et rom, hvor luftmengden avtar i takt med kjølebehovet. Systemet kan også reguleres etter luftkvaliteten, hvor tilført luftmengde øker dersom luftkvaliteten ikke er tilfredsstillende og avtar når denne bedres. For å treffe brukerens behov så presist som mulig vil det beste være å kombinere disse to, slik at luftmengden reguleres av både temperatur og luftkvalitet i rommet. I begge tilfeller styrer en romsensor åpningen til et motorisert spjeld for å øke eller minske luftmengden inntil ønsket resultat er oppnådd.

Med et behovsstyrt anlegg er det med andre ord mulig å detaljstyre hva som skal regulere ventilasjonen. Dette kan være temperatur, relativ luftfuktighet, luftkvalitet med tanke på for eksempel CO<sub>2</sub> og VOC, om det er mennesker i rommet (bevegelsessensor) eller andre faktorer som påvirker ventilasjonsbehovet i rommet. Det er anbefalt å benytte foretregningsventilasjon og at romsensoren(e) er plassert i den høyden hvor det er størst behov for god luftkvalitet, eller noe lavere i rom der konveksjonsstrømmer fører til at overgangen mellom ren og uren sone kan ligge lavere. Plasseringen i rommet må være i et punkt med representativ temperatur og luftkvalitet, her er det viktig å være oppmerksom på dører som kan bli stående åpne, dimmere, direkte sollys, søppelbøtter og andre kilder til særlig lokal påvirkning. (Sintef Fag, 2014)

## 2.4 Oppvarmingsmetode

For å opprettholde ønsket inneklima er det normalt nødvendig med oppvarming. Det er flere ulike metoder for oppvarming som varierer fra helt enkle løsninger til mer avanserte.

Noen av de enkleste oppvarmingsmetodene er mobile varmeovner og vifteovner. En vanlig mobil varmeovn er oljeovnen, som inneholder olje oppvarmet med elektrisitet. Luften varmes opp ved stråling og kontakt med ovnens overflate, derfor har de ofte riller for å øke dets areal. Oljeovner har tidligere vært en gjentakende årsak til husbranner (Rosland,

2006), og det bør derfor kontrolleres at de har tilstrekkelig overhetsikring. Oljekonvektorer er en mer moderne oljeovn som kan spre varmen noe mer effektivt, ettersom de baserer seg på konveksjon. Det er konveksjon gjennom ovnen ved at varm luft er lettere en kald luft og stiger oppover. For å øke denne effekten er noen konvektorer utstyrt med vifte, disse kalles viftekonvektorer. Konvektorer kan gi ujevn vertikal temperatur, hvor det er kaldere ved gulvet og varmere ved taket (Zijdemans, 2018), på grunn av at luftstrømmen vil strømme oppover.

Vifteovner har et elektrisk varmeelement som en vifte fører luften gjennom, dette kan være en effektiv oppvarmingsmetode ettersom luftstrømmen sprer varmen raskt. Temperaturen i rommet kan likevel være nokså ujevn ettersom temperaturen fra viften oftere er varmere enn ønsket innetemperatur og det vil være steder hvor luftstrømmen ikke kommer like lett frem, den varme luftstrømmen kan virke tørrende.

Varmepumpe er en oppvarmingsmetode som gir noe mer kontroll. Brukeren kan selv styre til ønsket modus, som ofte inkluderer temperatur og viftehastighet. I tillegg til å være en metode for oppvarming, kan varmpumper også kjøle og avfukte, samt at de er utstyrt med filter. Det finnes varmpumper som også kan befukte og føre inn friskluft utenfra. Noen befukter ved å trekke fukt fra utelufta og tilføre det til innelufta. Effekten av disse vil variere fra uteluftens fuktinnhold, og vil derfor fungere dårligere ved kalde utetemperaturer. Varmepumper kan også installeres med multisplitt, hvor det er flere innedeler for en utedel. Hver innedel kan styres forskjellig, men det er ikke mulig å ha en innedel for oppvarming, mens den andre kjøler. Det er altså utedelen som styrer om varmpumpen skal kjøle eller varme. Det kan oppstå små svingninger i temperatur og relativ luftfuktighet i det varmpumpen regulerer. For eksempel vil den kunne kjøle i en kort periode i det den avfukter. Ettersom luftstrømmen fra varmpumpen vanligvis er i mindre grad overtemperert egner det seg bedre enn blant annet vifteovner til å vedlikeholde innetemperaturen, i tillegg vil rommet kunne føles jevnere oppvarmet. Luftstrømmen fra varmpumpen kan oppleves som en tørrende trekk.

Varme i ventilasjonsanlegg forsynes som regel av varmegjenvinner og varmebatteri. Varmegjenvinner utnytter varme som ellers ville blitt sendt ut. Ved behov for overtemperert tilluft er nødvendig å supplere med et varmebatteri. Ventilasjonsanlegg gir også mulighet for å kontrollere andre faktorer slik som temperatur, lufthastighet, luftkvalitet og relativ luftfuktighet. Ved å benytte sensorer i rom og i aggregat kan regulering av disse skje nøyaktig. Antall ventil og plassering av disse påvirker luftsirkulasjonen, og de kan justeres til ønsket strømningsbilde. Dette kan gi et jevnt oppvarmet rom. Fordi det er uønskelig med høy overtemperert tilluft kan det i noen tilfeller være behov for å benytte eksterne varmeavgivere.

## 2.5 Avfuktning og befuktning

Fukt er skadelig for bygning og inneklima. Dersom luften er for fuktig eller for tørr, kan dette føre til ubehag og skade på materiell, i tillegg kan fuktig luft lede til forekomst av mugg. Store svingninger i relativ luftfuktighet er uheldig for hygroskopiske materialer, for eksempel kan store svingninger gjøre at treverk bøyer og vrir seg eller får sprekker. Generelt anbefales en relativ luftfuktighet på 20-40% (Naaf, 2008) i rom der mennesker skal oppholde seg.

Mennesker tåler gjerne høyere relativ luftfuktighet enn 40%, men kvaliteten av inneklime kan reduseres ved verdier over 40-50% RF av andre årsaker. Insekter og støvmidd trives mye bedre ved høyere relativ luftfuktighet og faren for fuktskade og mugg øker. Bruken av rommet er likevel avgjørende for hvilken relativ luftfuktighet som er mest optimal. For å kontrollere riktig luftfuktighet i rommet kan det benyttes avfukter og befukter i ventilasjonsanlegget som styres av en hygrostat som plasseres der det er ønskelig å kontrollere den relative luftfuktigheten. Det kan også benyttes direkte avfuktere og befuktere, hvor apparatet plasseres direkte i rommet.

### 2.5.1 Avfuktning

Avfuktning benyttes for å redusere luftfuktigheten. Det er vanlig å skille mellom to typer avfuktning; sorpsjonstørking og kjøling. Ved sorpsjonstørking vil fuktighet bindes til et stoff, eksempelvis silicagel. Når silicagelen har absorbert tilstrekkelig fukt, kan den brukes igjen ved at den blåses med luft på temperatur mellom 150-300°C for å drive fukten ut. Avfuktning ved kjøling skjer gjennom en prosess hvor vann skilles ut ved temperaturer lavere enn duggpunktet. Denne metoden egner seg ikke om duggpunktet er under 0°C, på grunn av fare for frostdannelse på kjøleflaten.

### 2.5.2 Befuktning

En befukter har som hensikt å øke luftfuktigheten i anlegget. Det er ikke lengre vanlig å bruke befukter i vanlige oppholdsrom, ettersom det er ønskelig å redusere sannsynligheten for muggvekst. Befuktere brukes likevel fremdeles hvor det stilles spesielle krav til luftfuktigheten. Som metode for befuktning i ventilasjonsanlegg skilles mellom vannfuktning og dampfuktning.

Vannfuktning øker luftfuktigheten ved direkte kontakt mellom vann og luft. Vannet fordamper og blander seg med luften, større kontaktflate gir høyere fuktningsgrad. I det vannet fordampes tar det opp energi fra omgivelsene, altså varme, gjennom en slik type befukter vil dermed lufttemperaturen reduseres. Det finnes befuktere med innebygd varmeelement for å opprettholde temperaturen. Enkelte befuktere, blant annet skivefuktere, bør installeres med en dråpefanger for å unngå utskilling av vann i ventilasjonskanalene.

Dampfuktning fukter luften med tilførsel av damp, en dampgenerator i fukterenheten produserer denne dampen. Renholdet er viktig ved slike anlegg, ettersom dannelse av kjelstein kan gi dårlig lukt. Dampfuktning har liten temperaturpåvirkning, som er fordelaktig med tanke på regulering.

Det finnes flere varianter av direkte befuktere som plasseres i oppholdsrom, ofte fungerer disse ved å produsere damp, men det finnes også ultrasoniske befuktere som produserer kald vanndamp.

## 2.6 Filter

Uteluft kan i stor grad medføre nedsmussing av lokaler om den ikke filtreres før den føres inn i rommet. For å få et godt inneklime vil det derfor være nødvendig å redusere mengden partikler i luften, det er også til fordel for å unngå smuss i aggregat og anlegg. Vanlige partikler og gasser fra uteluften er blant annet sot, røyk, organiske materialer og pollen. Det

er høyest partikkelkonsentrasjon i industriområder og større byer. Over tid vil trykkfallet over filterne øke ettersom filteret tettes igjen, og for høyt trykkfall kan gi problemer for resten av anlegget. En filtervakt vil kunne gi beskjed til den som er ansvarlig for vedlikeholdet om at filteret bør skiftes ut, og i alle tilfeller bør et filter byttes ut minimum en gang i året.

Det er flere ulike filter som kan benyttes avhengig av hvilke krav som stilles til inneklimate. Ventilasjonsfilter skal testes i henhold til ISO 16890 og blir klassifisert ut ifra tre ulike PM-klasser, der tallet representerer partikkelstørrelsen målt i  $\mu\text{m}$ , se tabell 2.2 (Standard Norge, 2016).

PM-klasse	Partikkelstørrelse ( $\mu\text{m}$ )	Filtrerer
PM <sub>1</sub>	$0,3 \leq x \leq 1$	Lungeskadelig støv, nanopartikler, asbest
PM <sub>2,5</sub>	$1 \leq x \leq 2,5$	Soppsporer, pollen, bakterier
PM <sub>10</sub>	$2,5 \leq x \leq 10$	Fin sand, partikler fra asfaltslitasje

Tabell 2.2: PM-klasser filter blir testet i

Hvilken klasse et filter plasseres i avhenger av filtreringsegenskapene det har i de tre PM-klassene. Minstekravet er at utskillingsgraden til filteret må være på 50% eller mer hvor det skal rundes ned til nærmeste 5%. Slik at om et filter stopper 62% av alle partikler i partikkelklasse PM<sub>2,5</sub>-klassen vil det havne i filterklasse ISO PM<sub>2,5</sub> og få betegnelsen ePM<sub>2,5</sub> 60%. Den siste filterklassen er ISO Grov, her havner filteret dersom utskillingsgraden av PM<sub>10</sub>-partikler er under 50%. Det er de aller minste partiklene i luften som er mest skadelig for helsa og derfor skal det benyttes filter i filterklasse ePM<sub>1</sub> til å filtrere inneluft. Desto høyere krav det er til luftkvalitet, desto høyere prosentverdi kreves det innenfor denne klassen.

Filterklasse	Krav ePM <sub>1</sub>	Krav ePM <sub>2,5</sub>	Krav ePM <sub>10</sub>
ISO Grov			<50%
ISO PM <sub>10</sub>			≥50%
ISO PM <sub>2,5</sub>		≥50%	
ISO PM <sub>1</sub>	≥50%		

Tabell 2.3: Filterklasser og krav

Karbonfilter eller kullfilter er effektivt mot lukt og flere typer gasser blant annet svoveldioksid og nitrogendioksid, samt VOC. Filter med aktivt kull egner seg for et bredt spekter av gasser, mens filter med impregnert kull er best mot spesifikke gasser i større konsentrasjoner. Et slikt filter bør benyttes der det stilles strenge krav til ren luft. Det finnes kombifilter med partikkel- og kullfilter som stopper både gasser og partikler.

I tillegg til tilluftsfilter vil det være hensiktsmessig at luftinntaket filtrerer ut forurensninger og fuktighet til en viss grad før luften kommer inn i ventilasjonsanlegget. Forurensning som løv, insekter og støv i tillegg til fuktighet i form av regn, tåke eller snø er noe som med fordel kan filtreres ut ved luftinntaket. Norske forhold skiller seg ut fra verden for øvrig og Bergensristen er et eksempel på et luftinntak som er spesielt utviklet for å takle forholdene og klimaet i Norge. En slik rist har et grovfilter som filtrerer både fuktighet og forurensninger, og på denne måten vil tilluftsfilteret bli avlastet fra for mye fuktighet og

store partikler som kan føre til redusert effekt og levetid. Dette vil også være med å forhindre vekst av muggsopp og annen uheldig mikrobiologisk vekst både i ventilasjonsfilteret og -anlegget (BVP, 2020).

## 2.7 Lufthastighet

I bygg hvor det oppholder seg mennesker bør ikke lufthastigheten på tilført luft overstige 0,15 m/s (Arbeidstilsynet, 1991), overstigende verdier vil kunne oppleves som trekk. Trekk kan forårsake uønskede temperaturforandringer i mindre områder av rommet, som igjen kan føre til uønskede temperatursvingninger i resten av rommet. For å redusere risikoen for mikroklima, og for å føre bort eventuelle avgasser, kreves det uansett en viss luftsirkulasjon (Standard Norge, 2015), men for høy lufthastighet kan føre til uttørking og skade på enkelte materialtyper. Dersom et hygroskopisk materiale blir utsatt for trekk over tid vil dette kunne medføre fysisk stress i materialet som fører til skader, noe som ikke er ønskelig i forbindelse med oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale.

## 2.8 Fukt i konstruksjon under bakkenivå

Fuktskader er et vanlig problem i konstruksjoner under bakkenivå, nøye fuktsikring av underetasjer bør derfor vektlegges. Typiske kilder til fukt er fukttransport gjennom materialer og kondensasjon av inneluft på kalde flater. Sintef Byggforsk har flere anbefalinger for hvordan det i størst mulig grad kan unngås fukt i bygninger.

### 2.8.1 Kondensasjon

Kald luft kan holde på mindre vann enn varm luft. Når lufttemperaturen synker, vil derfor den relative luftfuktigheten stige. Om temperaturen synker helt ned til duggpunktet, hvor det er 100% RF, vil det skilles ut vann fra luften – kondens. Kalde flater vil derfor kunne medbringe fuktigere luft og en større sannsynlighet for kondens. Slike kalde flater kan oppstå på grunn av kuldebroer og dårlig eller manglende isolasjon. Et tegn på at fuktskader i en kjeller skyldes kondens, er at det dannes fukt øverst på vegger langs taket på vinterstid, eller langs gulvet på sommerstid (Geving og Blom, 2011a). På vinteren er utetemperaturen kaldere enn temperaturen dypt i bakken, veggene langs taket blir dermed den kaldeste flaten og luften kondenserer her. På sommeren er det kaldere i bakken mens utetemperaturen er varmere, dette medfører en kaldere flate og dermed kondens ved gulvet. God ventilasjon, stor luftutskiftning og varme vil kunne hjelpe med å tørke ut luften og forhindre at fukten blir liggende på overflaten.

Duggpunktet kan finnes ved hjelp av ulike instrumenter. Det er også mulig å bruke Mollier-diagram så lenge verdier for temperatur og relativ luftfuktighet er tilgjengelig. Det finnes også en duggpunkt kalkulator som baserer seg på Arden Bucks likning (Yaga, u.å). Ved å finne duggpunktet er det lettere å anslå risikoen for kondens.

$$p_g = 6,1121 \times e^{\frac{(18,678 - \frac{T}{234,5}) \times T}{257,14 + T}}$$

$$p_g = \text{Vanndampens metningstrykk [hPa]}$$

$$T = \text{Målt lufttemperatur [°C]}$$

Formel 2.2: Arden Bucks ligning

### 2.8.2 Fukttransport

Vann kan trenge inn i konstruksjoner fra utsiden av veggene. Mange materialer som benyttes i bygninger er hygroskopiske, de trekker til seg fuktighet fra omgivelsene til porer og hulrom. Murverk, porøs betong og treverk er eksempler på slike materialer. Blir materialet stående i en vannkilde kan kapillære krefter suge opp vann gjennom større porer, og vannet trekkes inn i konstruksjonen.

Fukttransport av damp forekommer i hovedsak fra diffusjon og luftlekkasjer. Før den kapillære effekten inntreffer er fukttransporten i gassform, dette er diffusjon.

Vanndamptransporten gjennom et materiale ved diffusjon kan beskrives ved denne formelen (Edwardsen og Ramstad,2014):

$$g = \delta_p \times \frac{\Delta P_v}{d}$$

der:

$$g = \text{Vanndamptransport [kg/m}^2\text{s]}$$

$$\delta_p = \text{Materialets vanndamppermeabilitet [kg/msPa]}$$

$$\Delta P_v = P_{v2} - P_{v1} = \text{Forskjellen i damptrykk på de to sidene av materialet [Pa]}$$

$$d = \text{Materialets tykkelse [m]}$$

*Formel 2.3: Dampgjennomgang*

Diffusjon kan forekomme gjennom flere typer materialer, men vanndamptransporten er lavere jo mer damptett materialet er, lavere vanndamppermeabilitet gir mindre fukttransport. For tynnere materialsjikt som dampsperrer og gulvbelegg er det ikke vanlig å regne med tykkelsen på materialet, men formelen formuleres til å passe informasjonen oppgitt om materialet (Edwardsen og Ramstad,2014):

$$g = \delta_{Luft} \times \frac{\Delta P_v}{s_d} = W_p \times \Delta P_v = \frac{\Delta P_v}{Z_p}$$

der:

$$\delta_{Luft} = \text{Luftas vanndamppermeabilitet tilnærmet lik } 1,95 \times 10^{-10} \text{ [kg/msPa]}$$

$$s_d = \text{Ekvivalent luftlagstykkelse [m]}$$

$$W_p = \frac{\delta_p}{d} = \text{Vanndamppermeansen [kg/m}^2\text{sPa]}$$

$$Z_p = \frac{1}{W_p} = \text{Vanndampmotstanden [m}^2\text{sPa/kg]}$$

*Formel 2.4: Dampgjennomgang i tynnere materialsjikt*

Eksempelvis er nedre anbefalt grense for dampsperre en  $s_d$ -verdi på 10m. Brukes det dampsperre av polyetylenfolie er det sikkert at diffusjon fra inneluften ikke vil føre til fukt i konstruksjonen, gitt at det er tett. 0,2 mm polyetylenfolie har en ekvivalent luftlagstykkelse på 90 m. (Edwardsen og Ramstad,2014). For å regne vanndamptransporten gjennom flere sammensatte sjikt, kan siste ledd i formel 2.4 benyttes, hvor vanndampmotstanden,  $Z_p$ , fra hvert sjikt summeres.

Luftlekkasjer gir ofte større fukttransport enn diffusjon. Mesteparten av året er de fleste bygg varmere inne enn ute, spesielt oppunder taket, her er lufttrykket høyest. Vanligvis er det luftstrømmer innenfra og ut som gir størst risiko for fukt, på grunn av høyere temperatur og dermed høyere dampinnhold. Er det lekkasje i dampsperran kan det medbringe mye fukt i konstruksjon og isolasjon ettersom det er stor sannsynlighet for kondens når den varme luften møter de kalde materialene i konstruksjonen. I underetasjer og kjellere er det derimot ofte undertrykk, og fuktig luft kan suges inn fra grunnen gjennom utettheter.

### 2.8.3 Konstruksjonsprinsipper

Yttervegger under bakkenivå må fuktsikres med andre prinsipper enn yttervegger over bakken. Hvilken metode som er best vil avhenge av bruken av kjellerrommet, spesielle krav til inn klima vil kreve ulike løsninger. I tillegg til utforming av selve konstruksjonen skal det utføres tiltak for å redusere vann i grunnen. Det skal være fall fra vegg, slik at regn og annet overvann ikke blir liggende inntil bygningen, takvann skal føres bort fra husveggen og det bør være drenerende masser rundt veggen som finpukk og lettklinker. Eksempelvis kan det legges kanaler med pukk og fiberduk, hvor fiberduken hindrer at finkornet masse blandes med pukken og reduserer den drenerende effekten. Fiberduken vil også hindre finkornet materiale å tette igjen drensledningen. Drensledningen må være dimensjonert riktig med tanke på kapasitet og ligge langt nok ned slik at deler av konstruksjonen ikke blir stående i vann, med hensyn til kapillæreffekten.

Både for komfort og fuktsikring er det hensiktsmessig å isolere overflater. U-verdien i vegger mot oppvarmede rom skal etter energitiltaksmetoden normalt være  $\leq 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Isolasjon kan plasseres både utvendig og innvendig, men det anbefales at innvendig isolasjon ikke utgjør mer enn 50% av den totale isolasjonstykkelsen (Edvardsen og Ramstad, 2014). Innvendig isolasjon gir en fare for kondens mellom isolasjonen og grunnmuren, ved utvendig isolasjon reduseres denne risikoen. God isolasjon vil også gjøre det lettere å opprettholde ønsket inn klima og dermed være energisparende.

For å hindre at vann og fuktig luft trenger inn i bygningen bør underetasjer være lufttette. Moderne betong av god kvalitet kan anses som lufttett, og suger til seg mindre kapillært vann. Det skal benyttes sperresjikt for å hindre at vann suges inn i konstruksjonen. Betong og murvegger skal være fri for sprekker og skader, og må overflatebehandles. Det er også vanlig å legge grunnmursplate av plast på utsiden av veggen, som et vannavvisende og kapillærbrytende sjikt. Lekkasje i drensledning eller sperresjikt, sprekker og åpninger dukker ofte opp som punkter med fuktskade innendørs (Geving og Blom, 2011a). Ved nylig støpt betong, eller ved utbedring av eldre vegger som har vært utsatt for fukt, må materialet ha mulighet for uttørking. Utvendig, dampåpen isolasjon gjør at betongen kan tørke utover. Ved bruk av dampåpen isolasjon bør det ikke benyttes grunnmursplate mellom betongen og isolasjonen ettersom prinsippet baseres på at damptransporten går gjennom isolasjonen. Oppvarmede rom gir også en hurtigere og mer effektiv uttørking. Innvendig kledning vil kunne redusere uttørking mot inneluften, og det er derfor ofte ikke ønskelig med innvendig dampsperre. Om inneluften derimot inneholder svært mye fukt kan det være hensiktsmessig med damp tett kledning.

I gulv skal det legges 0,2mm plastfolie over isolasjon for å beskytte gulvet for fukt (Edwardsen og Ramstad,2014). Det er viktig at gulvet er tilstrekkelig isolert for å unngå kuldebroer og kalde gulv. For kjellergulv uten dampsperre og isolasjon anbefales dampåpen maling eller gulvbelegg. Ulike malinger inneholder en mengde avgasser, hvor moderne malinger har lavere innhold enn eldre.

#### 2.8.4 Uttørking

Det er alternative metoder for å redusere fukt i kjellere som ikke innebærer utbedringer av konstruksjonen. Byggtørking er én metode og den er vanlig å utføre i fuktige kjellere og i nye bygg. Ved uttørking av bygg og rom fjernes overflødig fukt som ellers kan føre til skade og uønsket inneklima. En vanlig metode for byggtørking er at rommet oppvarmes og en avfukter trekker fukten fra luften. Varmen gjør at fukten fra materialet fordampes fortere i romluften og avfukteren skiller dette vannet ut. Fukt lengre ned i bakken vil trekke enda lengre ned på grunn av forskjellen i damptrykk. I fuktig grunn kan en del fukt trekke tilbake, spesielt om dreneringen ikke fungerer optimalt. Byggtørking vil derfor ha en mer langvarig effekt om dreneringen er tilstrekkelig. Hvor lang tid byggtørkingen tar vil variere avhengig av størrelsen av rommet, tykkelse og fuktmengde i materialer, ønsket fuktmengde og luftens temperatur og relativ luftfuktighet.

