

Torje Veie Daling

# Anbefalinger av ytterveggkonstruksjoner for ishaller i Norge

En studie gjennomført ved bruk av WUFI for  
beregning av fukt- og varmetransport i  
bygningsskomponenter

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Arvid Dalehaug

Juni 2019



Torje Veie Daling

## Anbefalinger av ytterveggkonstruksjoner for ishaller i Norge

En studie gjennomført ved bruk av WUFI for  
beregning av fukt- og varmetransport i  
bygningsskomponenter

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Arvid Dalehaug  
Juni 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk



# Sammendrag

I løpet av de kommende årene vil det bli bygget flere ishaller rundt omkring i Norge. For å sikre gode, funksjonelle og fuktfrie anlegg er det viktig med kunnskap og forskning på området. Fuktskader har vært, og er fortsatt ødeleggende for ulike bygningsmasser her i Norge. Det vil derfor være interessant å se på hvordan sikre en god og fuktsikker ytterveggkonstruksjon i ishaller. Studien har til formål å besvare følgende problemstilling:

*«Hvilken ytterveggkonstruksjon i ishaller vil på best mulig måte redusere risikoen for kritiske fukttilstander i veggen, der massivtre er benyttet som innvendig kledning?»*

For å komme frem til en anbefaling er det essensielt å innhente litteratur og informasjon for å avklare enkelte premisser. Sverige har mer erfaring angående ishaller og det har derfor vært nødvendig å basere store deler av litteratursøket på svenske publikasjoner, derav fire rapporter publisert av instituttet for sivilingeniør ved KTH Stockholm. Det mest sentrale i disse rapportene var anbefaling til inneklime. Instituttet anbefalte et spesifikt intervall i forhold til fuktinnhold i luften. Intervallet skal sikre et godt inneklime, minimal kondensering på kalde overflater, samt god iskvalitet på en energieffektiv måte.

Studien er gjennomført ved hjelp av beregningsprogrammet WUFI 6 1-D. Programmet er et endimensjonalt, digitalt beregningsverktøy for transient fukt- og varmetransport i bygningskomponenter. Forskningen er designet som en parameterstudie. Under simuleringene er det endret og forsøkt med en rekke forskjellige varianter, beliggenheter, inneklime og materialeegenskaper. Ved å endre parameterne, eller flytte enkelte sjikt- og deretter sammenligne resultatene, vises betydningen av endringen. På en slik måte kan det etableres om en endring er fordelaktig eller ikke.

Resultatene presentert i denne rapporten indikerer at geografisk beliggenhet har en vesentlig betydning for resultatene. En variant som er gunstig en plass, trenger nødvendigvis ikke være gunstig en annen plass.

Variasjon av inneklime har vist seg å være meget utslagsgivende for enkelte varianter. Det vises stor variasjon i resultatene for ulike inneklime.

En variant utpeker seg som den klart gunstigste varianten. Varianten har den soleklart beste vurderingen i samtlige beliggenheter, og viser stor fleksibilitet med tanke på variasjon av inneklime. Varianten består av en utvendig Isola AirGuard smart dampsperre. Den smarte dampsperreren regulerer motstand for vanndampdiffusjon etter relativ fuktighet. Ved bruk av smart dampsperre oppnår varianten god utadrettet uttørking om vinteren når den relative fuktigheten er høy, samtidig som den har tilstrekkelig motstand for vanndampdiffusjon om sommeren når fuktstrømmen har snudd.