En annen metode er elektroosmose som baserer seg på at vannmengder forflytter seg fra positiv elektrode til negativ elektrode (Geving og Blom, 2011a). Det fuktige materialet utsettes for en forskjell i elektrisk spenning som gir overflaten i porene et negativt potensial. En andel positive ioner i vannet vil legge seg som et sjikt mot materialoverflaten. De resterende positive ionene beveger seg i retningen mot den negative elektroden som plasseres på utsiden av vegg. Disse ionene tar med seg vannmengden i porene ved hjelp av viskøse krefter, som holder vannet sammen. Effektiviteten på denne metoden er varierer av flere ulike faktorer. Saltinnholdet i vannet bør ikke være for stort, 2 - 3% saltinnhold reduserer effekten betydelig og etter 6% er effekten tilnærmet opphørt (Geving og Blom, 2011a). Effekten gjelder hovedsakelig i porøse materialer med små porer og hulrom. Elektroosmose vil ikke ha effekt ved større hull som sprekker og skader i materialet, ettersom ionene ikke vil kunne dra med seg vannet. Stor tetthet av vann i materialet gir større fukttransport. For lav pH, rundt 3,5 - 4, kan redusere effekten ved elektroosmose. Ved sure forhold kan overflaten i materialet få en positiv ladning i motsetning til negativ, som i verste tilfelle kan gi motsatt retning på vannstrømmen, og forverre fuktproblemet. Det er derfor viktig at forholdene undersøkes før det benyttes elektroosmose.



### 3 Metode

I følgende kapittel presenteres hvordan og hvorfor de forskjellige undersøkelsene har blitt utført. Det er i den forbindelse fulgt anbefalinger og retningslinjer beskrevet i NS-EN 15758 (Standard, 2010). Undersøkelsene har forskjellig varighet, der det benyttes loggere er måleperioden over flere uker, mens resterende undersøkelser (varmekamera, fuktmåling og lufthastighet) er utført kun én gang.

Det ble utført en befarings i magasinet før undersøkelsene ble gjennomført. Observasjoner gjort under denne la et grunnlag for hvilke undersøkelser det var ønskelig å utføre. Det ble blant annet observert synlige fuktskader på enkelte overflater i rommet, og varmetapet i enkelte områder i rommet var ønskelig å undersøke nærmere.

Det ble vurdert om det skulle tas støvmålinger inne i filterkassene til frisklufttilførselen, men ettersom disse er stengt og ikke i bruk ble det vurdert til at dette ikke er nødvendig. Kassene ble åpnet for inspeksjon, og var som forventet rene ettersom det ikke passerer noe luft igjennom dem.

#### 3.1 Valg av metode

Det ble tidlig avklart at en oversikt over temperatur og relative luftfuktighet i magasinet over tid var viktig for å kartlegge tilstanden til inneklimate. Derfor ble det satt i gang logging av disse to faktorene tidlig for å få et bredt spekter av værforhold, tid på døgnet og årstid. En svakhet med de andre undersøkelsene er at de kun er gjort én gang. Dette kan påvirke konklusjonen som tas ut ifra resultatene ettersom undersøkelser fra andre dager med andre ytre forhold kunne ført til andre resultater.

Følgende undersøkelser er utført:

- Logging av temperatur og relativ luftfuktighet
- Logging av utetemperatur
- Undersøkelse med varmekamera
- Fuktmåling av overflater
- Lufthastighetsmåling

I tillegg ble det gjennomført litteratursøk i forbindelse med innhenting av relevant teori.

#### 3.2 Utstyr og feilkilder

Utstyr	Serienummer	Bruksområde
EasyLog EL-USB-2	10205368, 10203940, 10204810, 10204540, 10203966, 10204078, 10205511, 10205343	Logger temperatur og relativ luftfuktighet (i magasinet)
LogSo ET 5300 USB	583115	Logger temperatur (utendørs)
FLIR T640bx	55909862	Varmekamera
Protimeter MMS2	8810015809	Fuktmåler
SwemaAir 300	362139	Trekkmåler

Tabell 3.1: Utstysliste

Måleutstyr	Systematiske feil	Tilfeldige feil
<b>Logger i magasin</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lite strøm på batteriet</li> <li>- Feilkalibrert måleutstyr</li> <li>- Feil i tilhørende programvare som fører til at oppstart og innhenting av data fra loggerne ikke går som det skal</li> <li>- Andre feil i loggerne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brukerfeil av programvare og logger</li> <li>- Plasserer feil logger i feil punkt i henhold til vedlegg 1</li> </ul>
<b>Logger utendørs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lite strøm på batteriet</li> <li>- Feilkalibrert måleutstyr</li> <li>- Andre feil med loggeren</li> <li>- Feil i tilhørende programvare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brukerfeil av programvare og logger</li> <li>- Brudd på ledning</li> <li>- Termoelementet er plassert feil</li> </ul>
<b>Varmekamera</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Feilkalibrert måleutstyr</li> <li>- Lite strøm på batteriet</li> <li>- Feil på minnekort</li> <li>- Andre feil på varmekamera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ufokuserte bilder kan gi feil verdier</li> <li>- Ytre påvirkning som vanligvis ikke er der, f. eks. hyller på gulvet eller personbelastning</li> <li>- Feil ved overføring fra minnekort til datamaskin</li> </ul>
<b>Fuktmåler</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Feil med måleutstyr</li> <li>- Feilkalibrert måleutstyr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uinteressante målepunkter</li> <li>- Målepunkter som har blitt oversett</li> <li>- Feil ved avlesning av verdier</li> <li>- Feil bruk av utstyr</li> </ul>
<b>Lufthastighetsmåler</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Feil på trekkmåler</li> <li>- Feilkalibrert måleutstyr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plassering av måleutstyr</li> <li>- Påvirkning av mennesker som sto i nærheten</li> <li>- Feil bruk av utstyr</li> </ul>

Tabell 3.2: Mulige feilkilder for måleutstyr

### 3.3 Litteratursøk

For å ha et tilstrekkelig teoretisk grunnlag er det gjennomført en litteraturstudie for å få oversikt over kunnskap som er relevant og viktig for oppgaven. Dette omfatter blant annet teori om ventilasjonsprinsipper, fukt i konstruksjoner og oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale. Litteratursøkene omfatter læreboklitteratur, standarder og tidligere prosjekt og oppgaver. Det er ikke mye informasjon å finne fra lignende prosjekter, men det er gitt innsikt i et lignende prosjekt som omfatter lagring av arkiv- og biblioteksmateriale i et sikringsmagasin til nasjonalbiblioteket i Mo i Rana, gjennom Soon Clima AS. Bøkene *Ventilasjonteknikk, 1: Grunnlaget og systemer* (Stensaas, 1973) og *Ventilasjonteknikk, 2: Komponenter – Industriventilasjon – Innregulering m.m.* (Stensaas, 1976) er mye benyttet, og er kjent fra tidligere emner ved NTNU. Dette sammen med standarder som omfatter de forskjellige temaene, gode fagartikler og enkelte andre fagbøker utgitt av VVS-foreningen gir et godt teoretisk grunnlag for utarbeidelse av innholdet i rapporten.

### 3.4 KSM-metoden

Det er valgt å benytte KSM-metoden for en enkel gjennomgang av inneklimate i BT1, og for å sammenligne med resultater fra andre undersøkelser som tas i magasinet. Dersom det er samsvar med andre undersøkelser vil resultatene av KSM-metoden i så fall kunne bygge oppunder disse.

Metoden gjelder i hovedsak for inneklimate hvor det skal oppholde seg mennesker, men ettersom flere av parameterne er aktuelle for magasinet som skal analyseres i denne rapporten kan den være nyttig å gjennomføre. De punktene som ikke er relevant i akkurat denne sammenhengen vil ikke bli vurdert, mens andre punkter vil kunne bli noe endret for å være mer gjeldene.

### 3.5 Logging av temperatur og relativ luftfuktighet

Loggerne er plassert i fire punkter i rommet, med to logger i hvert punkt, se vedlegg 1. De er festet med teip og tråd, se figur 3.1. Ifølge databladet for loggerne er måleusikkerheten  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  for temperatur og  $\pm 0,5\%$  for relativ luftfuktighet.



Figur 3.1: Metode for opphenging av loggerne

#### 3.5.1 Testmåling 30.01.20 – 31.01.20

For å bli kjent med magasinet og utstyret som skal brukes til å logge temperatur og relativ luftfuktighet ble det utført en testmåling. Denne målingen ble utført for å minske sannsynligheten for feil ved bruk av loggerne og resultater, slik at loggingen over en lengre tidsperiode blir utført riktig. Det skal også undersøkes om målepunktene gir ønsket dekning i magasinet, slik at senere resultater er representative og kan brukes til å komme med relevante løsninger og tiltak spesifikt for BT1. Testen utføres ved at de åtte loggerne tar målinger hver time i løpet av ett døgn. Resultatet av målingene skal også gi et bilde av usikkerheten som kan forventes senere, blant annet med tanke på hvor lang tid det tar før verdiene stabiliserer seg for magasinet.

### 3.5.2 Logging 31.01.20 – 13.05.20

Hensikten med målingene er å kartlegge inneklimate i magasinet, med tanke på temperatur og relativ luftfuktighet. Det er logget verdier hver time i perioden 31.01.20 – 13.05.2020. Verdiene har blitt hentet ut hver uke for å hindre lengre perioder uten verdier, i tilfelle det skulle oppstå problemer med innhenting av informasjon fra loggerne eller at en av loggerne skulle gå tom for batteri. Loggerne startes på samme tidspunkt, slik at verdiene som hentes ut er målt til samme klokkeslett gjennom hele perioden. Ut ifra resultatene skal det undersøkes om det er et mønster i verdiene, om de følger samme kurve gjennom døgnet uavhengig av tallverdiene.

### 3.5.3 Samlet test av loggerne

For å sikre at alle loggerne måler like verdier, er det utført testmåling der alle loggerne lå i samme punkt i 24 timer. Loggerne ble plassert samlet i et lukket skap, og er navngitt på samme måte som da de hang i magasinet for å lettere sammenligne og se sammenhenger mellom denne testen og langtidsloggingen. Hensikten er å kvalitetssikre loggingene som er utført og for å avdekke om noen av loggerne har målefeil.

### 3.5.4 Absolutt luftfuktighet

Den absolutte luftfuktigheten regnes ut fra temperatur og relativ luftfuktighet, og kan leses av i et Mollier-diagram. Hensikten med dette er å undersøke hvor stabil fuktigheten i magasinet er. De åtte punktene hvor det er hengt opp loggere sammenlignes over hele måleperioden. En økning i absolutt luftfuktighet over tid gir indikasjon om en kilde til fukt i magasinet, der punkter med høyere verdi kan indikere hvor en eventuell fuktkilde befinner seg.

Formel for absolutt luftfuktighet (How to convert relative humidity to absolute humidity, 2012):

$$AF [g/m^3] = \frac{6,112 \times e^{\left[\frac{17,67 \cdot T}{T+243,5}\right]} \times RF \times 2,1674}{273,15 + T}$$

$T = \text{Temperatur } [^{\circ}\text{C}]$   
 $RF = \text{Relativ luftfuktighet } [\%]$

Formel 3.1: AF [g/m<sup>3</sup>]

Det ble utført stikkprøver av formelen ovenfor, ettersom denne formelen ikke er funnet i fagbøker. Hensikten med å bruke formel i motsetning til Mollier-diagrammet er at en formel gir mer nøyaktige svar og mindre risiko for feil avlesning. I tillegg var det ønskelig å få en graf over absolutt luftfuktighet for hele måleperioden i hvert punkt, og dette er mye mer effektivt og enklere i et Excel-ark enn ved avlesning i diagram.

## 3.6 Utetemperatur

For å se eventuelle sammenhenger mellom ute- og inneklimate er det valgt å observere utetemperaturen i samme periode som det er tatt målinger i magasinet. Tydelige svingninger i målingene innendørs i samsvar med utetemperatur kan tyde på dårlig isolasjonsevne i konstruksjonen til magasinet. Utetemperaturen logges ved hjelp av et termoelement plassert i et vindu i andre etasje mot bakgården hvor magasinet ligger.



Figur 3.2: Plassering av logger utendørs

### 3.7 Varmekamera

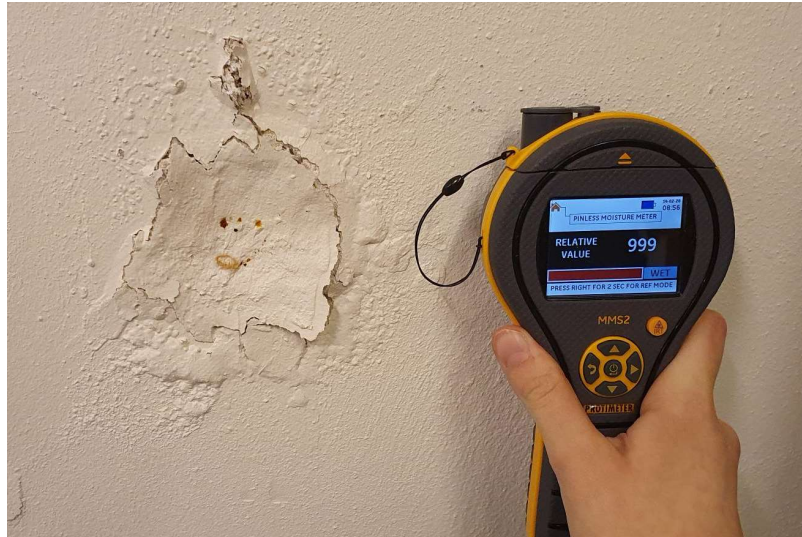
For å få et inntrykk av varmetapet i magasinet og for å oppdage eventuelle oppsiktsvekkende områder, ble magasinet kartlagt med et varmekamera. Alle plater i magasinet ble observert ved hjelp av varmekamera, og der det ble sett på som nødvendig ble det tatt dokumenterende bilder. Det ble sett spesielt på hjørner, gjennomføringer i vegger, tak og gulv, og områder det var mistanke om at kunne være spesielt utsatt for varmetap. Dette var eksempelvis inngangsdør og eksisterende filterkasser i forbindelse med frisklufttilførsel.

### 3.8 Fuktmålinger

Befaringen i magasinet viste synlige skader på enkelte overflater som det var mistanke om at stammet fra fukt. Mistankene stammet også fra at det var blitt registrert høy relativ luftfuktighet i magasinet ved tidligere målinger. Målingene ble utført med protimeter i punkter jevnt fordelt på overflatene for å få sikre god dekning av rommet. Hensikten var å få en generell oversikt over fuktilstanden til overflatene og rommet og få sjekket spesielt utsatte punkter. Etersom deler av magasinet er under bakkenivå, er det lett at fukt og kondens forekommer i veggene, særlig siden veggene er uisolerte murvegger og gulvet er støpt betong. Figur 3.4 viser målinger på vegg, hvor det er synlige fuktskader. Fuktmåleren holdes flatt på overflaten og fuktigheten blir registrert av en sensor på baksiden av instrumentet, se figur 3.3.



Figur 3.3: Sensoren er plassert øverst til venstre



Figur 3.4: Synlig fuktskade på vegg

### 3.9 Lufthastighet

Det er ikke ønskelig med høye lufthastigheter i magasinet ettersom dette kan ha en uheldig innvirkning på hygroskopiske materialer. Det ble derfor utført lufthastighetsmålinger for å undersøke om det var trekk i magasinet. Det ble utført målinger på følgende utsatte punkter:

- under filterkasser montert høyt oppe på yttervegg
- ved inngangsdør
- ved rør i hjørnet av ytterveggene



Figur 3.5: Filterkassenes plassering

## 4 Resultater

I dette kapitlet presenteres alle resultatene fra utførte undersøkelser. Det er blant annet benyttet grafer og tabeller for at fremvisningen skal bli så oversiktlig og forståelig som mulig. Resultatene fra loggingene er også presentert i vedlegg 3, 4 og 5 for å få større grafer slik at verdiene kan leses av mer eksakt.

Resultatene fra de forskjellige undersøkelsene er vurdert opp mot generelt optimalt lagringsmiljø for arkiv- og biblioteksmateriale presentert i teorikapitlet, i tillegg til de ønskede verdiene fra Gunnerusbiblioteket. Disse ønskede verdiene er en temperatur på 18°C og 50% RF, med en døgnvariasjon på maksimalt 2°C og 5%.

### 4.1 KSM-metoden

Som tidligere nevnt vil enkelte punkter i denne listen ikke være relevante for dette prosjektet, bak disse punktene vil det stå «ikke aktuelt» istedenfor karakter.

KSM	Kategori	Karakter
1	Uteluft ved luftinntak	Ikke aktuelt
2	Personbelastning	1, det er kun personbelastning ved uthenting av materiale, omtrent 1-3 ganger i måneden.
3	Spesielle forurensninger	3, materialet som skal lagres i magasinet er en potensiell forurensningskilde ettersom de kan skille ut skadelige syrer som eddiksyre
4	Andre vanskelige forurensningskilder	2
5	Temperatur	3, fluktasjonen i temperatur gjennom hele året er for stor.
6	Fukt og luftfuktighet	2, luftfuktighet tidvis målt til verdier som kan føre til kondens på kalde overflater (se figur 1.1)
7	Lukt	Ikke aktuelt
8	Støv, støvsamlere	2
9	Rengjøring	Ikke aktuelt
10	Ventilasjon	4, det er ingen ventilasjon i magasinet i dag.
11	Allergenkilder	Ikke aktuelt
12	Byggets historie (fuktskader?)	3, magasinet har en historie med fuktskader og utbedring av disse.
13	Støy og akustikk	Ikke aktuelt
14	Belysning	2, kan påvirke temperaturen i rommet negativt.
15	ENØK/HENØK (helse først)	1, det brukes ingen energi til ventilasjon i dag.
16	Annet: fysisk tilrettelegging, orden, tilgjengelighet, trivsel osv.	3, hyller er for nærme gulvet i forhold til hva som er anbefalt i ISO 11799 og det er synlige fuktskader på vegger.

Tabell 4.1: Resultat KSM-metoden

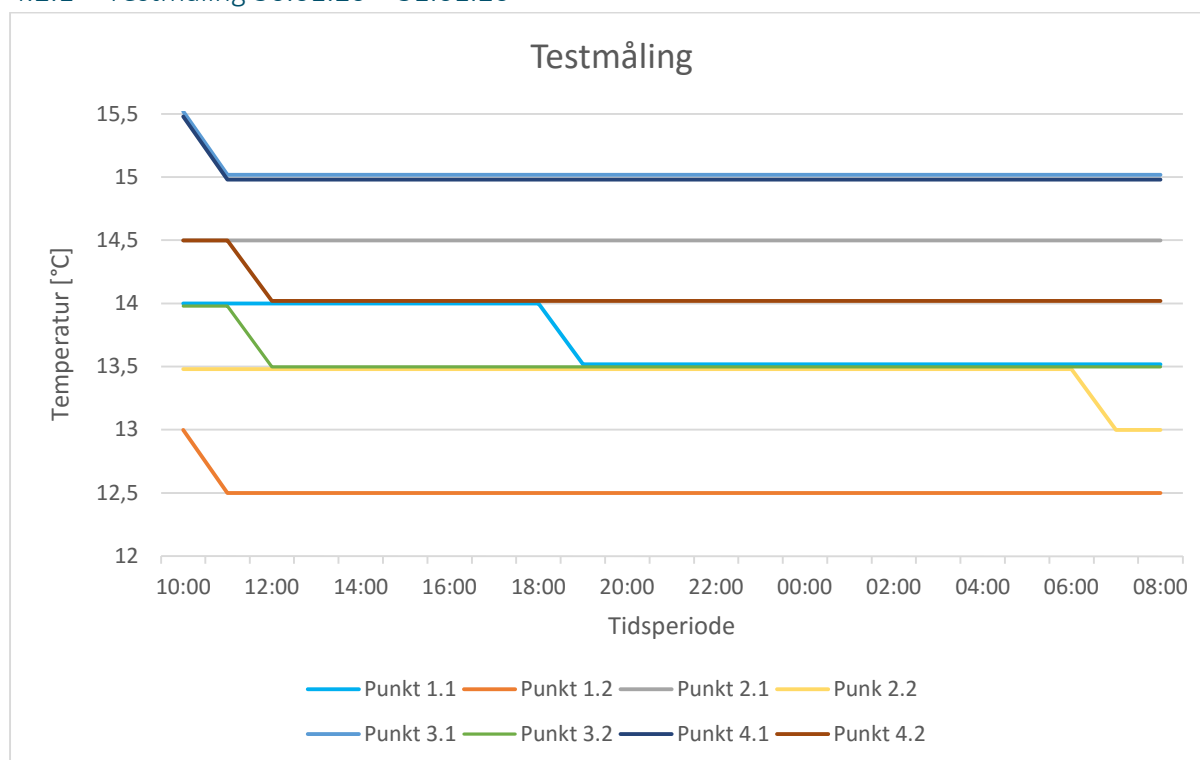
Ifølge metoden bør punkter med karakter 3 eller 4 utbedres for å forbedre og oppnå ønsket inneklima. Punkter som har fått karakteren 3 eller 4 er:

- 3 - spesielle forurensninger
- 5 - temperatur
- 6 - fukt og luftfuktighet
- 10 - ventilasjon
- 12 - byggets historie
- 16 - annet

## 4.2 Logging av temperatur og relativ luftfuktighet

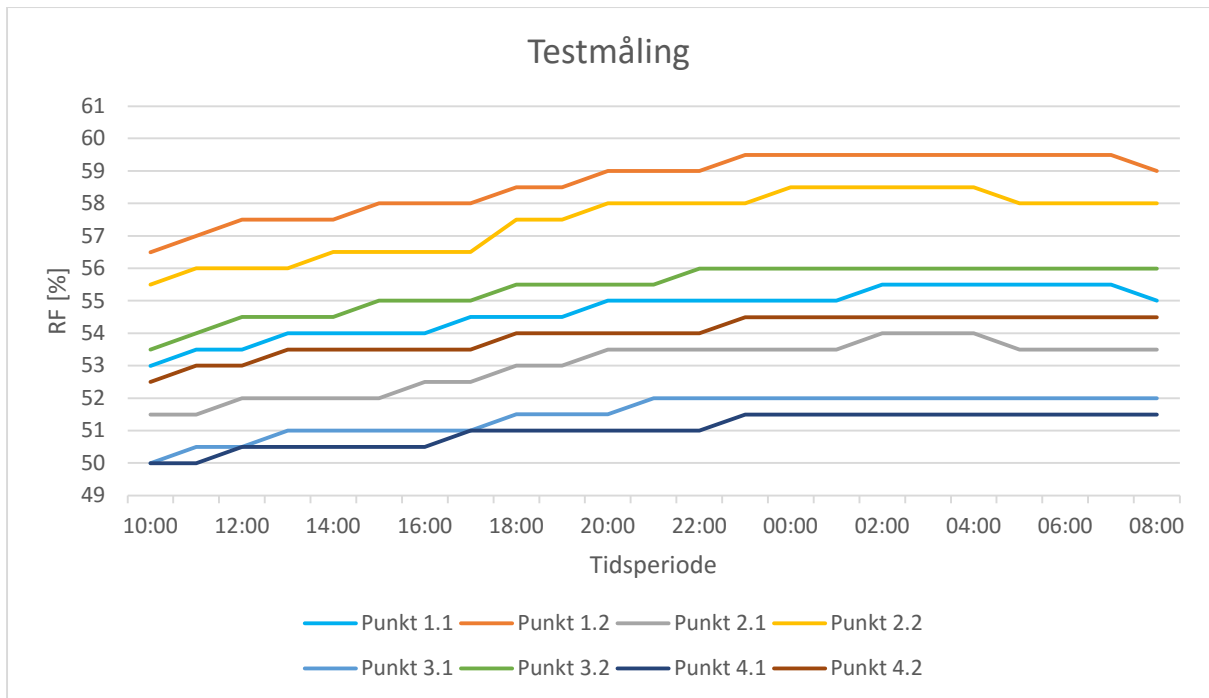
Under følger resultatene fra logging av temperatur og relativ luftfuktighet, samt et diagram over absolutt luftfuktighet og utetemperaturen. Disse diagrammene, bortsett fra diagrammet over testmålingene som ble utført, er basert på ukentlig gjennomsnitt gjennom måleperioden for et mer oversiktlig og lesbart diagram. Disse viser trenden i temperatur i magasinet, utetemperaturen, relativ og absolutt luftfuktighet gjennom hele måleperioden. Mer nøyaktige diagrammer er vedlagt i større format for bedre lesbarhet og for å vise de eksakte verdiene gjennom måleperioden.

### 4.2.1 Testmåling 30.01.20 – 31.01.20



Figur 4.1: Temperatur [°C] 30.01.20 - 31.01.20

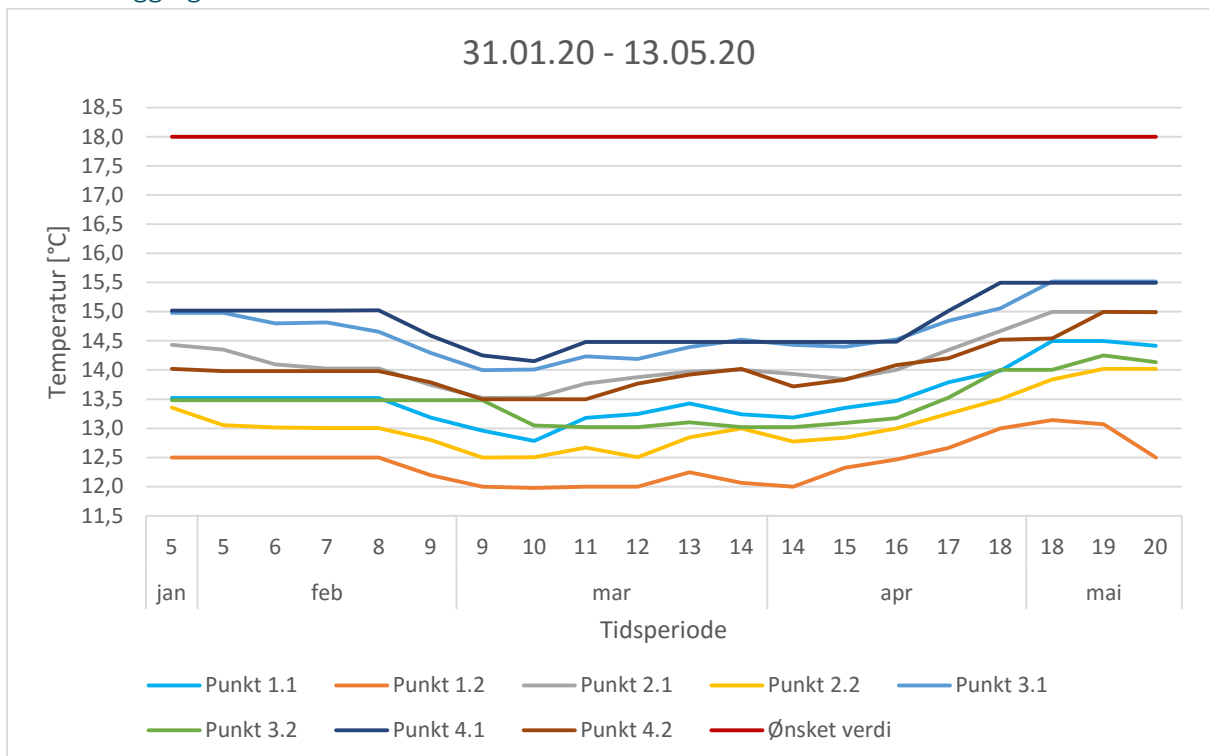




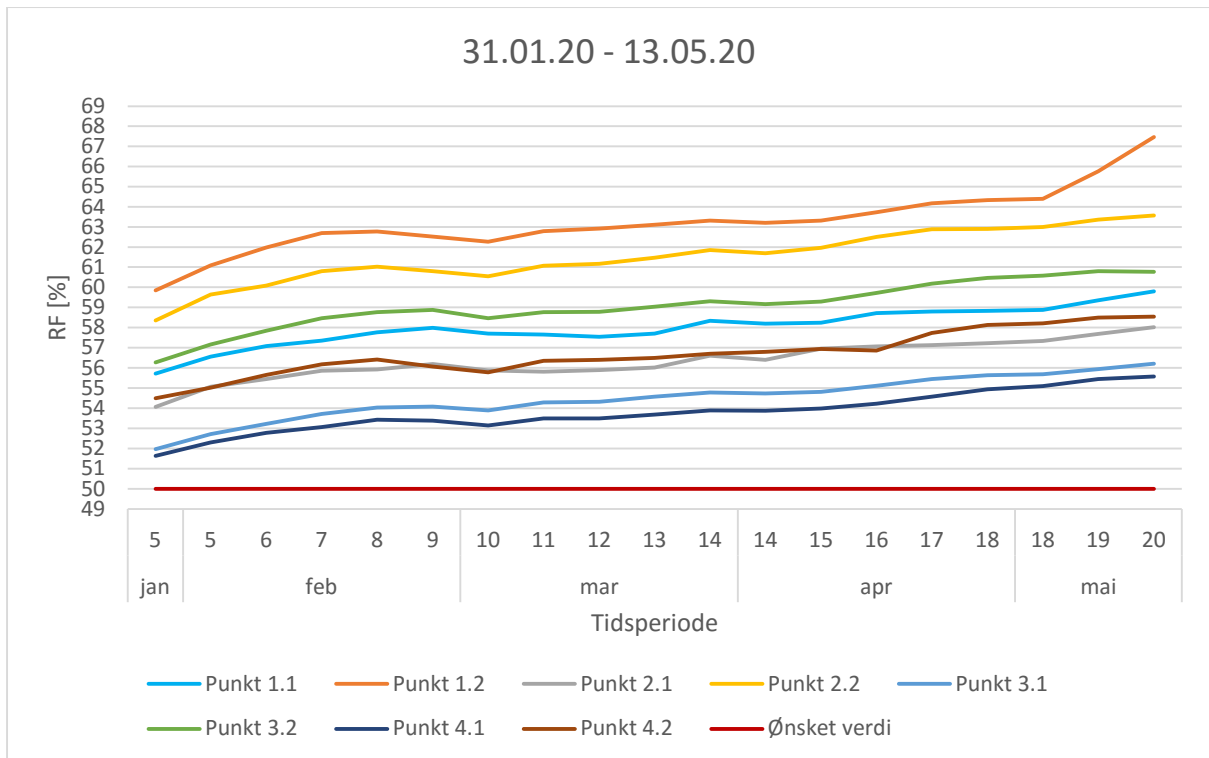
Figur 4.2: RF [%] 30.01.20 - 31.01.20

Testmålingen viser som forventet stor variasjon i verdiene for loggerne både gjennom døgnet og i de ulike målepunktene (figur 4.1 og 4.2). Den bekrefter at alle loggerne fungerer som de skal og er klare til måling over en lengre periode. Testen førte til økt kjennskap med magasin og utstyr, og reduserte sannsynligheten for brukerfeil ved videre planlagte målinger. Målepunktene var interessante og ga god oversikt over hele rommet og ble derfor beholdt i videre målinger.

#### 4.2.2 Logging 31.01.20 – 13.05.20



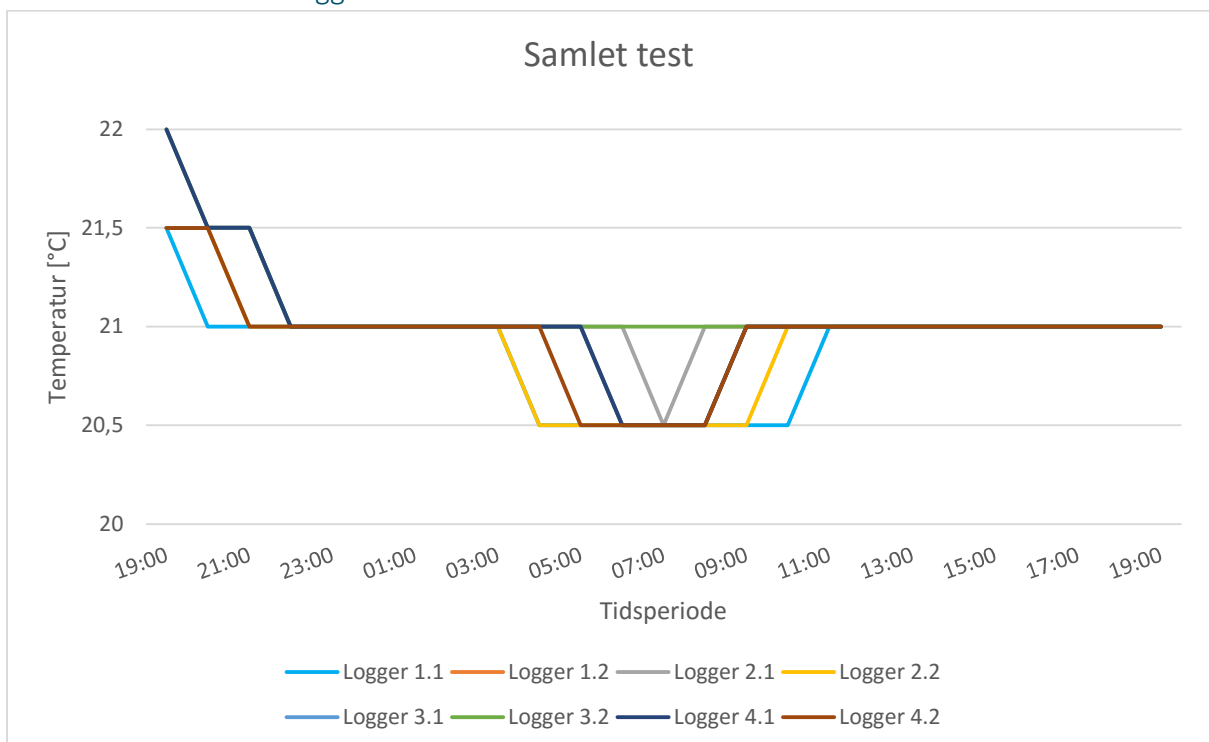
Figur 4.3: Temperatur [°C] 31.01.20 - 13.05.20



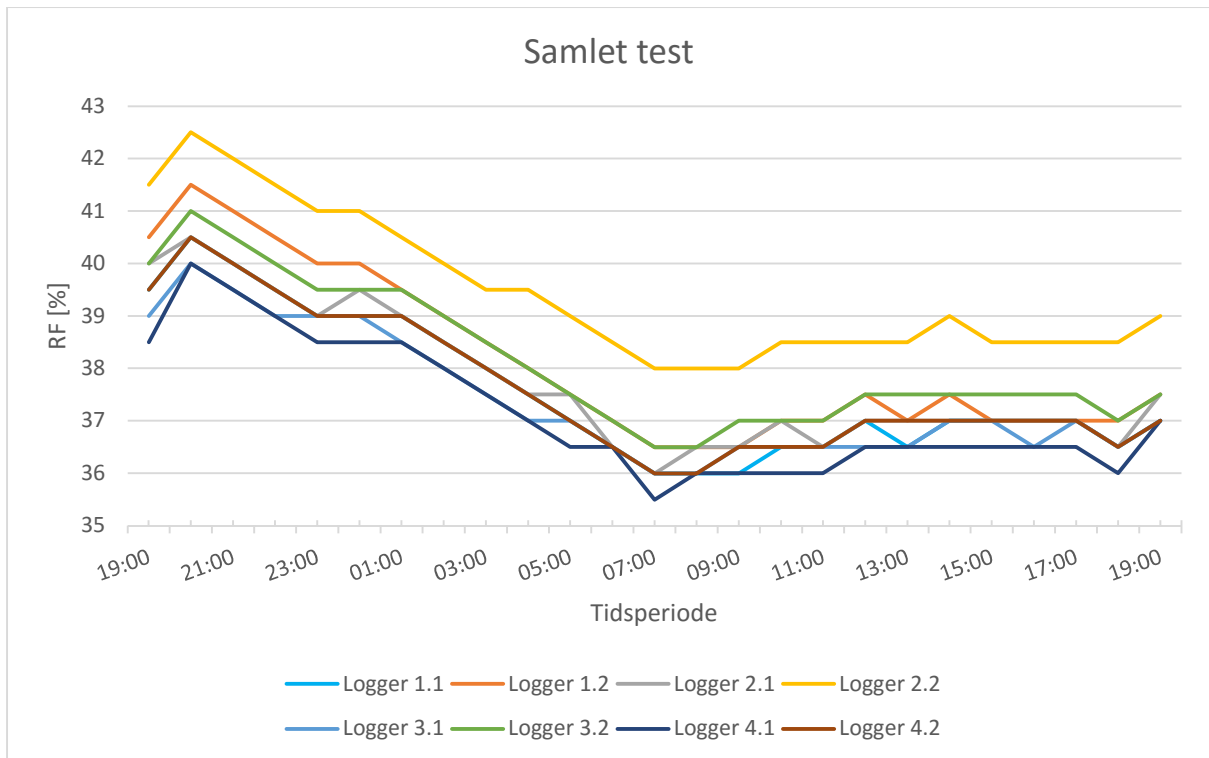
Figur 4.4: RF [%] 31.01.20 - 13.05.20

Som vist i figur 4.3 og 4.4 varierer temperatur og relativ luftfuktighet i alle punkter, men følger omtrent samme kurve. Temperaturen varierer fra 11,5°C – 15,5°C og den relative luftfuktigheten varierer mellom 51% – 68%. Sammenlignet med de ønskelige verdiene er temperaturen for lav og den relative luftfuktigheten for høy, men de overskrider ikke grensen for maksimal døgnvariasjon.

#### 4.2.3 Samlet test av loggerne



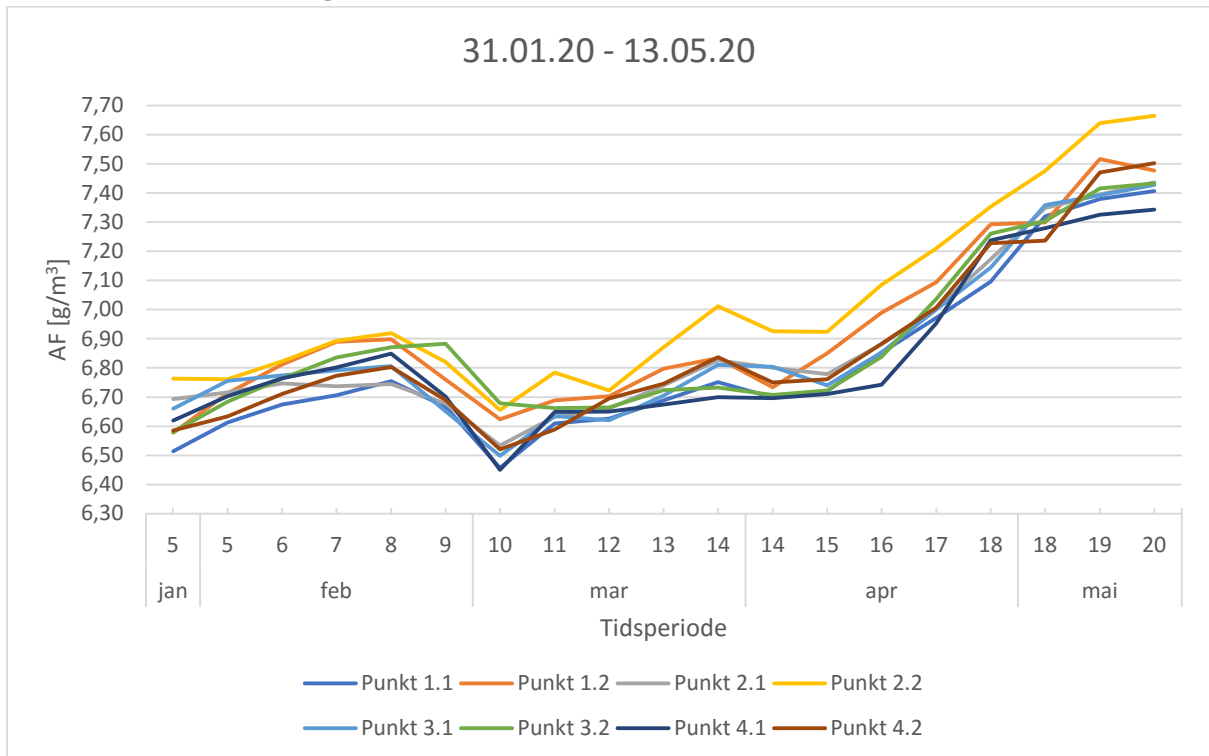
Figur 4.5: Samlet test temperatur



Figur 4.6: Samlet test relativ luftfuktighet

Den samlede testen av loggerne viser at temperaturen ligger mellom 20,5-22°C, grafene for hver logger følger hverandre og det er små avvik. Den relative luftfuktigheten er målt til 35,5-42,5%, her følger også grafene hverandre, men logger 2.2 har et konstant avvik på 1-3% fra de andre loggerne.

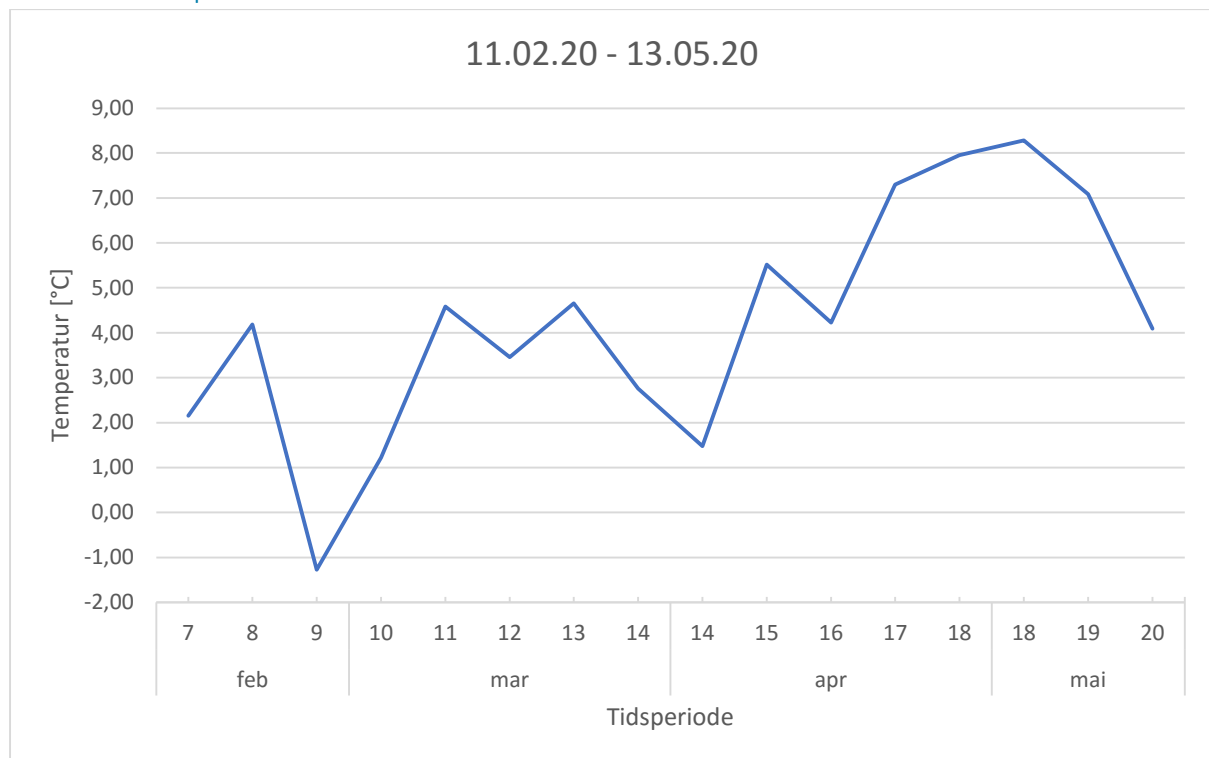
#### 4.2.4 Absolutt luftfuktighet



Figur 4.7: AF [g/m³] 31.01.20 - 13.05.20

Den absolutte luftfuktigheten svinger gjennom hele måleperioden mellom 6,32 – 7,72 g/m<sup>3</sup>, dette viser at fuktigheten i rommet ikke er stabil. Punkt 2.2 viser generelt høyest verdi av absolutt luftfuktighet, men det er rimelig å anta at dette er på grunn av at denne loggeren har høyest avvik i måling av relativ luftfuktighet (figur 4.6). Generelt er punktene ved gulvet fuktigere enn de samme punktene under taket, noe som kan antyde fuktigere gulv. Slik figur 4.7 viser holder punktene samme kurve. Stigningen i absolutt luftfuktighet gir klare tegn til en fukttilførsel i magasinet, ved sammenligning med figur 4.8 vises en sammenheng med utetemperaturen målt i samme periode; når utetemperaturen synker under null synker også absolutt luftfuktighet i hele rommet. En mulig grunn til dette kan være at den absolutte luftfuktigheten i uteluften synker, samtidig som fukten i bakken fryser, og at det på denne måten vil trenge mindre fukt inn. Det er også observert at den absolutte luftfuktigheten gjentagende er høyest om natten, dette gjelder små økninger på under 0,1 g/m<sup>3</sup>. En midlertidig senkning av temperaturen kan føre til at luften skiller ut vann som medfører at bakken blir fuktigere.

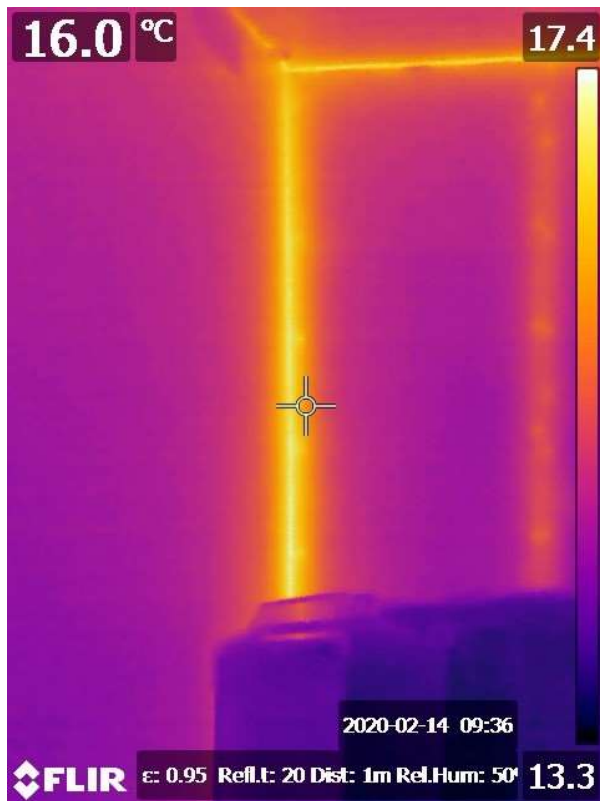
### 4.3 Utetemperatur



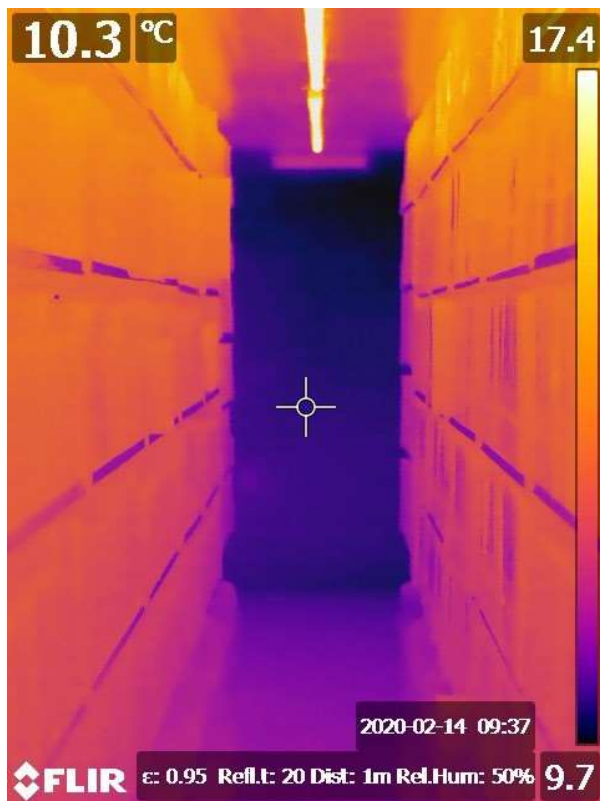
Figur 4.8: Utetemperatur [°C] 11.02.20 - 11.03.20

Utetemperaturen har store svingninger gjennom døgnet, og er målt for å vise om ytre forhold påvirker tilstanden i magasinet. En viktig sammenheng er utetemperaturen i forhold til den absolutte luftfuktigheten som er målt inne.