# Abstract

Over the next few years, several ice rinks will be built in Norway. To make sure that there will be good, functional buildings with no moisture, it is important with knowledge and research on the area. Damage related to moisture have been, and still are, devastating to various buildings here in Norway. Having that in mind, there will be interesting to have a look at how you can could create a good, functional and moisture-free wall for ice rinks. This study will answer the following issue:

*«What kind of exterior wall construction in ice rinks will minimize the risk of critical moisture-conditions in the wall, where cross laminate timber is used as indoor cladding?»*

To be able to make a suggestion, it is essential to gather information and literature to clarify certain premises. Sweden has far more experience when it comes to building ice rinks, and thus it has been necessary to base most of the literature on Swedish publications, such as four reports published by the institution of civil engineering in KTH Stockholm. The indoor climate recommendation was the most essential part of these reports. The institution suggested a specific interval regarded to the amount of moisture in the air. This interval is going to make sure that there will be a good indoor climate, with minimal condensation on cold surfaces, as well as good ice quality in an energy-effective way.

The study is completed thanks to the software WUFI 6 1-D. The software is a one-dimensional program that allows realistic calculations of the transient heat- and moisture transport in building components. The research is designed as a parameter study. During the simulations, different variations are made, such as locations, indoor climate and material properties. By changing the parameters or moving certain material layers- and then compare the results, will show the result of the change. In this way it can be established whether a change is good or not.

The results presented in this report, indicates that the geographical location has a vital impact on the results. A construction that functions well on one spot, does not necessarily function as good on another spot.

The variations of the indoor climate have turned out to have a big impact on certain variations. It is shown great differences within the results caused by different indoor climates.

One specific variant is clearly the most beneficial. This variant has by far the best results in all locations and shows great flexibility in different indoor climates. This variant uses a Smart vapor barrier, called Isola AirGuard Smart. This Smart vapor barrier regulates resistance for vapor diffusion after relatively humidity. The smart vaper barrier is placed outside of the isolation. When using Smart vapor barrier, the variant achieves good outward drying during the winter when the relative humidity is high, while at the same time it has sufficient resistance to water vapor diffusion during the summer - when the moisture flow has turned.

# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2019 ved Institutt for bygg- og miljøteknikk innenfor hovedprofilen bygnings- og materialteknikk ved Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Arbeidet i forbindelse med masteroppgaven skal tilsvare 30 studiepoeng i arbeidsmengde.

Jeg vil først og fremst takke Snorre Nordbo Olsen, og senter for gode idrettsanlegg og teknologi (SIAT) for gode råd, tips og veiledning under arbeidet. Jeg vil også rette en takk til veileder Arvid Dalehaug, og medveileder Bjørn Aas.

Til slutt vil jeg takke alle som har lest korrektur av oppgaven.

A handwritten signature in black ink that reads "Torje Veie Daling". The signature is written in a cursive, flowing style.

Torje Veie Daling

11.06.2019

Trondheim

# Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	i
Abstract .....	ii
Forord .....	iii
Innholdsfortegnelse .....	iv
Figurer .....	vii
Tabeller .....	viii
Forkortelser .....	ix
Symbol.....	ix
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Formål .....	2
1.3 Begrensninger og avklaringer .....	2
1.4 Rapportens oppbygning .....	3
2 Metode .....	4
2.1 Teori og litteraturstudie.....	4
2.2 Beregningsprogram .....	4
2.3 Fremgangsmåte .....	5
3 Teori .....	8
3.1 Fukt .....	8
3.1.1 Vanndamp.....	8
3.1.2 Fukttransport.....	9
3.1.3 Usikkerhetsfaktorer ved diffusjonsberegninger.....	10
3.1.4 Uteluftas fuktinnhold .....	11
3.2 Dampsperre .....	11
3.2.1 Tradisjonell dampsperre.....	12
3.2.2 Dampbrems.....	12
3.2.3 Smarte dampsperrer .....	12
3.3 Trevirke og massivtre .....	13
3.3.1 Fukttekniske egenskaper.....	13
3.3.2 Massivtre .....	14
3.4 Mikrobiell vekst.....	15
3.4.1 Muggsopp .....	15
3.4.2 Råtesopp.....	17
4 Litteraturstudie.....	18
4.1 NERIS.....	18