#### 4.4 Varmekamera



Figur 4.9: Varmegjennomgang i hjørne



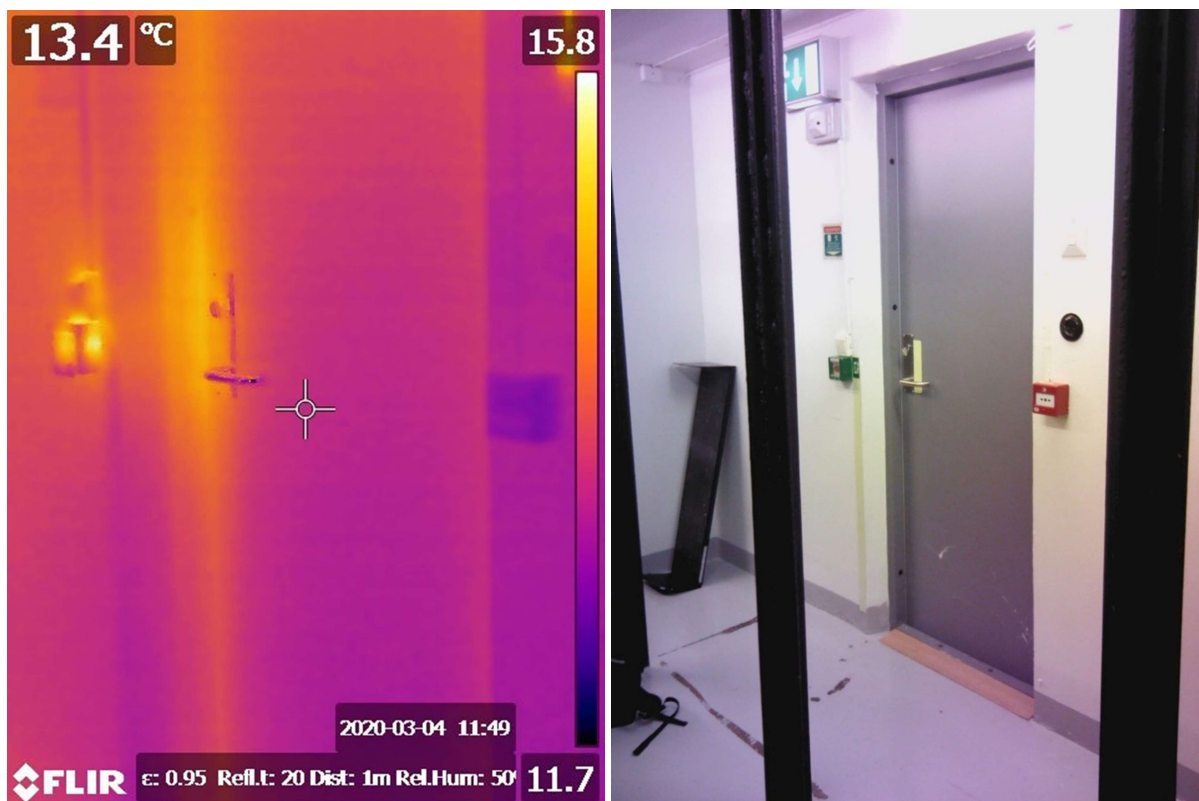
Figur 4.10: Varmegjennomgang i yttervegg



Figur 4.11: Varmegjennomgang i yttervegg



Figur 4.12: Varmegjennomgang i rør



Figur 4.13: Varmegjennomgang inngangsdør

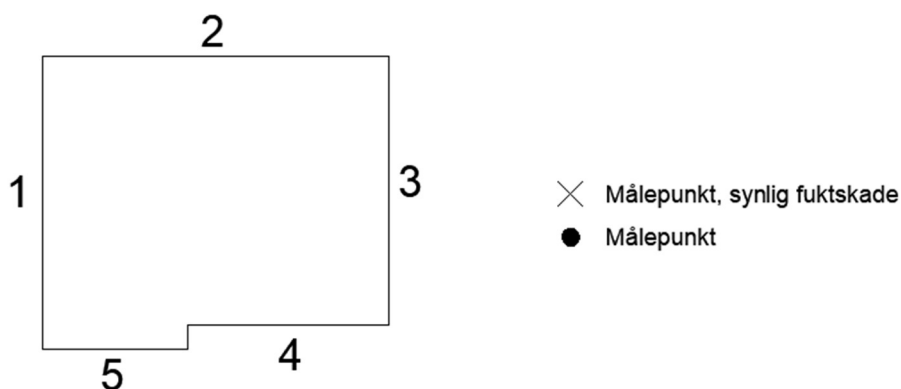
Det kommer tydelig fram i bildene som ble tatt under undersøkelsen med varmekamera at ytterveggene har et høyere varmetap enn veggene som grenser til omkringliggende arealer i bygget (figur 4.9, 4.10 og 4.11). Der ytterveggene holder en overflatetemperatur på rundt 10°C, har veggene som grenser til omkringliggende arealer i bygget en overflatetemperatur på rundt 14°C. Det er rimelig å anta at grunnen til dette er uisolerte yttervegger. Det er ikke observert varmetap i overgangene mellom vegg-tak og vegg-gulv, men varmegjennomgang fra omkringliggende arealer (figur 4.9). Det antas derfor at disse arealene holder en høyere temperatur enn magasinet. Som figur 4.12 viser holder taknedløpsrøret ved den ene ytterveggen en relativt lav temperatur, mens det andre røret er betydelig varmere. Taknedløpsrøret går videre ut gjennom ytterveggen og inn på drensledningen, som forklarer den lave overflatetemperaturen. Bruksområdet til det andre røret er ukjent, og det er forsøkt blendet med tekstiler som er dyttet inn i åpningen av røret, som gir grunn til å tro at røret ikke er i bruk i dag. Inngangsdøren til magasinet holder en relativt lik overflatetemperatur som vegg (figur 4.13), og viser ikke tegn til varmetap. Det var generelt ingen oppsiktsvekkende funn og varmetapsbildet i magasinet var som forventet.

## 4.5 Fuktmåling på overflater

Tabell 4.2 viser indikatorene som følger med fuktmåleren, hvor grønn er den ønskelige verdien.

Aquant	Display	Indikasjon	Indikatorskala
< 60	—	—	—
≥ 60 men < 170	Aquant-verdi	TØRR	Grønn
≥ 170 men < 200	Aquant-verdi	RISIKO	Gul
≥ 200 men < 999	Aquant-verdi	VÅT	Rød
≥ 999	999	VÅT	Rød

Tabell 4.2: Indikatorer for fuktmåler

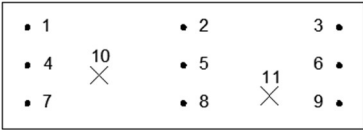
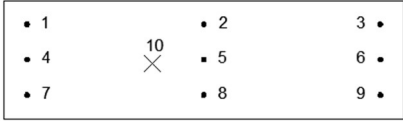
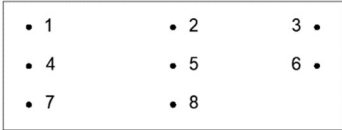




Figur 4.14: Oversikt over veggoverflatene i rommet

Figur 4.14 viser en oversikt over rommet sett ovenfra. Inngangsdøra er på vegg 5, vegg 1 og 2 er yttervegger. Punktene markert med kryss er synlige fuktskader, og har måleverdi 999.

Flate	Målepunkt	Verdi
Tak	1	192
	2	192
	3	202
	4	177
	5	192
	6	197
	7	202
	8	212
	9	202
Gulv	1	230
	2	460
	3	528
	4	287
	5	287
	6	528
	7	239
	8	431
	9	258



<b>Vegg 1</b>		1	172
		2	187
		3	190
		4	168
		5	172
		6	177
		7	172
		8	177
		9	192
<b>Vegg 2</b>		1	172
		2	172
		3	168
		4	172
		5	210
		6	168
		7	177
		8	182
		9	187
<b>Vegg 3</b>		1	172
		2	168
		3	168
		4	168
		5	172
		6	168
		7	172
		8	172
<b>Vegg 4</b>		1	132
		2	132
		3	132
		4	132
<b>Vegg 5</b>		1	177
		2	167
		3	167
		4	167
		5	177
		6	167
		7	167

Tabell 4.3: Resultater fuktmålinger

Som vist i tabell 4.3, er det få punkter som er innenfor grønt område, >60 til <170. Av alle fem vegger er det kun vegg 4 som har utelukkende grønne verdier i målepunktene og derfor regnes som tørr. De resterende veggene har alle punkter som viser enten risiko for fukt eller at flaten er våt. Veggene som er mest berørt av fukt, og har de høyeste målte fuktverdiene, er vegg 1 og 2. En naturlig forklaring på dette er at disse er uisolerte yttervegger hvor kun en liten andel er over bakkenivå, følgelig er risikoen for fukt høyere enn ved innervegger. Grunnen til at vegg 3, 4 og 5 er betydelig tørrere enn vegg 1 og 2 antas å være forårsaket

ved at de tilstøtende arealene er varmere. Gulvet er den våteste flaten, hvor alle målepunktene viste røde verdier.



Figur 4.15: Middels høy måleverdi



Figur 4.16: Mulig fuktskade på gulv langs vegg 2

Målingene viser at magasinet er utsatt for fukt. Ytterveggene er hardest rammet og har synlige skader som det er god grunn til å anta skyldes fukt. Uten å adressere fuktskadene vil de skape større problemer over tid. Det vil derfor være hensiktsmessig å undersøke omfanget av eventuelle skader i konstruksjonen og gjøre nødvendige utbedringer før magasinet tas i bruk til ønsket formål. Gulvet bør også undersøkes til tross for at det ikke ble observert store synlige skader på overflaten, ettersom alle målepunkter viste at det var vått.

#### 4.6 Lufthastighet

Ved måling av lufthastigheten på utsatte punkter i magasinet ble det ikke funnet noe tegn til trekk i noen av målepunktene. Verdiene svingte mellom  $-0,005$  og  $0,070$  m/s som er under verdier som kan oppleves som trekk, og er det derfor ingen grunn til å anta at det er trekkproblemer i magasinet.



Figur 4.17: Lufthastighetsmåler

## 5 Drøfting

I dette kapitlet vil metodene og resultatene som fremkommer i kapittel 3 og 4 drøftes og analyseres ytterligere med bakgrunn i kapittel 2 for å gi grunnlag for videre forslag til utbedring og valg av inneklimaløsning.

### 5.1 Vurdering av data

#### 5.1.1 Personbelastning

Etter testmålingen ble det reflektert over om loggerne kom til å bruke lang tid på å stabilisere seg etter blant annet personbelastningen i forbindelse med uthenting av data. Under vises et utdrag fra et tilfeldig valgt tidsrom hvor magasinet hadde personbelastning i forbindelse med uthenting av data. Ved nærmere undersøkelser av måledata ble det sett at akkurat dette tidsrommet hadde de største utslagene i forbindelse med personbelastning. Slik det ser ut etter loggerne har blitt startet på nytt har første måling fått et lite utslag i forhold til før og etter, se tabell 5.1.

Tid \ Logger	Temperatur (°C)							
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
20.02.20 06:00	13,5	12,5	14	13	14,5	13,5	15	14
20.02.20 07:00	13,5	12,5	14	13	14,5	13,5	15	14
20.02.20 08:00	13,5	12,5	14	13	14,5	13,5	15	14
20.02.20 09:00	14	12,5	14,5	13,5	14,5	13,5	15,5	14,5
20.02.20 10:00	13,5	12,5	14	13	14,5	13,5	15	14
20.02.20 11:00	13,5	12,5	14	13	14,5	13,5	15	14
20.02.20 12:00	13,5	12,5	14	13	14,5	13,5	15	14

Tabell 5.1: Utdrag fra målinger utført 20.02.20

Ved uthenting av data ble loggerne tatt ned etter tur og startet på nytt, dette skjedde rundt kl. 08:30, og første måling etter dette ble satt til kl. 09:00. Selve prosessen med å hente ut data tar omtrent ett minutt per logger. Som vist i tabell 5.1 har målingene utført kl. 09:00 andre verdier enn målingene gjort før og etter dette tidspunktet. Det er ikke store utslag, og endringen kan komme av personbelastning, avgitt varme fra belysning eller ved uthenting av data fra loggerne.

Tid \ Punkt	Absolutt luftfuktighet (g/m <sup>3</sup> )							
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
20.02.20 06:00	6,72	6,87	6,69	6,86	6,71	6,84	6,86	6,81
20.02.20 07:00	6,72	6,87	6,69	6,86	6,71	6,84	6,86	6,81
20.02.20 08:00	6,72	6,87	6,69	6,80	6,71	6,84	6,86	6,81
20.02.20 09:00	6,61	6,81	6,84	6,96	6,94	6,78	6,94	6,90
20.02.20 10:00	6,72	6,81	6,69	6,80	6,86	6,84	6,79	6,75
20.02.20 11:00	6,72	6,81	6,63	6,80	6,71	6,84	6,86	6,75
20.02.20 12:00	6,72	6,81	6,63	6,80	6,71	6,84	6,86	6,75

Tabell 5.2: Utdrag fra absolutt luftfuktighet 20.02.20

Det kan også observeres et lite utslag i absolutt luftfuktighet. Etter utslaget kl. 09:00 stabiliserer verdiene seg, eller går tilbake til verdien før utslaget. I de fleste punktene øker den absolutte luftfuktigheten, dette er trolig grunnet personbelastning ettersom mennesker

puster ut vanndamp. I punkt 1.1 og 3.2 er verdien lavere, en mulig årsak til dette er at åpning av døren har ført til at tørrere luft har trengt inn i rommet.

Ved normal bruk av magasinet hentes det ut materiale 1-3 ganger i måneden, og oppholdstiden i magasinet er på noen få minutter. De gangene det har blitt utført undersøkelser av forskjellig art i magasinet har personbelastningen vært over 15 – 30 minutter og det har oppholdt seg 3-4 personer i rommet. Belysningen har vært påslått under hele oppholdet. Ved lengre opphold i magasinet har dette gitt noe utslag på målingene, men ikke av stor betydning. Som tabell 5.1 viser kan menneskelig aktivitet over lengre tid gi et utslag på romtemperaturen på omtrent 0,5°C, men dette er tilbake til verdien før personbelastningen etter maksimalt én time. Den absolutte luftfuktigheten viser samme trend som temperaturen, hvor personbelastningen har gitt et lite utslag, men at de fleste punkter går tilbake til verdiene før belastningen. Ut ifra dette er det konkludert med at menneskelig aktivitet har liten eller ingen betydning, spesielt ved normal bruk av magasinet hvor personbelastningen vil være mindre.

### 5.1.2 Formel for absolutt luftfuktighet

Det er utført stikkprøver i et Mollier-diagram og sammenlignet med svar ved utregning med tidligere nevnt formel (formel 3.1). Stikkprøvene har vist at formelen gir like svar som avlesning i Mollier-diagrammet. Det er ikke forventet at disse svarene skal være helt like, ettersom små unøyaktigheter i avlesning i diagram kan gi utslag på resultatene. Ulikhetene mellom resultatene fra avlesning av diagram og utregning i formel er vurdert og formelen anses som et godkjent hjelpemiddel i denne oppgaven. Se vedlegg 6 for stikkprøver.

### 5.1.3 Samlet test av loggerne

Den samlede testen av loggerne viste at logger 2.2 hadde et konstant avvik på 1-3% fra de andre loggerne. Dette kan forklare den høye absolutte luftfuktigheten som det har vært i punkt 2.2 under langtidsloggingen. Ved å benytte formel 3.1 er det mulig å finne betydningen av dette.

Logger	Tidspunkt	RF [%]	Temperatur [°C]	AF [g/m <sup>3</sup> ]
4.1	13.05.20 22:00	39	21	7,13
1.2	13.05.20 22:00	40,5	21	7,41
2.2	13.05.20 22:00	41,5	21	7,59

Tabell 5.3: Beregning av AF

Utregningen av den absolutte luftfuktigheten ved lik temperatur og ulik relativ luftfuktighet viser at et avvik på 1% RF gir 0,18 g/m<sup>3</sup> avvik på absolutt luftfuktighet. Dermed ligger den absolutte luftfuktigheten i punkt 2.2 nærmere de andre punktene enn det som vises i figur 4.8.

## 5.2 Forhold i magasinet

Under diskuteres ulike forhold i magasinet som kan påvirke inneklimaet, og hvilken betydning det har for BT1.

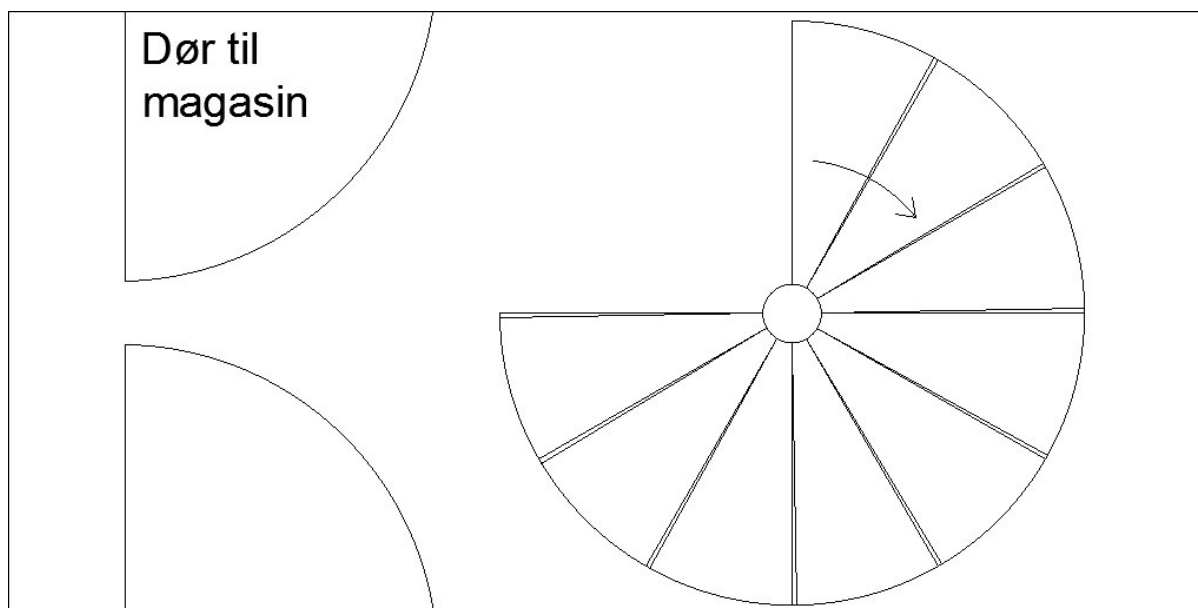
### 5.2.1 Betydning av lys

Lyskildene som benyttes i magasinet er lysstoffrør montert i armatur med et beskyttende plastdeksel som lyset skinner igjennom. Slike lyskilder avgir varme, og dersom lysene ikke

blir slukket i forbindelse med utgang av magasinet vil temperaturen i rommet øke. Spesielt ettersom det sjelden er noen innom magasinet. Disse lyskildene kan med fordel byttes ut med LED, som avgir mindre varme og bruker mindre energi. Ettersom lyset kun står på ved uthenting av materialer, som tar relativt kort tid, påvirker ikke dette inneklimate betydelig. Derfor trenger ikke dette nødvendigvis høyeste prioritet, men er en enkel utbedring å gjennomføre og bør uansett gjøres med tiden.

### 5.2.2 Betydning av å åpne dør

Det er en sluse mellom inngangen til magasinet og resten av bygget. I denne slusen står det en vindeltrapp, se figur 5.1.



Figur 5.1: Plantegning sluse

Denne slusa har som hensikt å begrense ytre påvirkning til magasinet. For å opprettholde funksjonen til denne er det viktig at døra som fører inn til slusa blir lukket, før døra til magasinet åpnes. Om dette ikke blir gjort kan forurenset luft trenge inn i magasinet, og påvirke inneklimate. Denne luften kan føre med seg uønsket VOC som kan være uheldig for lagret arkiv- og biblioteksmateriale. Temperaturen vil også kunne bli påvirket, ettersom denne er lavere inne i magasinet enn i områdene utenfor slusa.

### 5.2.3 Plassering av materiell i hyller

Som beskrevet i ISO 11799 bør hyller som skal bli benyttet til lagring av arkiv- og biblioteksmateriale være minst 10 cm over gulvet for å minske skaderisiko, blant annet med tanke på vannskader og skadedyr. Nederste hylle i magasinet er plassert 5 cm over gulvet, dersom denne hyllen skal benyttes til lagring av materiell anbefales det å gjøre utbedringer slik at hyllen heves med ytterligere 5 cm.

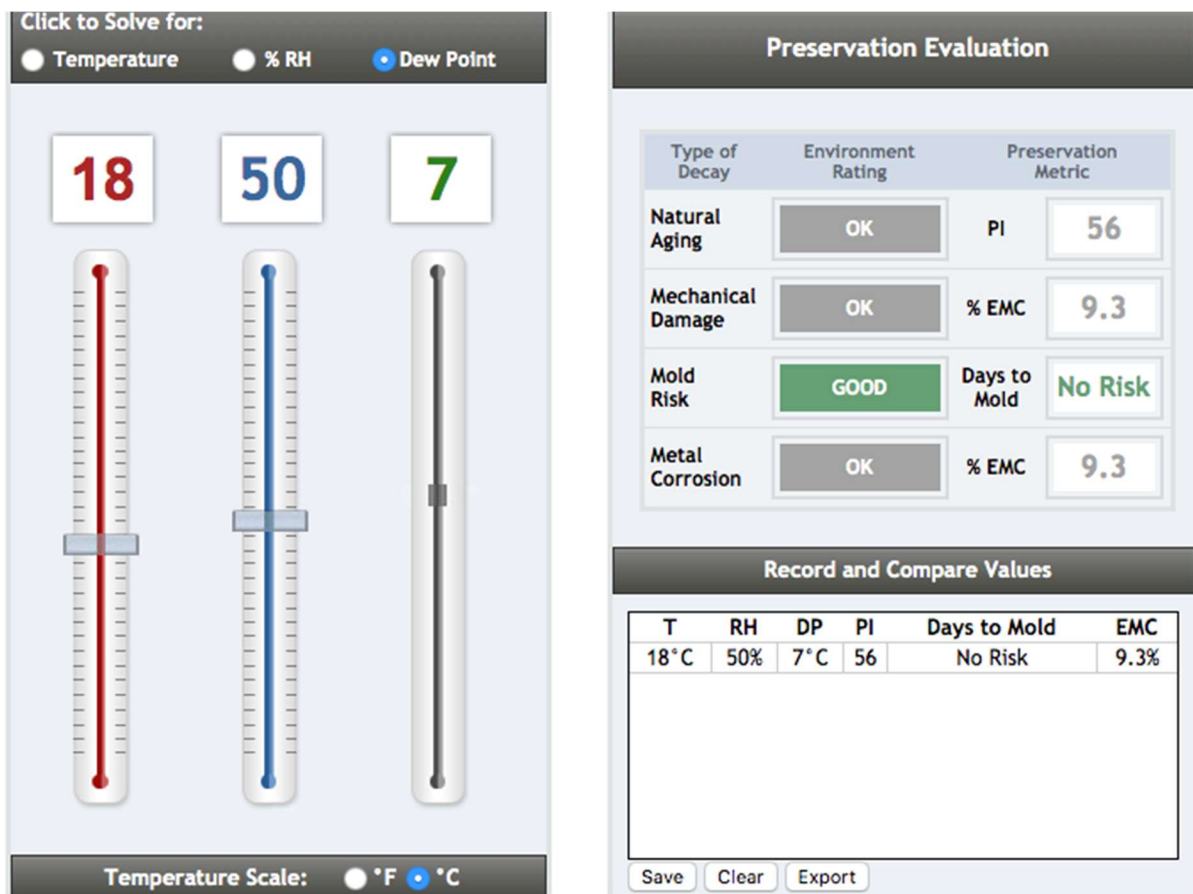
### 5.2.4 Trekk

Det skal ikke oppholde seg mennesker over lengre tid i magasinet. Derimot er materialene som skal oppbevares der sensitive og krever et stabilt inneklimate for å unngå skader og forkortet levetid. Trekk påvirker materialene ettersom det blant annet kan føre til lokale temperatursvingninger og mikroklima i rommet. Materialer som blir utsatt for trekk vil altså

ikke ha de samme forholdene som resten av magasinet, og hygroskopiske materialer vil kunne få skader som følge av fysisk stress. Det er derfor viktig at dette blir tatt hensyn til ved valg av metode for frisklufttilførsel i magasinet.