4.1.1	Energibruk .....	18
4.1.2	Indre klimaforhold .....	19
4.1.3	Fukttransport i ishaller .....	22
4.2	Fuktbufring og latent varme i eksponerte massivtreoverflater .....	23
5	Beregningsoppsett og input-parametere .....	25
5.1	Uteklima .....	25
5.2	Inneklima .....	25
5.3	Materialparametre .....	27
5.4	Startbetingelser .....	28
5.5	Beregningsvarianter .....	28
5.6	Monitorposisjoner .....	31
6	Resultater og drøfting .....	33
6.1	Gjennomgående faktorer .....	33
6.1.1	Retning for fuktstrøm .....	33
6.1.2	Temperatur for monitorposisjon 1 og massivtreet .....	36
6.1.3	Motstand for vanndampdiffusjon for massivtre .....	38
6.1.4	Virkelige fuktighetsverdier .....	38
6.2	Trondheim .....	39
6.2.1	Variant 1- ISO, DS og MA .....	40
6.2.2	Variant 2- ISO og MA .....	43
6.2.3	Variant 3- DS, ISO og MA .....	46
6.2.4	Variant 15- ISO, SDS og MA .....	49
6.2.5	Variant 16- SDS, ISO og MA .....	52
6.3	Oslo .....	55
6.3.1	Variant 1- ISO, DS og MA .....	55
6.3.2	Variant 2- ISO og MA .....	57
6.3.3	Variant 3- DS, ISO og MA .....	58
6.3.4	Variant 15- ISO, SDS og MA .....	59
6.3.5	Variant 16- SDS, ISO og MA .....	62
6.4	Bergen .....	64
6.4.1	Variant 1- ISO, DS og MA .....	64
6.4.2	Variant 2- ISO og MA .....	66
6.4.3	Variant 3- DS, ISO og MA .....	67
6.4.4	Variant 15- ISO, SDS og MA .....	69
6.4.5	Variant 16- SDS, ISO og MA .....	71
6.5	Anbefaling og oppsummering .....	72
7	Konklusjon .....	76

8	Videre arbeid.....	77
9	Referanser .....	78
	Vedlegg.....	80
	A- RF for forskjellige monitorposisjoner .....	80
	A.1 RF for varianter i Trondheim .....	80
	A.2 RF for varianter i Oslo.....	88
	A.3 RF for varianter i Bergen .....	95
	B- Temperatur for monitorposisjon 1, 3 og 4.....	101
	B.1 Temperatur for Trondheim .....	101
	B.2 Temperatur for Oslo .....	103
	B.3 Temperatur for Bergen.....	104
	C- Totalt vanninnhold.....	106
	C.1 Variant 1.....	106
	C.2 Variant 2.....	107
	C.3 Variant 3.....	109
	C.4 Variant 15 .....	110
	C.5 Variant 16 .....	112
	D- Vanninnhold i massivtre .....	113
	D.1 Variant 1.....	113
	D.2 Variant 2.....	115
	D.3 Variant 3.....	116
	D.4 Variant 15 .....	118
	D.5 Variant 16 .....	119
	E- Verdier AirGuard Smart .....	121
	F- Teknisk Godkjenning Rockwool REDAir Flexsystem.....	122