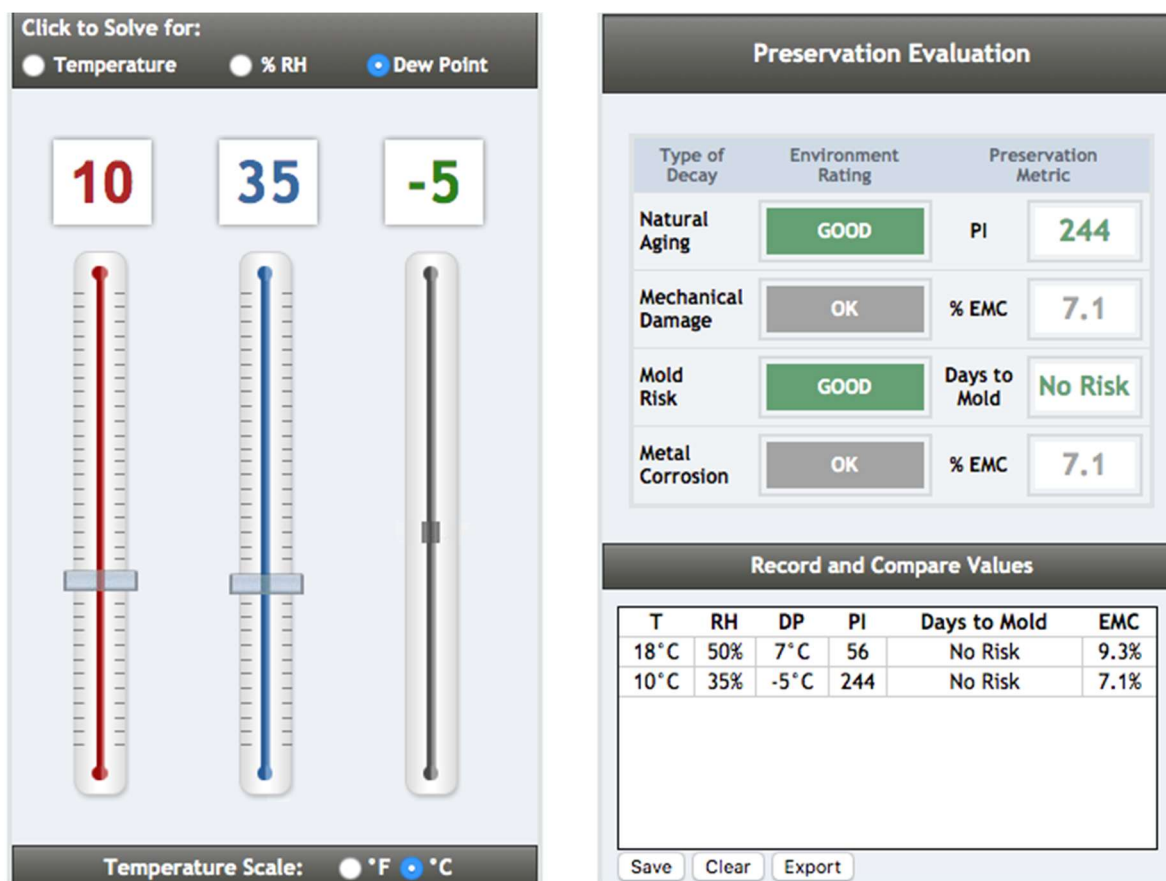
### 5.2.5 Temperatur og relativ luftfuktighet

Som allerede fastslått er bruk av riktig klima kritisk for langtidsbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale. Det er vist at et stabilt, kaldt klima med 30-40% RF vil forlenge levetiden til de fleste typer materialer. Et godt verktøy for å se hvilken påvirkning klimaet har på arkiv- og biblioteksmateriale er duggpunktskalkulatoren til Image Permanence Institute. Her blir temperatur og relativ luftfuktighet plottet inn og deretter beregnes verdier for forventet levetid.



Figur 5.2: Duggpunktskalkulator (Image Permanence Institute, u.å.)

Som figur 5.2 viser vil et stabilt klima på 18°C og 50% RF gi en forventet levetid på 56 år for arkiv- og biblioteksmateriale.



Figur 5.3: Duggpunkt kalkulator (Image Permanence Institute, u.å.)

Dersom temperaturen endres til stabilt 10°C og 35% RF vil derimot forventet levetid øke til 244 år (figur 5.3).

For optimal lagring av arkiv- og biblioteksmaterialer bør det derfor vurderes om ønsket temperatur og relativ luftfuktighet bør senkes ytterligere fra 18°C og 50%. En utfordring med dette er at magasinet ikke har noen klimasluse for akklimatisering av materialer ved uthenting. Stabiliteten til temperatur og luftfuktighet er i flere tilfeller en mer avgjørende faktor for levetiden enn de eksakte verdiene for disse faktorene. For å kunne gjennomføre en slik senkning av temperatur og relativ luftfuktighet anbefales det derfor å vurdere en investering i fuktsikre poser og bokser for akklimatisering av materialer som skal hentes ut fra magasinet.

## 5.3 Utbedring

### 5.3.1 Tidligere utbedringer

Det er tidligere utført utbedringer i og rundt BT1, både inn- og utvendig.

For omtrent 10 år siden ble det lagt ny drenering utenfor nordveggen med grunnmursplate. Det ble sikret at avløpsrøret for regnvann var koblet riktig inn på dreneringsavløp, dette røret går gjennom hele boktårnet fra 10. etasje ned til BT1 og ut utenfor veggen. I denne sammenhengen ble også ny grus fylt.

Det har blitt montert to passive lufterventiler med filter på den samme veggen. Ventilene slipper inn luft fra omtrent 70 cm over bakken, men har stort sett vært og er stengt. Det



henger en panelovn på nordveggen, men denne har ikke vært brukt på over 10 år. Gulvene i magasinet ble malt for 5-7 år siden.

På sørveggen har det tidligere vært ventilåpning til etasjen over, disse var på omtrent 30 cm x 5 cm. Ventilene ble tettet med brannskum for rundt 10 år siden for å hindre spredning av brann mellom magasinene.

### 5.3.2 Nødvendig utbedring og fuktreducerende tiltak

De største utfordringene i konstruksjonen i magasinet er fukt og kalde yttervegger. Det er punktvis synlige skader på ytterveggene i magasinet og målingene for overflatefukt indikerer at disse skyldes fukt. Dette kan være et tegn på at utvendige sperresjikt, eksempelvis grunnmursplaten, har fått en lekkasje. Ettersom skadene viser såpass mye fukt er det sannsynlig at de har oppstått etter de tidligere utførte utbedringene.

Undersøkelsen med varmekamera konkluderte med at ytterveggene er kaldere enn de resterende veggene. Det er også en tydelig varmegjennomgang i hjørnet mellom to vegger som grenser til tilstøtende arealer (figur 4.9). I dette tilfellet vil det være en varmende flate, ettersom tilstøtende arealer har høyere temperatur enn magasinet. Temperaturloggingen (figur 4.3) viser at det holder seg nokså stabilt over tid uten store svingninger, men det er store temperaturforskjeller i de ulike punktene i magasinet. Dersom det ønskes stabile temperaturer gjennom hele magasinet er det hensiktsmessig å isolere, med spesielt hensyn til områder med varmegjennomgang og yttervegger. Etterisolering av magasinet vil også kunne redusere forskjellen i luftfuktighet mellom punktene.

Ved etterisolering av magasinet anbefales det å isolere utvendig. Innvendig isolering i yttervegger mot terreng bør unngås i fare for kondens, spesielt dersom det ikke er eksisterende utvendig isolasjon. Om det viser seg å være mye fukt i veggene kan det anbefales å legge dampåpen isolasjon, som gir veggen mulighet å tørke utover. Utvendig etterisolering krever at det graves opp utenfor magasinet, noe som medfører en større jobb. Samtidig vil en lekkasje i grunnmursplaten bare kunne repareres utenifra. Det vil altså være vanskelig å utføre fuktsikre utbedringer uten oppgraving.

Temperaturen og den relative luftfuktigheten i magasinet ligger gjennomsnittlig på 13,7°C og 58%, som gir et duggpunkt på 5,6°C (Yaga, u.å.). Bildene tatt med varmekamera viser at det er lav temperatur under taket på ytterveggene, men ikke så lav at det når duggpunktet. Ved analyse av fuktmålingene er det ingen tydelige utslag ved dette området, dette tilsier dermed at kondens på grunn av lav temperatur ikke er et stort problem. Begge undersøkelsene ble utført samme dag, ved en utetemperatur på 0-2°C. Det er med andre ord mulighet for at det kan bli kaldere øverst ved taket ved lavere utetemperaturer, og risikoen for kondens her vil dermed øke. Undersøkelsen med varmekamera viser at taknedløpet hjørnet av ytterveggene (figur 4.12) er kaldt, lavest 5,8°C. Ønskede verdier for temperatur og luftfuktighet gir et duggpunkt på 7,4°C (Yaga, u.å.), og det vil derfor være stor fare for kondens på overflaten av dette røret. Risikoen vil minskes betraktelig ved å isolere røret utvendig.

Det fuktige gulvet i magasinet kan forekomme av kapillært oppsug av vann og diffusjon. Mulige årsaker til kapillærvann kan være at drensledningen ikke er lagt langt nok ned,

blokkert, eller at det ikke er tilstrekkelig drenerende masser rundt konstruksjonen. Det er liten grunn til å anta at fukten i hovedsak er forårsaket av kondens, ettersom temperaturforskjellen mellom gulv og vegger ikke er stor nok til å gi så ulike verdier av overflatefukt. Magasinet har vært utsatt for fukt tidligere og det er mulig at fukten er en konsekvens fra et tidligere problem. For å fastslå omfanget av fukten i gulvet anbefales det å ta fuktmålinger lengre ned i betongen.

Gulv bygges vanligvis med isolasjon og dampspærre i tillegg til betong. For bygninger som er bygd før 1960-tallet er det derimot vanlig at gulvene kun er bestående av betong (Anticimex, 2012). Det mistenkes derfor at gulvet i magasinet verken har isolasjon eller dampspærre. Ofte kan det legges nytt gulv ved å legge isolasjon, dampspærre og ny betong på det gamle gulvet.

Gulvet ble malt for omtrent 5-7 år siden, og det synes i dag sprekker i malingen. Dersom det ble malt med damptett maling kan sprekken være en indikasjon på fukt (figur 4.16). Selv om det ikke er ønskelig at fukt trenger inn i magasinet er det likevel ugunstig med en damptett løsning, og det er anbefalt å benytte dampåpen maling i kjellere. Dette for at fukten i konstruksjonen skal kunne tørke innover. I motsetning til dampåpne materialer vil det ved damptett behandling være fare for sprekker og blærer på grunn av fuktoppsamling. Derfor har dampåpen behandling lengere levetid. Nedenfor vises en beregning på tilført fuktmengde ved diffusjon gjennom gulvet. Det skal poengteres at dampåpen maling har en dampmotstand, slik at det likevel vil ha en fuktreducerende effekt. Ved valg av maling bør det tas hensyn til utskilling av VOC og hvor lang tid malingen avgir gasser etter den er tørket. Malingen bør avgi minst mulig VOC og gasser, og det bør gå en stund før arkiv- og biblioteksmateriale flyttes inn i magasinet. Det anbefales at det gjennomføres byggtørking av magasinet før gulvet behandles, som gir et tørrere grunnlag. Noe fukt kan trekke tilbake, og vannmengden vil variere basert på årsaken til fukten. Elektroosmose anses foreløpig ikke som et gunstig tiltak, ettersom det er mye usikkerheter knyttet til effekten av denne løsningen.

Diffusjon som er en av flere kilder til fukt, beveger seg fra områder med høyt damptrykk til områder hvor damptrykket er lavere. I et relevant eksempel er lufta i bakken er satt til 5-10°C og 100% RF, som gir et damptrykk på omtrent 880-1220 Pa avlest i Mollier-diagram, se vedlegg 9. Verdiene er tatt fra rapporten *Utbedringer i fuktskadede kjelleryttervegger, delrapport 2* (Geving og Blom, 2011b), hvor klimaforholdet er målt i Oslo. Disse verdiene tilsier svært fuktig forhold, som gir sannsynlighet for kapillærtransport av vann. Utføres det en uttørking på forhånd vil nok denne verdien være lavere, men det er hensiktsmessig å vurdere risikoen ved vanddamptransport ved ytterliggende forhold. Ved oppgitte ønskede verdier for temperatur og luftfuktighet i magasinet vil damptrykket være 1050 Pa, senkes dette ytterligere til 10°C og 40% RF vil damptrykket bli 500 Pa, se vedlegg 10. Det er altså sannsynlig at vanddamptransporten vil gå utenifra og inn i magasinet, avhengig av uteforholdene. Det er økt risiko ved lavere innetemperatur.

Under vises estimert fukt som vil trenge inn i magasinet fra gulvet ved 10°C og 100% RF i bakken og 18°C og 50% RF i magasinet. Vanligvis støpes betonggulv til 80-100 mm tykkelse, men dette gjelder gulv til ikke-bærende vegger. I magasinet er alle søylene til reolene en del

av den bærende konstruksjonen i tillegg til to bærende yttervegger. Det er derfor gjort et estimat til 150 mm tykkelse for dette eksempelet, med en vanndamppermeabilitet,  $\delta_p$ , på  $1,4 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{msPa})$  (Edwardsen og Ramstad, 2014). Betongen er da malt med dampåpen maling med en ekvivalent luftlagstykkelse,  $s_d$ , satt til 3,5 m. Disse verdiene er kun et estimat, og resultatet vil kunne avvike fra den virkelige situasjonen.

Material	$\delta_p$ [kg/(msPa)]	$s_d$ [m]	$Z_p$ [(m <sup>2</sup> sPa)/kg]
Betong 15cm	$1,4 \times 10^{-12}$		$1,071 \times 10^{11}$
Dampåpen maling		3,5	$1,795 \times 10^{10}$

Tabell 5.4: Utregning av vanndampmotstand,  $Z_p$

Formel 2.4 benyttes for å beregne vanndamptransporten,  $g$ :

$$\begin{aligned}
 g &= \frac{\Delta p_v}{(Z_{p,betong} + Z_{p,maling})} \\
 &= \frac{(1220 - 1050) \text{ Pa}}{(1,071 \times 10^{11} + 1,795 \times 10^{10}) \text{ (m}^2\text{sPa)/kg}} \\
 &= 1,359 \times 10^{-9} \text{ kg}/\text{m}^2\text{s} \\
 &= 1,359 \times 10^{-9} \text{ kg}/\text{m}^2\text{s} * 3600 \text{ s} * 24 \text{ h} * 1000 \text{ g/kg} \\
 &= 0,117 \text{ g}/\text{m}^2 \text{ per } 24 \text{ h}
 \end{aligned}$$

Magasinet er omtrent 85 m<sup>2</sup>, og det gir en tilførsel av fukt på 9,98 g per døgn. Til sammenligning tilfører et menneske til vanlig 0,5-1 liter vann per døgn i sitt hjem (Amdal, u.å.). Som eksempelet viser vil fukten fra gulvet grunnet diffusjon være på et håndterlig nivå ved bruk av dampåpen maling. Dette forutsetter at fukten i betongen ikke har andre årsaker, som kapillært oppsug av vann. Denne fukten kan fordampe mot inneluften og skape større fukttilførsel i magasinet.

Som eksempelet ovenfor viser vil det kunne tilføres en mengde fukt i magasinet, og det er hensiktsmessig å se at all uønsket fukt ikke blir værende og skaper problemer. Magasinet i dag har ingen fuktreduserende tiltak. Det kan vurderes å ha en liten åpning i spjeldet i det allerede eksisterende luftinntaket, gitt at damptrykket er lavere på den andre siden. All den tid dette spjeldet stilles manuelt vil det ikke være mulig med en kontinuerlig regulering etter forholdene og det er derfor usikkert om en slik åpning vil forbedre eller forverre situasjonen. Fjerning av uønsket fukt kan også gjøres ved hjelp av en direkte avfukter. Dersom det installeres et ventilasjonsanlegg vil fuktmengden i eksempelet over ikke være et problem. Ved en eventuell reduksjon av temperatur og luftfuktighet vil det uansett være nødvendig med et luftbehandlingsaggregat for å opprettholde dette inn klimaet. Ved samme bakkeforhold og konstruksjon som forrige eksempel, men med 10°C og 40% RF som inn klima, er fukttilførselen ved diffusjon gjennom gulvet på 42,3 g per døgn. Dette vil kunne håndteres av ventilasjonsanlegget. Et overtrykk skapt av et ventilasjonsanlegg vil også være en ekstra fuktsikring.

Varme er en effektiv metode for å redusere fukt, ettersom høyere temperatur gir lavere relativ luftfuktighet. Magasinets klima i dag er på gjennomsnittlig 13,7°C og 58% RF, og varmes denne luften opp til 18°C vil avlesning i et Mollier-diagram vise at den relative luftfuktigheten synker til 45% (vedlegg 11). Fra grafen i figur 1.1 synes det at den relative luftfuktigheten øker når temperaturen i magasinet øker. Uteluften om sommeren er varm og fuktig, trenger denne luften inn i magasinet og møter kalde flater vil den relative luftfuktigheten øke. I tillegg kan bakkens damptrykk øke og gi større vanndamptransport gjennom diffusjon. Økt fuktinnhold vises i grafen for absolutt luftfuktighet (figur 4.7), hvor denne følger en lik trend som utetemperatur. Når utetemperatur øker, øker også fuktmengden i magasinet. Fuktigheten vil reguleres noe ved å holde magasinet stabilt oppvarmet, men i sommermånedene må det tas ekstra hensyn til den tilførte fukten fra utelufta.

Direkte avfuktere og befuktere er en måte å kontrollere luftfuktigheten på uten bruk av ventilasjonsanlegg. Direkte avfuktere kan være et nyttig hjelpemiddel, men det kan også være ulemper i forbindelse med bruken av disse. Blant annet vil det være risiko for dannelse av mikroklima og tørr trekk. Flere avfuktere kommer med hydrometer som kan justeres slik at avfukteren kun er i drift til en bestemt verdi oppnås. Om vinteres kan det være et ønske å øke den relative luftfuktigheten om den faller under 50%, men en direkte befukter kan medføre en del risiko. Det kan lett oppstå mikroklima siden det er lite eller ingen luftsirkulasjon i BT1 for å jevnt fordele den fuktige luften. I tillegg er mange befuktere av metall, og kondens kan lett dannes på overflaten. Dampfuktning vil også føre til fare for at arkiv- og biblioteksmaterialer får damp direkte på overflaten, spesielt siden magasinet har nokså lite ubenyttet areal. Det må derfor vurderes om risikoen ved direkte befuktere er større enn fordelene med noe fuktigere luft. Direkte avfuktning og befuktning krever jevnlig og nøye vedlikehold. Tømming og fylling av vann kan kreve hyppige besøk i magasinet ettersom stillestående vann gir grobunn for bakterier.

Med dette lagt til grunn er det anbefalt å utbedre konstruksjonen og etterisolere ytterveggene. Isolering ved varmeoverganger til tilstøtende rom bør også vurderes, samt isolering av taknedløpet. Isolering av magasinet vil gjøre det lettere å opprettholde et så stabilt inneklimate som er ønsket for fremtidig bruk, og det vil også være et energisparende tiltak. Før gulvet behandles anbefales det å tørke ut gulvet og bakken i en periode, og dampåpen maling kan være en fornuftig overflatebehandling. Det bør legges til rette for avfuktende systemer for å kontrollere at fuktinnholdet i magasinet ikke blir for stort. Valg av løsning på dette vil variere ut ifra eventuelt ventilasjonsanlegg.

#### 5.4 Varme

Temperaturen i magasinet må være så stabil som mulig, noe som også vil hjelpe med å holde den relative luftfuktigheten stabil. Det kan være behov for oppvarming for å opprettholde temperaturen, spesielt på vinteren.

Vanlige varmeovner er ikke å anbefale i magasinet, ettersom de uten tilstrekkelig luftsirkulasjon vil medføre risiko for mikroklima. Vifteovner gir en luftstrøm som kan spre varmen mer, men uten jevn luftsirkulasjon i hele magasinet vil det likevel trolig være risiko for mikroklima. Luftstrømmen er også problematisk ved at den kan virke svært tørrrende på

arkiv- og biblioteksmateriale. Det er ekstra krevende å benytte slike ovner fordi det er liten plass i BT1, dermed vil ikke den varme luftstrømmen få rom til å blande seg med romluften før den når materialene. Med en slik oppvarmingsmetode vil det kreve at hastigheten og differansen mellom utblåsningstemperaturen og romtemperaturen er lav.

Varmepumper er en metode som gir noe mer kontroll, og mulighet til å styre flere parametere. Befuktning gjennom varmpumper vil kunne fordele fukten bedre enn en direkte befukter. Dog kan den ikke alltid befukte ved lave utetemperaturer, og det er gjerne på vinteren behovet for befuktning er mest aktuelt. Enkelte varmpumper er utstyr med filter, og ved benyttelse av en slik varmepumpe vil inneluften til en viss grad kunne renses. Varmepumper kan installeres med multisplitt, eksempelvis en innedel på hver side av magasinet. På denne måten kan inneluften lettere balanseres for å holde 18°C og 50% RF i hele rommet, dersom en side for eksempel skulle være kaldere. Da vil varmepumpene kun være dimensjonert for halve rommet og lufthastigheten kan reduseres. Det vil likevel kunne oppstå samme problematikk som ved vifteovner, at det er for liten plass for luftstrømmen å blande seg med inneluften før det når materialene i magasinet. Varmepumpen må derfor kunne justere lufthastigheten tilstrekkelig lavt. Det kan også oppstå små svingninger i temperatur og relativ luftfuktighet ved bruk av varmepumpe, noe som ikke er ønskelig ved oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale.

Ved oppvarming via ventilasjon vil det være god kontroll på temperaturen og lufthastigheten på tilluften, i tillegg kan kvaliteten på romluften enklere kontrolleres. Dette gjelder både filtreringsgrad av tilluften og regulering av luftfuktighet. Det er ingen vinduer i BT1 som gir fare for kaldras og ved vurdering av figur 1.1 med minimum innetemperatur på omtrent 11,5°C er det ingen grunn til å anta at varme gjennom ventilasjon ikke er tilstrekkelig. Det er sannsynlig at oppvarming via ventilasjon er den mest gunstige metoden.

## 5.5 Ventilering av BT1

Luftkvaliteten og -sirkulasjonen er viktig for å sørge for at luften til enhver tid er ren og for å opprettholde et stabilt inneklima i magasin, blant annet ved å unngå trekk og dannelsen av mikroklima i magasinet og for å hindre opphopning av partikler som kan være skadelige for materialene som lagres der. Måten rommet ventileres på vil være avgjørende for dette. Inneklimaet skal holdes stabilt samtidig som det er ønskelig å holde luften så ren som mulig. Det er vist at fortregningsventilasjon fører til bedre luftkvalitet enn omrøringsventilasjon, ettersom det ved fortregningsventilasjon vil være like høy konsentrasjon av forurensning i øvre sjikt av rommet som det er i hele rommet ved omrøringsventilasjon. Andre ting som må tas i betraktning er hindringer som kan påvirke strømningsbildet i rommet, i BT1 er det for eksempel åpne, fastmonterte reoler fra gulv til tak. Ved fortregningsventilasjon har ikke hindringer like stor betydning for strømningsbildet som ved omrøringsventilasjon. Plasseringen av tilluftsventiler er også mer fleksibel ved fortregningsventilasjon ettersom det har liten, eller ingen innvirkning på ventilasjonseffektiviteten. I tillegg kan luften tilføres ved en lavere hastighet, som gir redusert risiko for trekk. Dette gjør at det er grunn til å anta at det i dette tilfellet vil være hensiktsmessig å benytte seg av fortregningsventilasjon.

Ved fortregningsventilasjon er det mulig å velge i hvor stor grad den tilførte luften skal virke som et stempel ut ifra hva slags ventil som benyttes, og dermed hvor mye sekundærluft

(romluft) som blir indusert. I BT1 er det viktig at luften holdes fri for partikler, mikroorganismer og VOC. Det vil derfor være fordelaktig å benytte en måte å tilføre friskluft på som sørger for størst mulig utskiftning av luften som allerede er der, og derfor med minst mulig induksjon av sekundærluft. Altså at den tilførte luften fungerer i størst mulig grad som et stempel, som dytter den «gamle» luften foran seg og ut av rommet gjennom avtrekket og at den tilførte luften må være tilstrekkelig filtrert før den føres ut i magasinet.

Uavhengig av hvilken frisklufttilførsel magasinet har, bør det som tidligere nevnt være overtrykk i magasinet for å hindre forurensning å trenge inn i rommet.

#### 5.5.1 Filter, luftkvalitet og gasser

Ventilasjonsanlegget skal sørge for en luftkvalitet som holder arkiv- og biblioteksmaterialet rent og tørt, samt motvirke mugg og mikroorganismer. Det er derfor viktig at luften som tilføres er tilstrekkelig filtrert, særlig med tanke på gasser og partikler som påvirker luftkvaliteten og som kan føre til for eksempel oppvekst av mugg. Dette er spesielt viktig dersom lagrede materialer skiller ut gasser, som eddiksyre og maursyre. Enkelte partikkeltyper kan være skadelig for materialer i magasinet, og ved oppsamling av partikler vil det være risiko for vekst av mikroorganismer og at det dannes mikroklima. Dette vil reduseres til et minimum ved å installere filter på luftinntaket i tillegg til tilluften. Dette vil hindre mest mulig fuktighet å havne i tilluftsfilteret, og derfor minske risikoen for uheldig vekst av mikroorganismer. Det vil også optimalisere effekten av tilluftsfilteret og gjøre det enklere for anlegget å holde et stabilt inneklime i magasinet. Det vil være hensiktsmessig å bruke et karbon- og partikkelfilter med minimum filterklasse ISO PM<sub>1</sub> med minst 80% utskillingsgrad i tilluften.

#### 5.5.2 Frisklufttilførsel

Det er ønskelig å holde stabil temperatur og relativ luftfuktighet, og ved å tilføre luft med samme temperatur som rommet vil det oppnås en så laminær luftstrøm som mulig. Dette vil være spesielt heldig med tanke på å unngå trekk og dannelse av mikroklima, og ved åpne reoler vil luften kunne strømme fritt mellom lagrede materialer og sørge for god luftutskiftning.

Det finnes flere forskjellige tilluftsventiler innen fortregningsventilasjon, deriblant ventiler som er felt inn i veggen, gulvventiler og ventiler som står utenpå veggen, i et hjørne eller midt i rommet. De tre sistnevnte er sylindereformet og kan være utformet som en halvsirkel, en kvart sirkel eller en full sirkel hvor luften strømmer ut på alle sider gjennom perforerte fronter.

Dersom det blir valgt å tilføre luften gjennom en ventil som dekker en hel vegg kan en tilnærmet laminær luftstrøm oppnås og kunne sørge for lik luftutskiftning i hele rommet, og minimerer dannelse av sjikt med økende konsentrasjon av forurensning opp mot taket. Det er i tillegg få eller ingen kilder til konveksjonsstrømmer i magasinet som bidrar ytterligere til slike sjikt med forskjellig forurensningskonsentrasjon.

I en slik vegg er det mulig å tilføre luften gjennom en filtermatte eller en perforert plate. For å få minst mulig induksjon av sekundærluft, og dermed størst mulig «stempleffekt», vil filtermatte være det beste valget. En ulempe med filtermatte er at den vil kreve mer

vedlikehold, ettersom denne må byttes ut med jevne mellomrom. I tillegg vil strømningsbildet bli negativt påvirket dersom det skulle bli nødvendig å tilføre undertemperert luft i magasinet, ettersom stempeleffekten vil forsvinne og den undertempererte luften vil legge seg langs gulvet som et «teppe». Det vil derfor være fordelaktig å benytte seg av en perforert plate med høy perforeringsgrad og lav innblåsningshastighet. Ved en slik løsning bør avtrekket være på tilstøtende vegg og av samme type. På denne måten vil det være god luftutskiftning og god luftkvalitet i magasinet til enhver tid. En slik perforert plate må være montert minimum 50 mm fra eksisterende vegg, og denne løsningen vil derfor kreve en viss del av arealet i magasinet, det må derfor vurderes om det tar for mye plass i rommet. Det må også føres kanaler frem både for tilluft og avtrekk.

En annen mulighet er å bruke flere mindre tilluftsventiler plassert ved gulvet i magasinet. Dette vil sørge for god ventilasjonseffektivitet og god luftkvalitet i oppholdssonen i magasinet. I et slikt tilfelle bør avtrekk plasseres høyt oppe på en vegg eller i taket.

Ved montering av partikkel- og karbonfilter i avtrekket vil det være mulig å benytte omluft store deler av døgnet. Dette vil si at ny frisk luft ikke tilføres, men den luften som allerede er i rommet resirkuleres. Karbon- og partikkelfilter i avtrekket vil sørge for at forurensning fra lagret materiale vil bli filtrert bort før luften går tilbake til rommet. Dette vil være energibesparende og minske risikoen for ytre forurensning ytterligere.

### 5.5.3 Styring

Det vil i dette tilfellet være fordelaktig å benytte seg av behovsstyrt ventilasjon, med temperatur, relativ luftfuktighet og VOC som styringsparametere. Behovsstyrt ventilasjon sørger for at ventilasjonen tilpasses etter de faktiske forholdene samtidig som det er energibesparende. Den enkleste tilnærmingen til behovsstyrt ventilasjon er et tidsstyrt anlegg med fast luftmengde. Et slikt anlegg stilles inn til minimum eller ingen drift gitte tider av døgnet, for eksempel kvelds- og nattestid i et kontorbygg. På denne måten unngås bruk av energi på å ventilere et bygg som ikke har behov for dette. Dette vil ikke være gjeldende for BT1, ettersom det er viktig med et stabilt inneklima hele døgnet.

Magasinet er avhengig av et tilstrekkelig stabilt inneklima, og sensorer for temperatur, relativ luftfuktighet og VOC bør plasseres i tilluft og avtrekk og representative punkter i magasinet for best mulig styring. Sensorene i selve magasinet bør være plassert på punkter som ikke lett blir påvirket av for eksempel åpning av dør eller varme fra belysning, i tillegg bør disse være i en høyde som representerer gjennomsnittshøyden av den høyden det lagres materiale for mest mulig representative målinger. Sensor plassert i tilluft bør monteres så kort etter varmegjenvinner som mulig, mens sensor i avtrekk burde plasseres like innenfor avtrekksventilen.

For å styre luftfuktighetsnivået best mulig bør det benyttes et aggregat med både befuktning- og avfuktningmulighet av tilluften ved eksempelvis et kjølebatteri, og ikke et aggregat som responderer med turtallsregulering av viften. Et aggregat hvor styringssignalet regulerer turtallet på viften vil kun øke eller minke luftmengden til den får tilbakemelding om at settverdi er nådd, og vil dermed ikke endre luftfuktigheten på den tilførte luften. Dersom den tilførte luften har høyere relativ luftfuktighet enn luften i magasinet kan dette

føre til at det tar veldig lang tid før anlegget klarer å senke luftfuktigheten i rommet, noe som kan være uheldig for lagret materiale. Samtidig varierer luftfuktigheten på inntaksluften og om denne er høyere en ønsket settverdi vil ikke aggregatet ha noen umiddelbar måte å fjerne den overflødig fuktigheten i luften på, og vil dermed tilføre luft i magasinet som overskrider ønsket nivå. Dette vil føre til et mer ustabil inneklime, og det er fare for at en døgnvariasjon på maksimalt  $\pm 5\%$  vil kunne overskride. Ved direkte avfuktning eller befuktning av tilluften vil det være full kontroll på luftfuktigheten til den tilførte luften og derfor enklere å holde stabil relativ luftfuktighet i magasinet.

#### 5.5.4 Ventilasjonsaggregat

Arealet til BT1 er rundt  $85 \text{ m}^2$ . Arbeidstilsynets 444 inneholder anbefalinger til inneklime på arbeidsplassen, men ettersom BT1 ikke er et oppholdsrom er det ikke nødvendig å følge anbefalingene til luftmengde med tanke på personbelastning. Derimot vil det være hensiktsmessig å følge anbefalingene om luftmengder i forbindelse med bygning, interiør og installasjoner og emisjon fra disse. Det er anbefalt luftmengder fra  $2,5\text{-}7 \text{ m}^3/\text{h}$  og over per  $\text{m}^2$ , avhengig av gjeldende materialer. Arkiv- og biblioteksmateriale kan bestå av flere forskjellige typer materiale, og noe av hensikten med ventilasjonen vil være å føre bort partikler og gasser fra lagret materiale. Det er derfor tatt utgangspunkt i  $9 \text{ m}^3/\text{h}$  per  $\text{m}^2$  som gir en luftmengde på rundt  $800 \text{ m}^3/\text{h}$  for BT1:

$$\dot{V} = 85 \text{ m}^2 * 9 \text{ m}^3/\text{h per m}^2 = 765 \text{ m}^3/\text{h} \approx 800 \text{ m}^3/\text{h}$$

I dag finnes det flere leverandører som leverer aggregat for boligventilasjon med luftmengder opp mot  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dette er små, kompakte aggregat med god brukervennlighet som ikke tar stor plass. Disse kan styres av flere forskjellige parametre, deriblant relativ luftfuktighet, temperatur og VOC. Det vil være viktig å velge et aggregat hvor den relative luftfuktigheten reguleres ved hjelp av befuktning eller avfuktning av tilluften og ikke turtallsregulering av viften. Samtidig må det kunne styres av både interne og eksterne sensorer for relativ luftfuktighet, temperatur og VOC, ettersom det er ønskelig med sensorer plassert ute i rommet i tillegg til i tilluft og avtrekk.

#### 5.6 Observasjoner og forslag til løsninger

Gjennom de forskjellige undersøkelsene og litteraturstudiet gjort i forbindelse med innhenting av relevant teori er det gjort observasjoner det er naturlig å kommentere, i tillegg til de forslagene som spesifikt omhandler forbedring av inneklime. Under er alle disse observasjonene samlet med kommentarer for å gjøre det hele enklere og mer oversiktlig fremstilt.



### 5.6.1 Generelle observasjoner

Observasjonene som er listet opp i tabell 5.5 er faktorer som bør vurderes, disse faktorene har varierende grad av påvirkning på inneklimate i magasinet.

<b>Observasjon</b>	<b>Kommentar</b>
<b>Valg av belysning</b>	Bytte til LED-belysning for energibesparelse og redusert varmetilskudd i magasinet.
<b>Hyller i reoler</b>	Nederste hylle bør høynes til 10 cm over bakken for å redusere risiko i forbindelse med skadedyr og vannskader.
<b>Kaldt rør</b>	Røret har en temperatur på 5,8°C. Dette er under duggpunktet ved 18°C og 50% RF. Røret bør isoleres for å unngå kondens.
<b>Brannsikring</b>	Installere et anlegg for inert luft eller inergen for brannsikring av magasinet og dets innhold, ettersom vann kan skade de lagrede materialene.
<b>Temperatur og RF</b>	Det er vist at arkiv- og biblioteksmateriale oppbevares best og får forlenget forventet levetid ved lavere temperaturer og 30-50% RF. Det anbefales derfor å vurdere å holde lavere temperatur og relativ luftfuktighet enn de opprinnelig ønskede verdiene.
<b>Akklimatisering ved uthenting av materiale</b>	Dersom materialet skal fraktes til et sted som er varmere og med høyere relativ luftfuktighet enn magasinet bør materialet akklimatiseres ved uthenting. Dersom en akklimatiseringssluse ikke er gjennomførbar bør det benyttes fuktsikre poser eller bokser for akklimatisering.

Tabell 5.5: Observasjoner

### 5.6.2 Inneklimaløsninger

I tabellen under presenteres de ulike forslagene og hvilke løsninger hvert forslag innebærer, hvert forslag er beskrevet mer detaljert under tabellen.

Forslag	Løsning
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kartlegge årsaken til fuktskadene og utføre eventuell reparasjon</li> <li>• Isolere yttervegger utvendig med dampåpen isolasjon for tørking utover</li> <li>• Isolere innervegger for å hindre varmegjennomgang fra tilstøtende rom</li> <li>• Male gulv eller legge gulvbelegg med dampåpne materialer</li> <li>• Installere temperatur- og relativ luftfuktighetsmåler, slik at det til enhver tid er oversikt over forholdene i magasinet</li> <li>• Direkte avfuktning kan benyttes om det fremdeles er for høy luftfuktighet, men det bør vurderes med tanke på ulempene tilknyttet direkte avfuktere</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utføre tiltakene i forslag 1</li> <li>• Installere behovsstyrt ventilasjonsanlegg som styres av temperatur, relativ luftfuktighet og VOC. Med sensorer plassert i tilluft og avtrekk, i tillegg til representative punkter i magasinet</li> <li>• Ventilasjonsaggregat med minimumskapasitet på 1000 m<sup>3</sup>/h med mulighet for omluft</li> <li>• Benytte fortrekningsventilasjon</li> <li>• Fuktstyring av tilført friskluft ved hjelp av eksempelvis kjølebatteri, ikke turtallsregulering av viften</li> <li>• Grovfilter installert på luftinntaket og karbon- og partikkelfilter med minimum ePM<sub>1</sub> 80%</li> <li>• Innregulere med noe overtrykk for å hindre at ytre forurensninger trenger inn i magasinet</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forutsetter gjennomføring av forslag 2</li> <li>• Tilluftsventil i form av en hel vegg med perforert plate for jevn og god lufttilførsel og god ventilasjonseffektivitet</li> <li>• La aggregatet i hovedsak gå på omluft for energibesparelse og ytterligere sikring av stabilt inneklimate, kun tilføre ny luft dersom settverdier på °C, RF og VOC ikke møtes ved omluft</li> <li>• Montere karbon- og partikkelfilter med minimum ePM<sub>1</sub> 80% i avtrekk før omluftspjeld</li> </ul>

Tabell 5.6: Forslag til løsninger

Forslag 1 er et anbefalt minimum for å kunne bruke BT1 til ønsket formål, og innebærer å utføre nødvendige utbedringer på vegger og gulv i magasinet for å oppnå et stabilt inneklimate med tanke på temperatur og luftfuktighet. Dette vil derimot ikke sørge for god luftkvalitet og -utskiftning i rommet. Det vil være risiko for at det oppstår mikroklima, eksempelvis på grunn av partikkelopphopninger som skyldes partikler eller gasser som enkelte arkiv- og biblioteksmaterialer kan utskille. Det bør installeres en temperatur- og relativ luftfuktighetsmåler for å kunne ha oversikt over forholdene i magasinet til enhver tid. All den tid det ikke er mulig å regulere disse vil dette kunne være med å hindre skade på lagret materiale, ettersom det lettere kan oppdages om det skulle oppstå store forandringer i magasinet som gjør at lagret materiale bør flyttes.

Forslag 2 innebærer gjennomføring av utbedringene i forslag 1 samt å installere et behovsstyrt ventilasjonsanlegg med temperatur, relativ luftfuktighet og VOC som styringsparametere. Ventilasjonsaggregatet bør ha en kapasitet på minimum  $\pm 1000 \text{ m}^3/\text{h}$  og fuktstyringen av luften bør være ved befuktning eller avfuktning og ikke turtallsregulering av viften, for å sikre at tilført luft i magasinet har ønsket relativ luftfuktighet. Det bør plasseres sensorer i tilluft, avtrekk og på representative punkter i rommet. Det anbefales å benytte et luftinntak med grovfilter og et karbon- og partikkelfilter med minimum  $\text{ePM}_{10}$  80%. Fortregningsventilasjon anbefales, ettersom dette fører til renere luft enn ved omrøringsventilasjon og risiko for at lagret materiale utsettes for trekk minimeres. Det kan også være en mulighet å installere et ventilasjonsanlegg uten å gjøre noe med den eksisterende fukten i rommet, men dette vil gjøre det mer utfordrende for anlegget å holde et tilstrekkelig stabilt inneklima, samtidig som det vil føre til unødvendig energibruk og energikostnader. Det skal også nevnes at dersom det viser seg å være skade i konstruksjonen som er årsaken til fukten i magasinet vil problemet bare øke over tid og et ventilasjonsanlegg vil til slutt ikke være tilstrekkelig. Dette fører til at lagret materiale blir ekstra utsatt for skade og til slutt vil det ikke være mulig å benytte magasinet til ønsket formål.

Forslag 3 er med forbehold om at forslag 2 gjennomføres, og omfatter hvilken ventilasjonsmetode som bør benyttes for best mulig luftkvalitet i BT1. Som nevnt tidligere vil den mest optimale løsningen være en ventil med høy perforeringsgrad som dekker hele veggen. Dette vil sikre god luftutskiftning og ren luft til enhver tid, ettersom det er lite induksjon av sekundærluft, og vil effektivt føre eventuelle forurensninger vekk fra lagringsmaterialet. Denne løsningen anses som den mest optimale løsningen for å sikre et godt og stabilt inneklima for lagring av arkiv- og biblioteksmateriale i BT1 med så ren luft som mulig.

## 6 Konklusjon

Utgangspunktet for denne rapporten var å kartlegge inneklimaforholdene til magasin BT1 for å finne ut om stabil temperatur på 18°C og 50% RF var mulig. Resultatene av utførte undersøkelser har vist at temperaturen i BT1 er relativt stabil. Den fluktuerer noe mellom de forskjellige målepunktene, men lite gjennom hele måleperioden. Temperaturen gjennom måleperioden ligger gjennomsnittlig på 13,7°C, med en svingning på rundt 3°C mellom de forskjellige punktene i rommet. Det er rimelig å anta at grunnen til dette er at veggene i magasinet ikke er isolert som fører til at ytterveggene har større varmetap enn innerveggene, samt at det er varmegjennomgang i innerveggene fra tilstøtende rom.

Gjennomsnittet til den relative luftfuktigheten i rommet ligger på 58% og varierer rundt 10% mellom laveste og høyeste verdi til enhver tid. Det er grunn til å anta at de uisolerte ytterveggene i magasinet påvirker dette. Den relative luftfuktigheten anses som stabil i løpet av måleperioden, med en jevn økning på gjennomsnittlig 5% i hvert punkt. Den absolutte luftfuktigheten varierer mellom 6,32–7,72 g/m<sup>3</sup> gjennom hele måleperioden, hvor logger 2.2 stort sett har høyest verdi og logger 1.1, 2.1, 3.1 og 4.1, som alle er plassert 20 cm under taket, har lavest verdi i hvert målepunkt. Den gjennomførte fuktmålinga viser at det er mye fukt i konstruksjonen til magasinet. Dette gir mistanke om lekkasje i ytterveggene og kapillært oppsug av fukt i gulvet. Bortsett fra dette er det ingen andre oppsiktsvekkende eller uvanlige funn.

Med disse resultatene lagt til grunn er det anbefalt en utvendig inspeksjon av ytterveggene for å avdekke eventuelle feil eller mangler, og utbedring av disse for å hindre ytterligere skader. I tillegg til dette vil etterisolering av veggene føre til at forholdene i mindre grad påvirkes av ytre faktorer og derfor bli mer stabil gjennom hele rommet i løpet av året. Dersom veggene fuktsikres ytterligere og vegger og gulv tørkes godt opp er det rimelig å anta at luftfuktigheten i magasinet vil synke. Ettersom gjennomsnittet for den relative luftfuktigheten i dag ligger på 58% er det derfor mulig at denne vil ligge på et akseptabelt nivå etter en slik utbedring. Gjennomsnittstemperaturen er noe lavere enn 18°C, men med tanke på forventet levetid på lagrede materialer vil det være heldig å senke denne temperaturen. For akklimatisering av materiale som skal hentes ut fra magasinet anbefales det innkjøp av fuktsikre poser eller bokser.

Det er utarbeidet tre forslag til løsninger for inneklimaet i BT1, samt noen generelle observasjoner med tanke på oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale (tabell 5.3 og 5.4). Forslagene bygger på hverandre, hvor forslag 1 tar for seg det som er anbefalt minimum av utbedring og forslag 2 og 3 bygger videre på dette, der forslag 3 er den mest optimale løsningen for inneklimaet i magasinet med tanke på ønsket bruk.

Ut ifra de metodene som er benyttet, resultatene og drøftingen er det konkludert med at inneklimaet i BT1 i måleperioden er stabilt, men den relative luftfuktigheten er for høy og temperaturen er for lav i forhold til ønskede verdier. For å oppnå ønskede verdier bør det gjennomføres utbedringer med tanke på fuktsikring og luftkvalitet.

## 7 Videre arbeid

For å få et bedre bilde av hvordan det er ønskelig at inneklimate i magasinet skal være kunne det blitt utført undersøkelser i et magasin som er optimalt for oppbevaring av arkiv- og biblioteksmateriale. Dette ville gitt en sammenligning i verdier og svingninger i det magasinet som fungerer og BT1. Det hadde også vært mulig å logge den relative luftfuktigheten utendørs for å se om den har noen innvirkning på inneklimate.

I forbindelse med lufthastighetsmålingene skulle det vært utført røykforsøk, men ettersom koronavirusutbruddet rammet Norge midtveis i semesteret ble det ikke mulig å gjennomføre dette grunnet smittevernstiltakene som ble innført. Det hadde også vært ønskelig å utføre enkelte målinger flere ganger, særlig undersøkelse med varmekamera og fuktmålinger, for å finne ut om værforholdene påvirket resultatene som ble funnet. For å fastslå om det fuktige inneklimate har ført til en oppvekst av mugg, bør det utføres undersøkelse for soppspor. Utsatte steder for mugg vil være organiske materialer som treverk og fuktskadene i veggene, muggkilder må fjernes før magasinet kan benyttes. Videre arbeid for Gunnerusbiblioteket vil derfor være å eventuelt gjennomføre slike undersøkelser før en av de foreslåtte løsningene for BT1 benyttes for å få bekreftet resultatene i denne rapporten.

Etter en eventuell renovering er utført anbefales det å utføre nye undersøkelser for å få bekreftet at tilstanden er bedret og som ønsket, eventuelt fastsette hva som ikke er tilstrekkelig. Dette kan gjøres ved å benytte de metodene som er brukt i dette prosjektet, med mindre det oppdages feil eller mangler rundt disse.

Dersom resultatene og konklusjonen i denne rapporten viser seg å fungere godt i BT1 vil det være muligheter for å anvende disse, eller deler av dem, i lignende magasiner hvor det oppleves lignende problemer som i BT1. Det er sannsynlig at det vil være andre forhold i magasiner som ikke ligger i kjelleren, og det er derfor viktig med tilpasning for hvert enkelt magasin.

## Referanseliste

- Amdal, G. (u.å.) *8 grunner til for høy luftfuktighet*. Tilgjengelig fra <https://www.lhl.no/sunnere-bolig/fukt/8-grunner-til-for-hoy-luftfuktighet/> (Hentet 03.04.20)
- Anicimex (2012) *Kjellergolv av betong på grunnen*. Tilgjengelig fra <https://www.anticimex.com/globalassets/norge-nb-no/media/documents/faktablad-innemiljo/faktablad-kjellergolv-av-betong-pa-grunnen--kopi.pdf> (Hentet: 14.04.20)
- Arbeidstilsynet (1991) *Veiledning, best.nr. 444: Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen*. Tilgjengelig fra <https://www.arbeidstilsynet.no/contentassets/3f86f6d2038348d18540404144f76a22/luftkvalitet-pa-arbeidsplassen.pdf> (Hentet: 23.03.20)
- Brannmannen (2002). *Inergen*. Tilgjengelig fra <http://www.brannmannen.no/fagstoff/inergen/> (Hentet: 21.04.20)
- Brannvernforeningen, OFAS (u.å.). *Inert luft*. Tilgjengelig fra <https://brannvernforeningen.no/slokkeanlegg/ulike-slokkeanlegg/inert-luft/> (Hentet: 20.04.20)
- BVP Bergen Ventilasjonssprodukter A/S (u.å.). *Bergensristen*. Tilgjengelig fra <http://bvp.no/bergensristen/> (Hentet: 17.03.20)
- Çengel, Y.A. og Boles, M.A. (2015). *Thermodynamics an engineering approach eight edition in SI units*. New York: McGraw-Hill Education
- Edvardsen, K.I. og Ramstad, T. (2014). *Trehus*. Oslo: SINTEF akademisk forlag
- Geving, S. og Blom, P. (2011a). *Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger, Delrapport 1 – Litteraturundersøkelse og generelle anbefalinger*. (Prosjektrapport 83). Oslo: Sintef Byggforsk. Tilgjengelig fra [https://www.sintefbok.no/book/index/917/utbedring\\_av\\_fuktskadede\\_kjelleryttervegger](https://www.sintefbok.no/book/index/917/utbedring_av_fuktskadede_kjelleryttervegger) (Hentet: 10.03.20)
- Geving, S. og Blom, P. (2011b). *Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger, Delrapport 2 – Felt-, laboratorie- og beregningsmessige undersøkelser av tre metoder* (Prosjektrapport 84) Oslo: Sintef Byggforsk. Tilgjengelig fra [https://www.sintefbok.no/book/index/918/utbedring\\_av\\_fuktskadede\\_kjelleryttervegger](https://www.sintefbok.no/book/index/918/utbedring_av_fuktskadede_kjelleryttervegger) (Hentet: 17.03.20)
- Grøn, Ø. (2009). *Absolutt fuktighet*. Tilgjengelig fra [https://snl.no/absolutt\\_fuktighet](https://snl.no/absolutt_fuktighet) (Hentet: 11.03.20)
- Grøn, Ø. (2019). *Indusere*. Tilgjengelig fra <https://snl.no/indusere> (Hentet: 25.03.20)
- Hjemmeautomasjon (u.å.). *Konvertere fra relativ til absolutt luftfuktighet*. Tilgjengelig fra <https://www.hjemmeautomasjon.no/forums/topic/5896-konvertere-fra-relativ-til-absolutt-luftfuktighet/> (Hentet: 07.02.20)

*How to convert relative humidity to absolute humidity* (2012). Tilgjengelig fra <https://carnotcycle.wordpress.com/2012/08/04/how-to-convert-relative-humidity-to-absolute-humidity/> (Hentet: 07.02.20)

Image Permanence Institute (u.å.). *Dew point calculator*. Tilgjengelig fra <http://dpcalc.org/> (Hentet: 03.03.20)

Ingebrigtsen, S. (2019). *Ventilasjonsteknikk Del 1*. VVS-foreningen/Nemitek.

Ingebrigtsen, S. (2019). *Ventilasjonsteknikk Del 2*. VVS-foreningen/Nemitek.

Interfil (u.å.). *Kullfilter til ventilasjonsanlegg*. Tilgjengelig fra: <https://www.interfil.no/index.php/kullfilter-ventilasjon/> (Hentet: 04.03.20)

Naaf (2008). *Usikkerhet om luftfuktighet inne*. Tilgjengelig fra <https://www.naaf.no/AllergivitenSite/Miljoforhold/Usikkerhet-om-luftfuktighet-inne/> (Hentet: 19.03.20)

Naaf (2009). *Maling og helse*. Tilgjengelig fra <https://www.naaf.no/AllergivitenSite/Miljoforhold/Maling-og-helse/> (Hentet: 21.04.20)

Naaf (2016). *Omrøring*. Tilgjengelig fra <https://www.naaf.no/subsites/drift-og-helse/tekniske-losninger/ventilasjon/omroring/> (Hentet: 04.03.20)

Rosland, I. E. (2006). *-Stans salg av oljeovner*. Tilgjengelig fra <https://www.nrk.no/norge/--stans-salg-av-oljeovner-1.518695> (Hentet: 24.03.20)

Samuelsen, E. (2017). *Relativ fuktighet*. Tilgjengelig fra [https://snl.no/relativ\\_fuktighet](https://snl.no/relativ_fuktighet) (Hentet: 11.03.20)

Skistad, H. (1989). *Fortrengningsventilasjon*. Oslo: Norsk VVS Teknisk Forening

Sintef Fag (2014). *Behovsstyrt ventilasjon, DCV – forutsetninger og utforming*. Tilgjengelig fra [https://www.sintef.no/globalassets/project/reduceventilation/behovsstyrt\\_ventilasjon\\_dcv-forutsetninger\\_og\\_utforming.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/project/reduceventilation/behovsstyrt_ventilasjon_dcv-forutsetninger_og_utforming.pdf) (Hentet: 05.03.20)

Standard Norge (2005). *NS-EN ISO 17895 maling og lakk – Bestemmelse av innholdet av flyktige organiske forbindelser i lav-VOC emulsjonsmalinger (VOC på boks)*. Tilgjengelig fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=144388> (Hentet: 04.03.20)

Standard Norge (2010). *NS-EN 15758:2010 Bevaring av kulturminne – Prosedyrer og instrumenter for temperaturmålinger i luft og på overflater av gjenstander*. Tilgjengelig fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=461936> (Hentet: 11.03.20)

Standard Norge (2011). *ISO 18934 Imaging materials – Multiple media archives – Storage environment*. Tilgjengelig fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=500105> (Hentet: 04.03.20)

Standard Norge (2016). *NS-ISO 11799 Informasjon og dokumentasjon – krav til dokumentlagring av arkiv- og bibliotekmateriale*. Tilgjengelig fra

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=805852> (Hentet: 04.03.20)

Standard Norge (2010). *NS-EN 15757:2010 Bevaring av kulturminne – Krav til temperatur og relativ luftfuktighet for å begrense klimarelatert mekanisk skade på organiske, hygroskopiske materialer*. Tilgjengelig fra

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=461935> (Hentet: 04.03.20)

Standard Norge (2016). *NS-EN ISO 16890-1 Luftfiltre for allmenn ventilasjon. Del 1: Tekniske spesifikasjoner, krav og klassifisering av utskillingsgrad basert på partikkelinnhold*.

Tilgjengelig fra

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=881560> (Hentet: 05.03.20)

Stensaas, L. I. (1973). *Ventilasjonsteknikk, 1: Grunnlaget og systemer*. 3. utg. Oslo: Universitetsforlaget.

Stensaas, L. I. (1976). *Ventilasjonsteknikk, 2: Komponenter – Industriventilasjon – Innregulering m.m.* 2. utg. Oslo: Universitetsforlaget.

Tekna (2016). *Typiske ventilasjonsløsninger i næringsbygg*. Tilgjengelig fra

<https://bygg.tekna.no/typiske-ventilasjonslosninger-i-naeringsbygg/> (Hentet: 04.03.20)

Valmot, O.R. (2015). *Forskjellen på lumen, lux og candela*. Tilgjengelig fra

<https://www.tu.no/artikler/dette-er-forskjellen-pa-lumen-lux-og-candela/275787> (Hentet: 18.03.20)

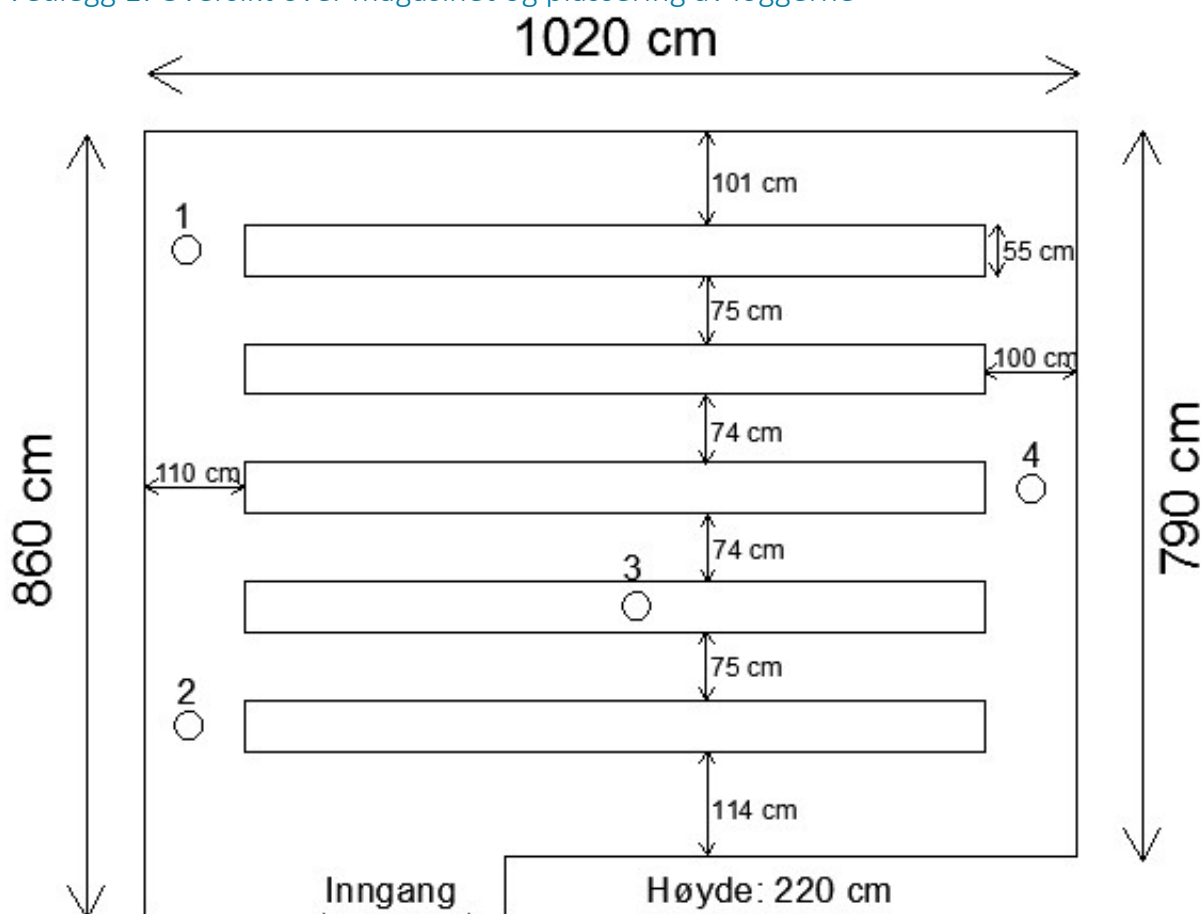
Yaga (u.å.). *Duggpunktskalkulator*. Tilgjengelig fra <https://www.yaga.no/dpkalkulator.php> (Hentet: 24.03.20)

Zijdemans, D. (2018) *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. Oslo: Skarland press.



## Vedlegg

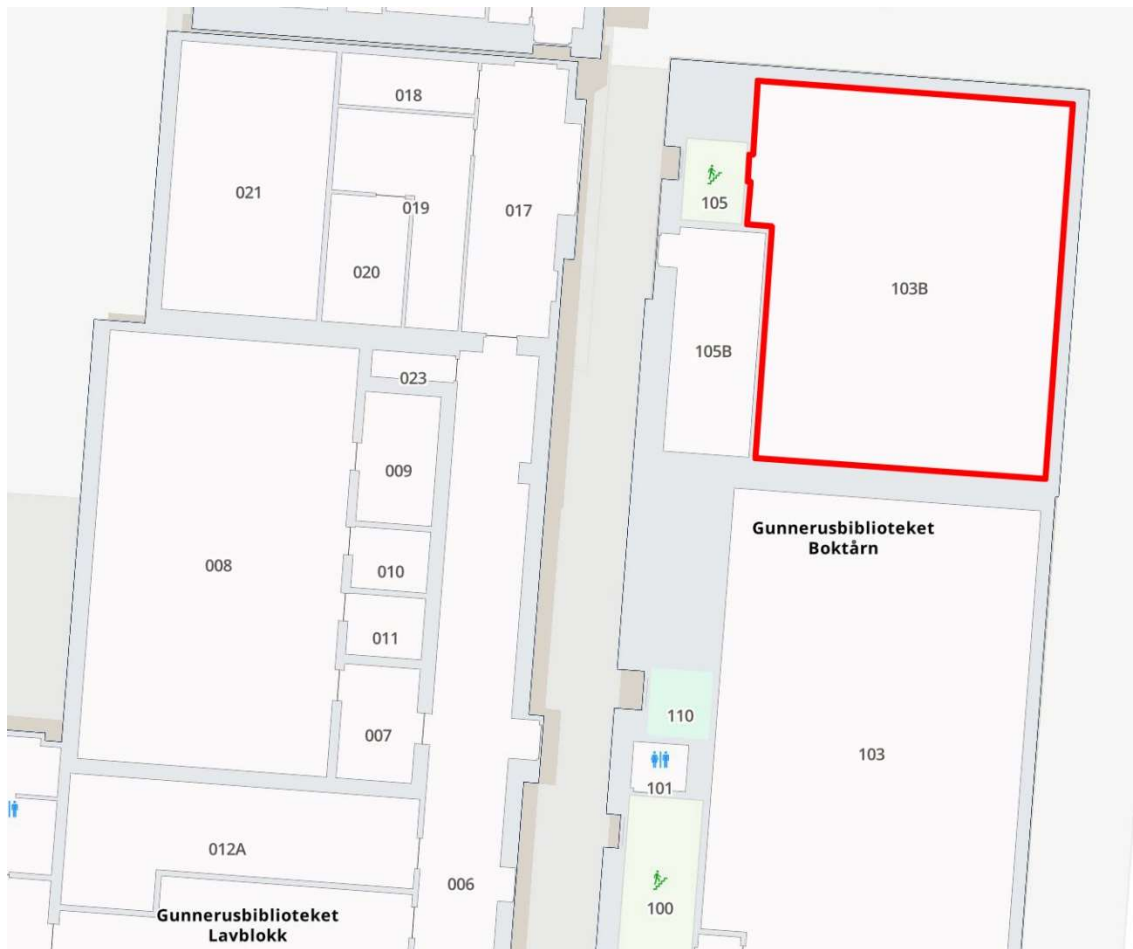
### Vedlegg 1: Oversikt over magasinet og plassering av loggerne



Det er 74 – 75 cm mellom reolene. Logger 3.1 og 3.2 er plassert i en av reolene, hvor det ikke oppbevares materiale.

Målepunkt	Logger (som referert i rapporten)	Plassering
<b>1</b>	1.1	20 cm under tak
	1.2	20 cm over gulv
<b>2</b>	2.1	20 cm under tak
	2.2	20 cm over gulv
<b>3</b>	3.1	20 cm under tak
	3.2	20 cm over gulv
<b>4</b>	4.1	20 cm under tak
	4.2	20 cm over gulv

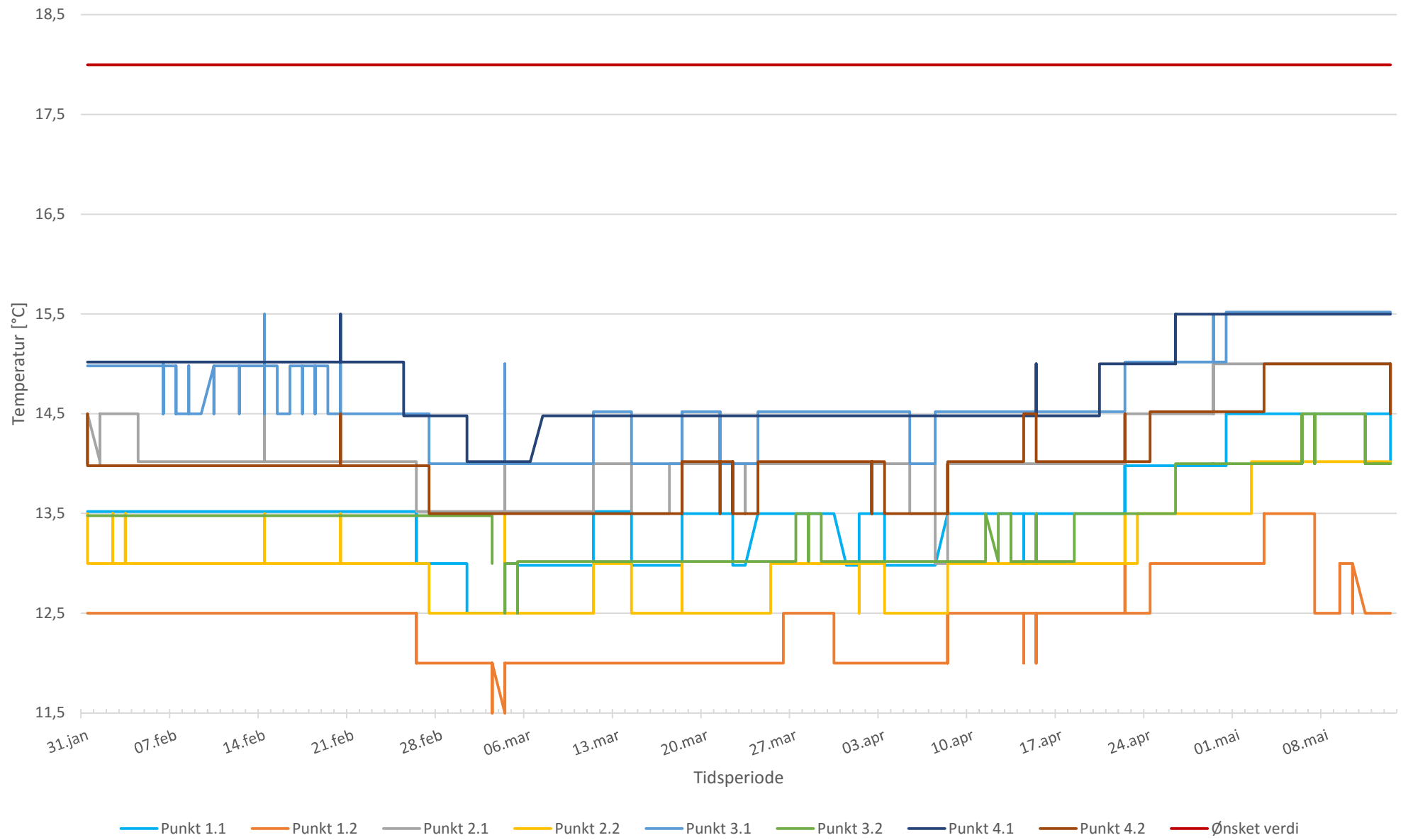
## Vedlegg 2: Oversiktsbilde



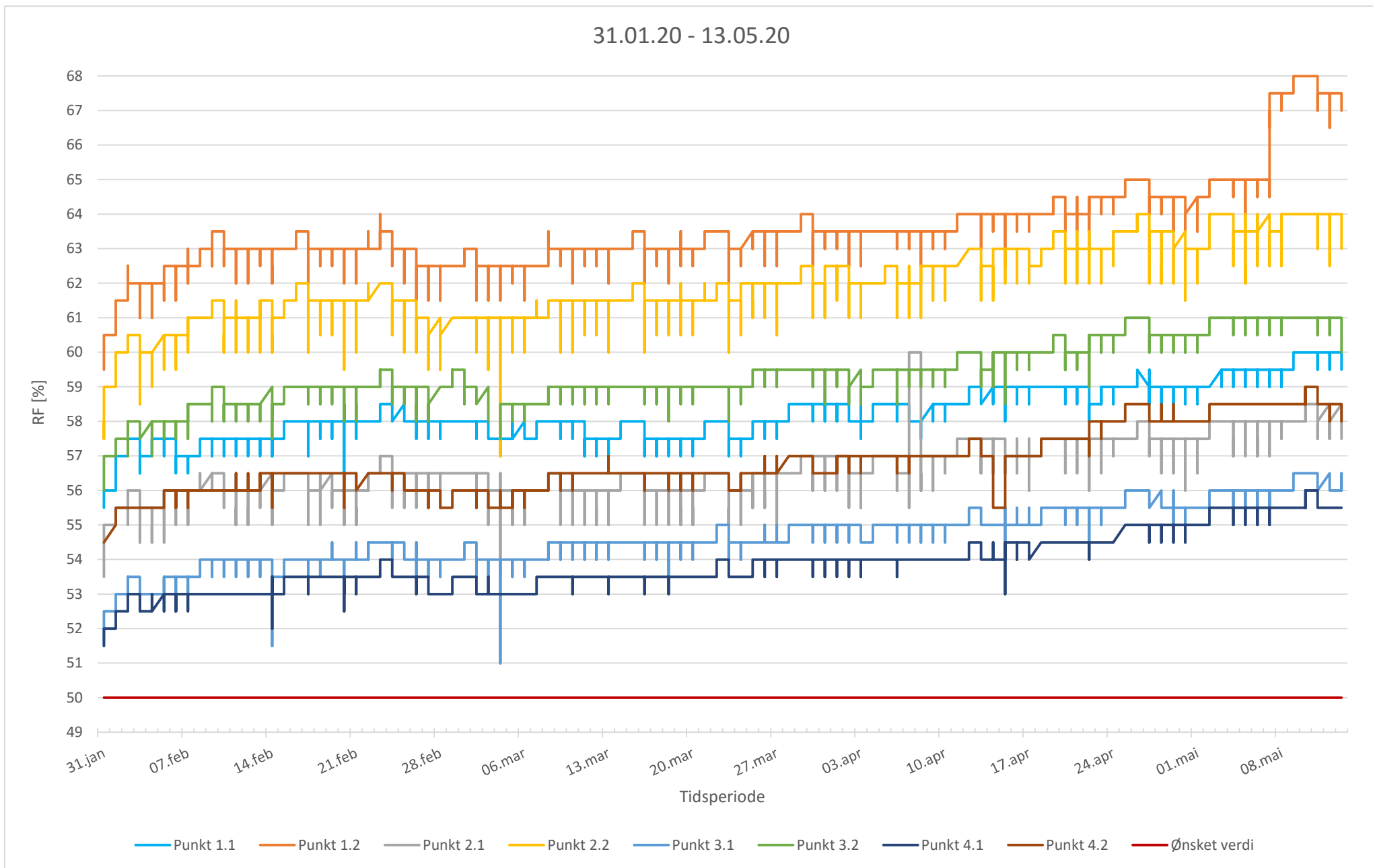
Magasin BT1 har romkode 103B i figuren og er markert med rødt.

### Vedlegg 3: Resultat temperatur

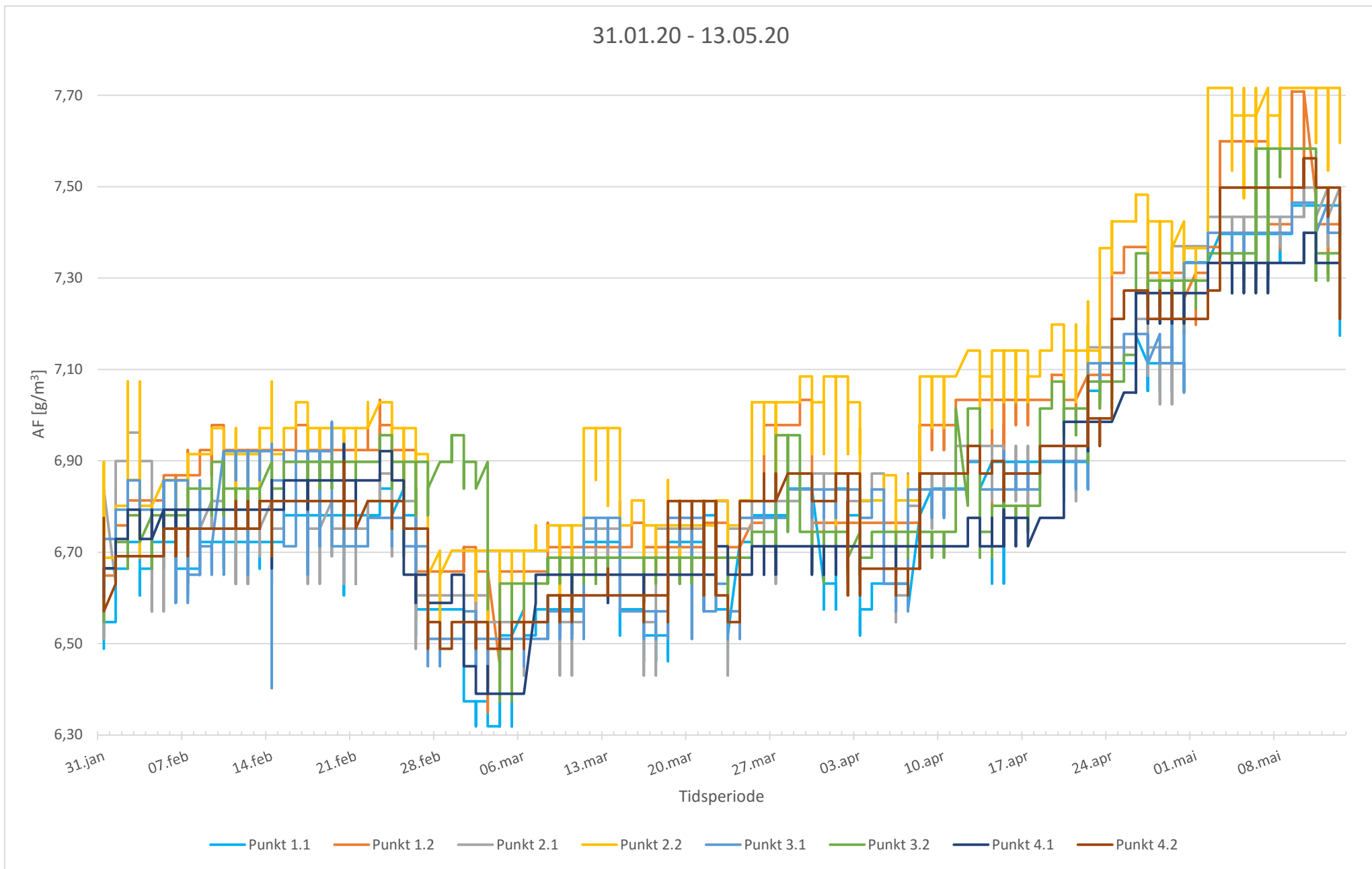
31.01.20 - 13.05.20



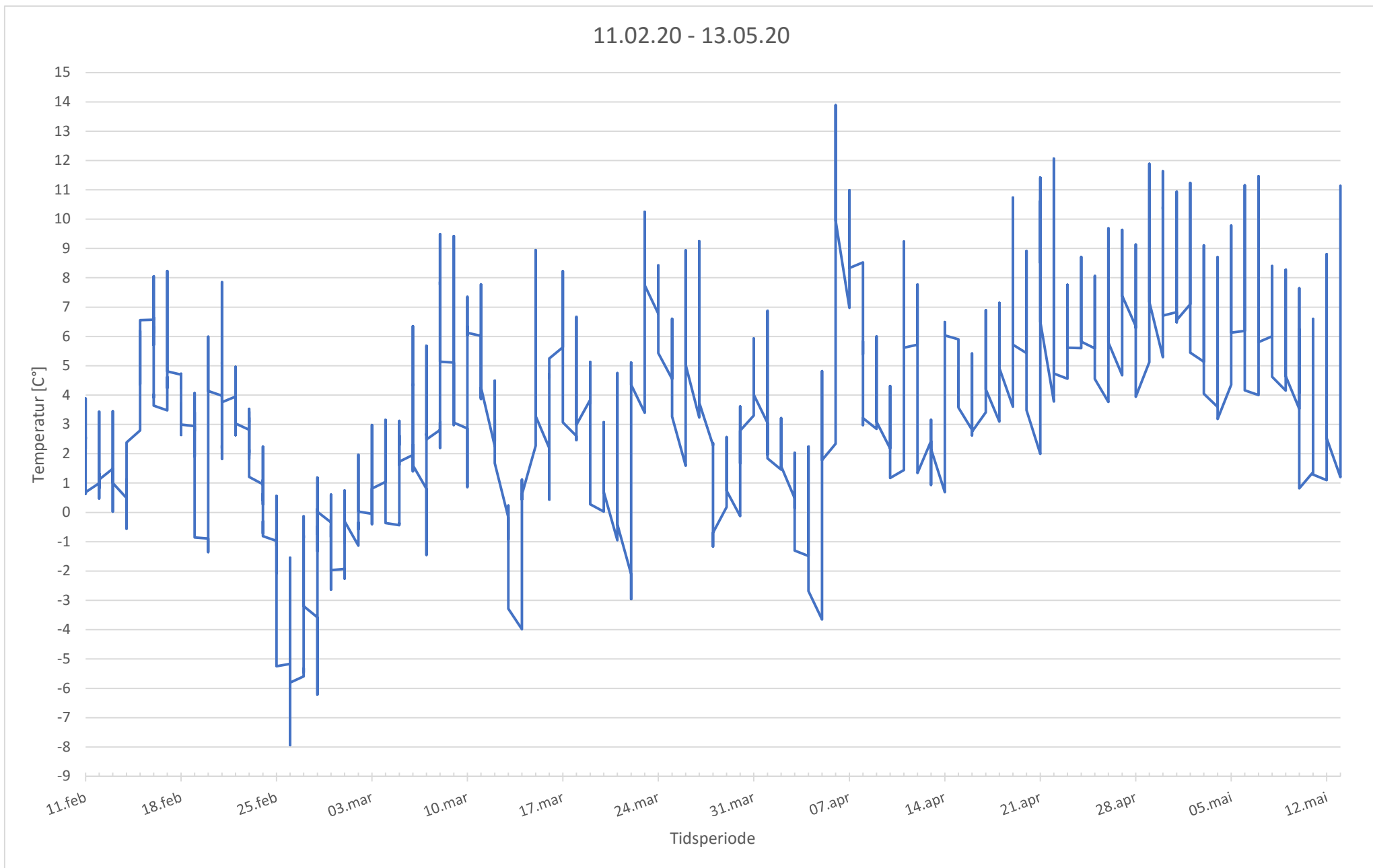
# Vedlegg 4: Resultat relativ luftfuktighet



Vedlegg 5: Resultat absolutt luftfuktighet



# Vedlegg 6: Resultat utetemperatur



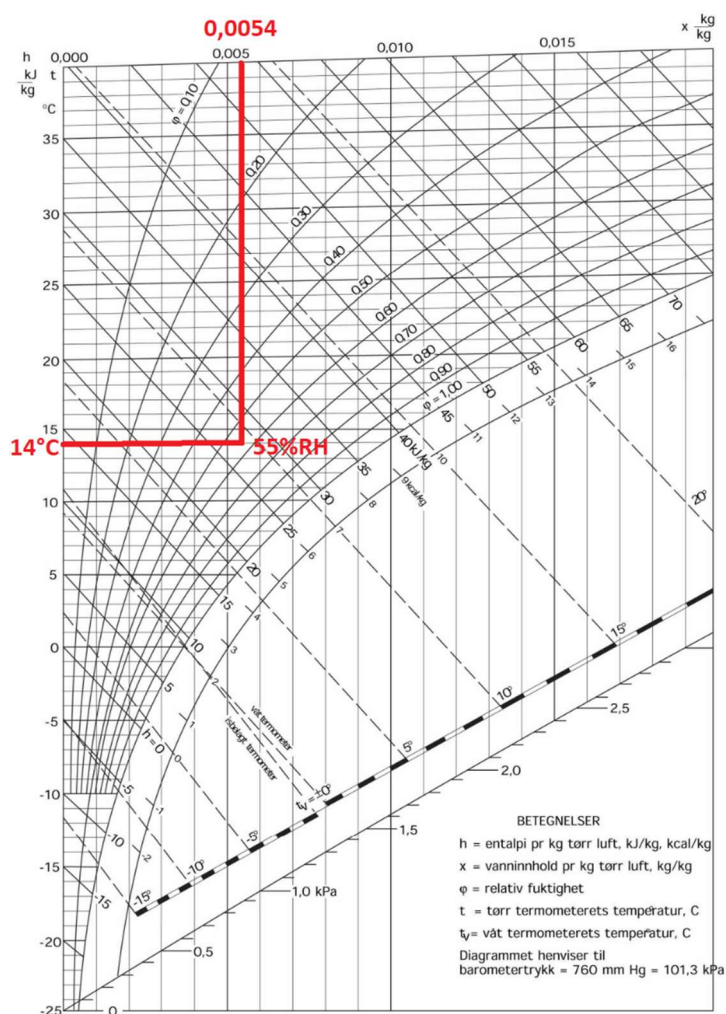
## Vedlegg 7: Stikkprøve av formel for absolutt luftfuktighet i Mollier-diagram

Tre stikkprøver av formel for absolutt luftfuktighet (**formel 3.1**) vises nedenfor og sammenlignes til slutt i en tabell. Ved avlesning i diagrammet oppgis absolutt luftfuktighet i  $[kg_{vann}/kg_{luft}]$  mens benevnningen fra formelen er  $[g/m^3]$ . For å kunne effektivt sammenligne resultatene omgjøres benevnningen fra  $[kg_{vann}/kg_{luft}]$  til  $[g/m^3]$ . Luft ved 1 atm og 15°C har en massetetthet på  $1,225 kg/m^3$  (Çengel og Boles, 2015, s.923). Dette utgjør formelen:

$$AH \left[ \frac{kg_{vann}}{kg_{luft}} \right] \times 1000 \frac{g}{kg} \times 1,225 \frac{kg}{m^3} = AH \left[ \frac{g}{m^3} \right]$$

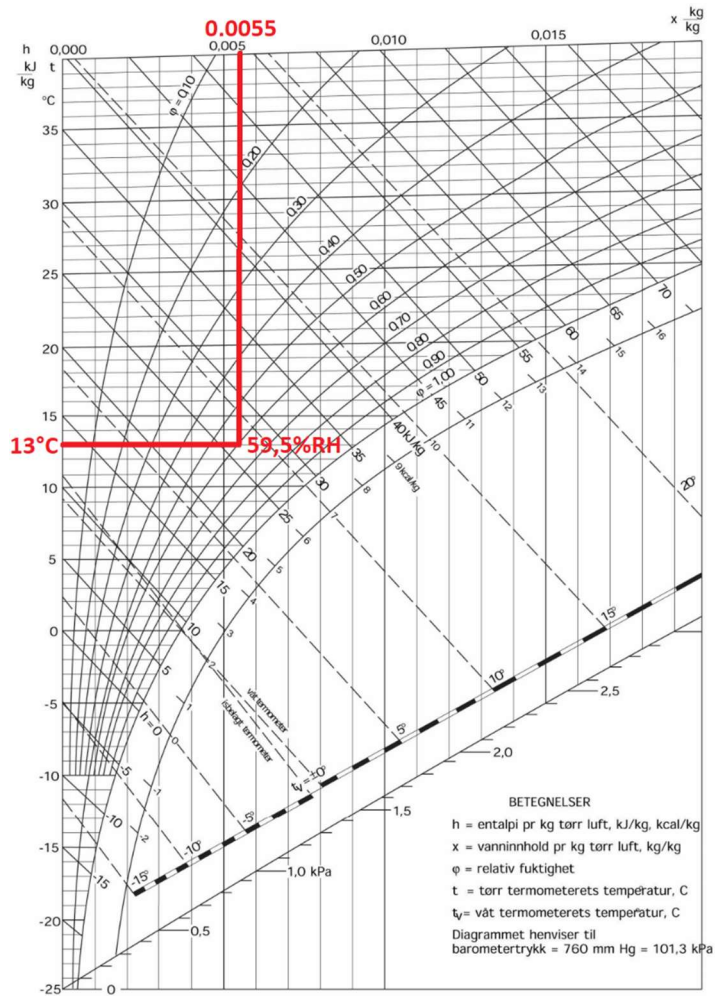
Første stikkprøve er fra logger 4.2, 01.02.20 kl. 00:00. Her var det 14°C og 55% RF, avlest i diagram ble den absolutte luftfuktigheten lik 0,0054  $kg_{vann}/kg_{luft}$ .

$$0,0054 \frac{kg_{vann}}{kg_{luft}} \times 1000 \frac{g}{kg} \times 1,225 \frac{kg}{m^3} = 6,6150 \frac{g}{m^3}$$



Andre stikkprøve er fra logger 2.2, 01.02.20 kl. 10:00. Her var det 13°C og 59,5% RF, avlest i diagram til 0,0055 kg<sub>vann</sub>/kg<sub>luft</sub>.

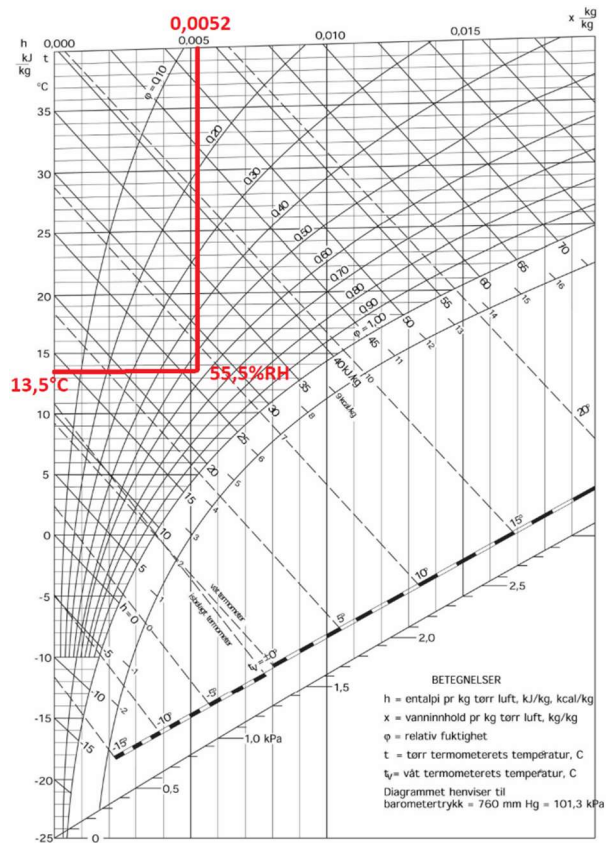
$$0,0055 \frac{\text{kg}_{\text{vann}}}{\text{kg}_{\text{luft}}} \times 1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 6,7375 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$





Tredje stikkprøve er fra logger 1.1, 31.01.20 kl. 10:00. Her var det 13,5°C og 55,5% RF, avlest i diagram til 0,0052 kg<sub>vann</sub>/kg<sub>luft</sub>.

$$0,0052 \frac{\text{kg}_{\text{vann}}}{\text{kg}_{\text{luft}}} \times 1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 6,3700 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$



Stikkprøve nr.	AF avlest i Mollier-diagram [g/m <sup>3</sup> ]	AF fra formel 3.1 [g/m <sup>3</sup> ]
1	6,62	6,63
2	6,74	6,74
3	6,37	6,49

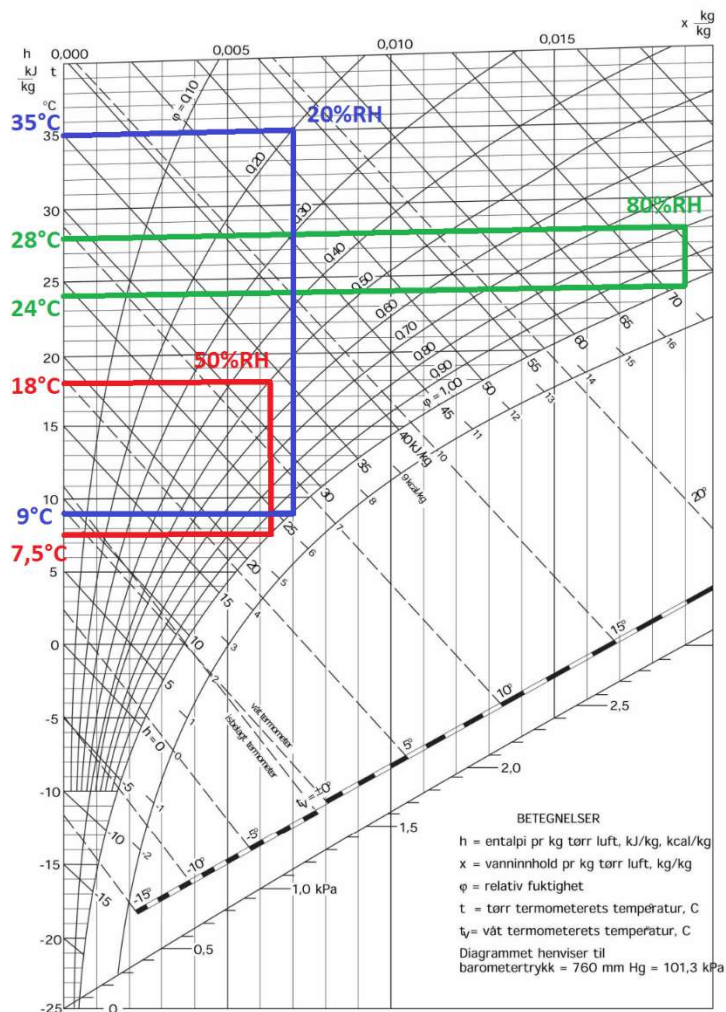
Generelt er verdiene avlest i diagrammet noe lavere enn verdiene fra formelen. I gjennomsnitt avviker formelen med 0,043 g/m<sup>3</sup>, hvor største avviket er på 0,12 g/m<sup>3</sup>. Det er et godt tegn at begge metodene viser samme trend, stikkprøve nr. 3 har lavest verdi, og stikkprøve nr. 2 har høyest. Det utføres et eksempel for å anse utslaget av unøyaktig avlesning i diagrammet:

$$0,0050 \text{ kg}_{\text{vann}}/\text{kg}_{\text{luft}} = 6,13 \text{ g}/\text{m}^3$$

$$0,0052 \text{ kg}_{\text{vann}}/\text{kg}_{\text{luft}} = 6,37 \text{ g}/\text{m}^3$$

En unøyaktighet på 0,0002 kg<sub>vann</sub>/kg<sub>luft</sub> gir i dette eksempelet en differanse på 0,24 g/m<sup>3</sup>. Dette poengterer at det ikke kan forventes at verdiene fra diagrammet og formelen er identiske, og det høye kravet til nøyaktighet diagrammet krever. Med dette tatt i betraktning er det derfor valgt å anvende formelen som en alternativ metode.

## Vedlegg 8: Stikkprøve av duggpunktkalkulator i Mollier-diagram

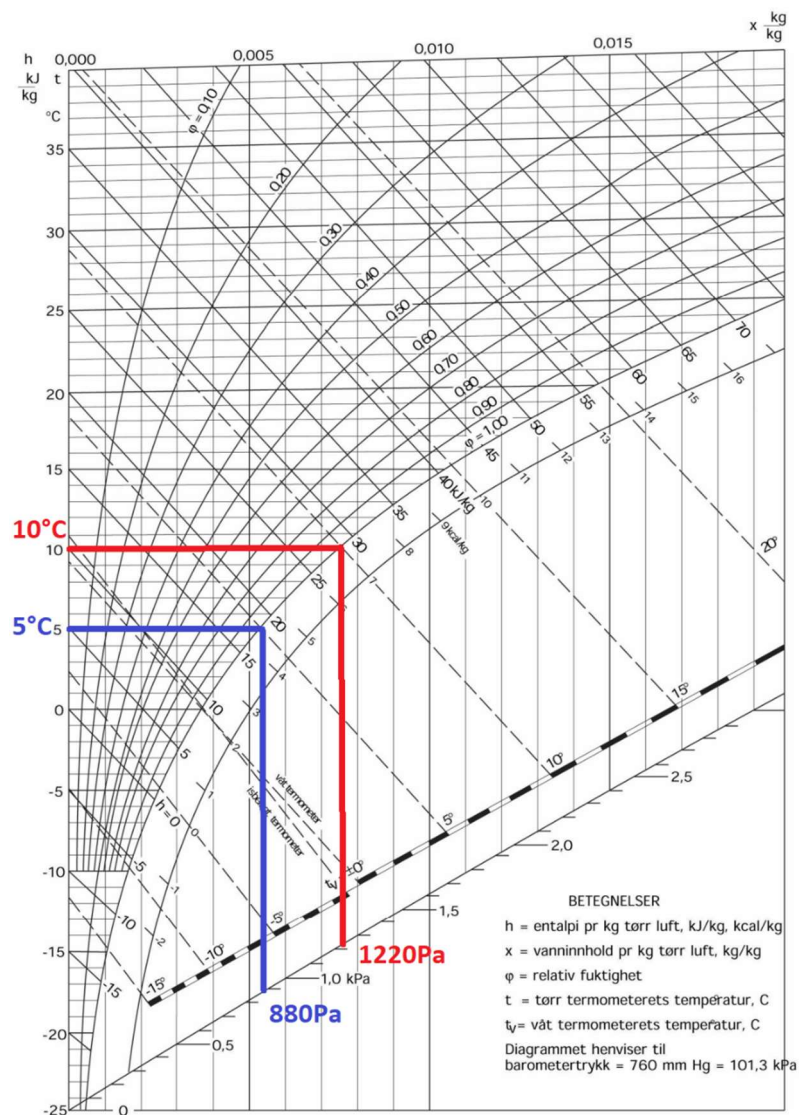


Før duggpunktskalkulatoren fra Yaga (Yaga, u.å.) ble benyttet ble det utført stikkprøver for å undersøke om dette er en troverdig metode.

Situasjon	Temperatur	Relativ	Duggpunkt fra	Duggpunkt fra
	[°C]	luftfuktighet	kalkulator	Mollier-diagram
		[%]	[°C]	[°C]
<b>Blå</b>	35	20	8,7	9
<b>Grønn</b>	28	80	24,2	24
<b>Rød</b>	18	50	7,4	7,5

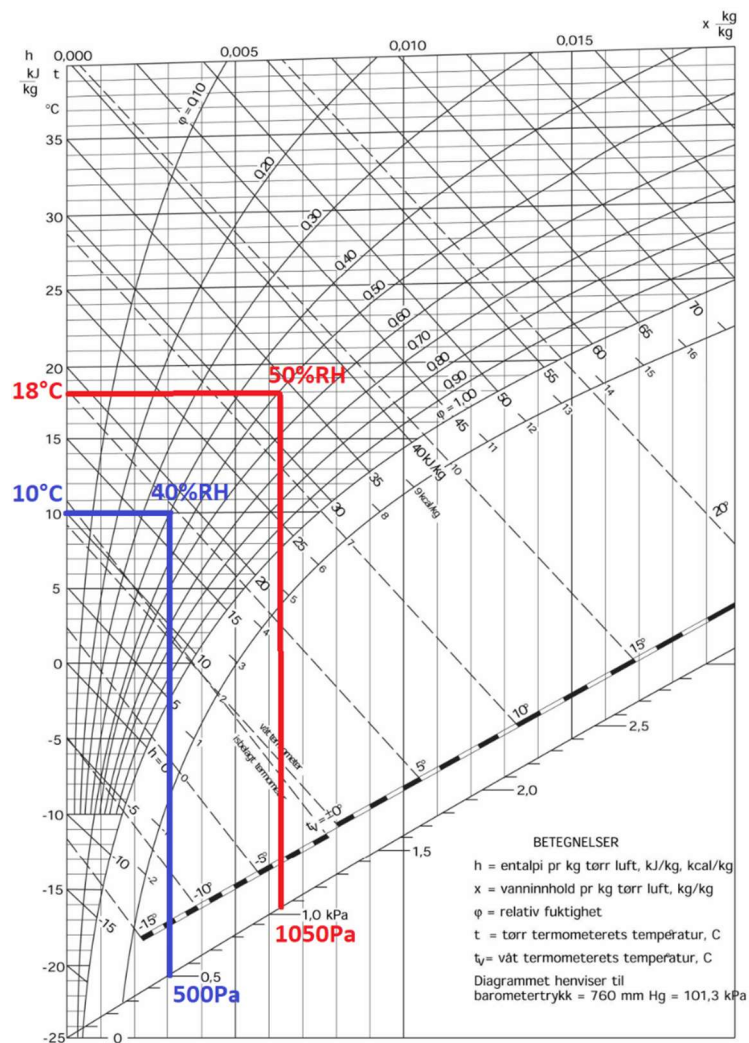
I gjennomsnittet er det et avvik på 0,2°C. Det største avviket er ved situasjon blå, hvor dette ligger på 0,3°C. Verdiene er like nok til at duggpunktkalkulatoren fra Yaga kan anses som et alternativ. Denne metoden kan redusere feilkilder knyttet til menneskelige feil, og er effektiv og lett å bruke. Skal verdiene brukes til et formål som krever høy nøyaktighet vil det kunne være hensiktsmessig å bruke begge metodene og sammenligne resultatene, for å redusere menneskelige feil og eventuelle avvik i kalkulatoren.

## Vedlegg 9: Mollier-diagram damptrykk i bakken



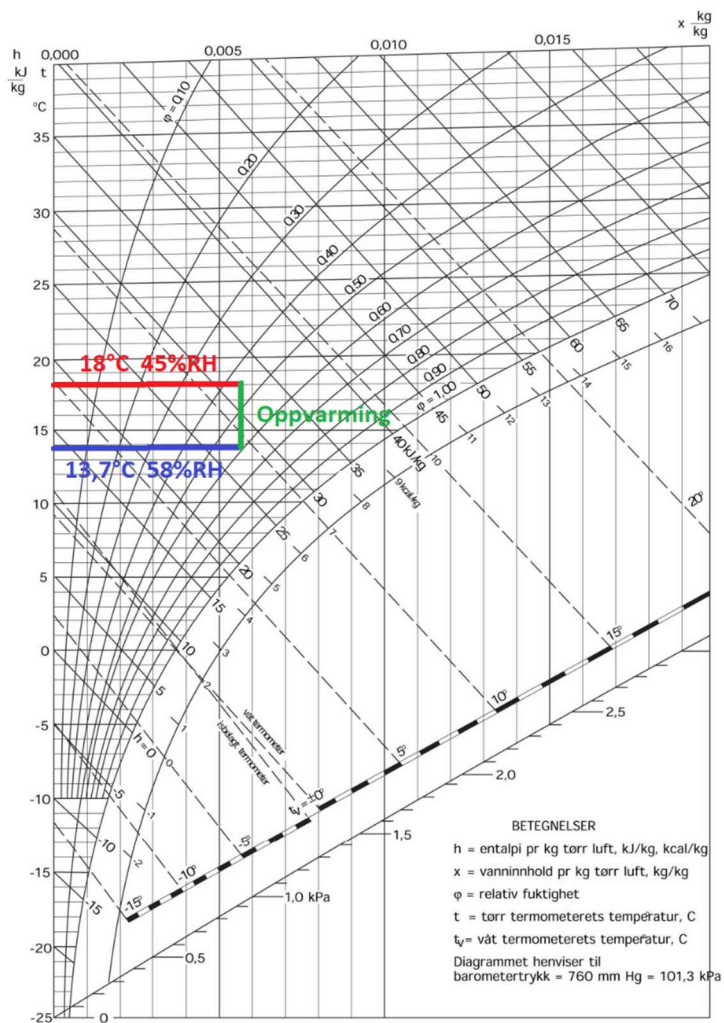
Damptrykk i bakken ved 5-10°C og 100% RF gir et damptrykk på omtrent 880-1220Pa.

## Vedlegg 10: Mollier-diagram damptrykk i magasinet



Damptrykk i magasinet ved ulike inneklime. 18°C og 50% RF gir 1050Pa og 10°C og 40% RF gir 500Pa.

## Vedlegg 11: Mollier-diagram oppvarming av inneluft



Ved oppvarming av dagens inneklima på gjennomsnittlig 13,7°C og 58% RF til 18°C, synker den relative luftfuktigheten til omtrent 45% RF.