# Figurer

Figur 1: Fordeling av prosessforårsakende skadekilder relatert til byggskader i perioden 1993-2002 (Byggforskserien, 2010). .....	1
Figur 2- Utgangskonstruksjon for parameterstudien. Konstruksjonen er Bugården Ishall	6
Figur 3- Kritisk muggvekstnivå for trevirke avhengig av temperatur, RF og eksponeringstid (Nilsson, 2009) .....	7
Figur 4: Mollier diagram (ToolBox, 2003).....	9
Figur 5- Gjennomsnittlig månedsverdier for vanddampinnhold og RF over året (Byggforskserien, 2018b) .....	11
Figur 6-Vanddampmotstand i ekvivalent luftlagstykkelse for ulike produkter (Edvardsen og Ramstad, 2014) .....	12
Figur 7- Illustrasjon av virkning for smarte dampsperrer (Proclima, 2019).....	13
Figur 8-Livssyklus for muggsopp (Byggforskserien, 2005) .....	15
Figur 9- Relativ muggveksthastighet som funksjon av temperatur og RF, samt forutsetninger for muggsoppvekst (Byggforskserien, 2005) .....	16
Figur 10-Gjennomsnittlig energifordeling av 135 ishaller (Rogstam <i>et al.</i> , 2017) .....	18
Figur 11- Innetemperatur i åtte ishaller gjennom en sesong .....	19
Figur 12- Målt fuktinnhold og relativ fuktighet gjennom en sesong.....	20
Figur 13- Kondensasjon på vantet i en ishall (Rogstam <i>et al.</i> , 2017) .....	21
Figur 14- Energiforbruk til avfukting i seks ulike ishaller (Rogstam <i>et al.</i> , 2018) .....	22
Figur 15- Potensielle risikosoner for kondensering (Rogstam <i>et al.</i> , 2018) .....	23
Figur 16- Testmodulene fra utsiden, og testmodul B (Katavic, 2014) .....	24
Figur 17- Plassering av ulike monitorposisjoner i utgangskonstruksjon .....	31
Figur 18- Klimadata for Trondheim .....	34
Figur 19- Klimadata for Oslo .....	35
Figur 20- Klimadata for Bergen .....	36
Figur 21- Temperatur for monitorposisjon 1 for Trondheim .....	37
Figur 22-Videoanimasjon av variant 3 med 12 °C og RF=50% for Trondheim .....	39
Figur 23- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 1 i Trondheim over tre år.	40
Figur 24- RF for monitorposisjon 3 for variant 1 i Trondheim over tre år.....	41
Figur 25- RF for monitorposisjon 4 for variant 1 i Trondheim over tre år.....	42
Figur 26- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 2 i Trondheim over tre år.	43
Figur 27- RF for monitorposisjon 3 for variant 2 i Trondheim over tre år.....	44
Figur 28- RF for monitorposisjon 4 for variant 2 i Trondheim over tre år.....	45
Figur 29- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 3 i Trondheim over tre år.	46
Figur 30- RF for monitorposisjon 3 for variant 3 i Trondheim over tre år.....	47
Figur 31- RF for monitorposisjon 4 for variant 3 i Trondheim over tre år.....	48
Figur 32- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 15 i Trondheim over tre år .....	49
Figur 33- RF for monitorposisjon 3 for variant 15 i Trondheim over tre år .....	50
Figur 34- RF for monitorposisjon 4 for variant 15 i Trondheim over tre år .....	51
Figur 35- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 16 i Trondheim over tre år .....	53
Figur 36- RF for monitorposisjon 3 for variant 16 i Trondheim over tre år .....	54
Figur 37- RF for monitorposisjon 4 for variant 16 i Trondheim over tre år .....	55
Figur 38- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 1 i Oslo over tre år .....	56
Figur 39- RF for monitorposisjon 3 for variant 1 i Oslo over tre år.....	57
Figur 40- RF for monitorposisjon 3 for variant 2 i Oslo over tre år.....	58

Figur 41- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 3 i Oslo over tre år .....	59
Figur 42- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 15 i Oslo over tre år.....	60
Figur 43- RF for monitorposisjon 3 for variant 15 i Oslo over tre år.....	61
Figur 44- RF for monitorposisjon 4 for variant 15 i Oslo over tre år.....	62
Figur 45- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 16 i Oslo over tre år.....	63
Figur 46- RF for monitorposisjon 3 for variant 16 i Oslo over tre år.....	64
Figur 47- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 1 i Bergen over tre år.....	65
Figur 48- RF for monitorposisjon 3 for variant 1 i Bergen over tre år.....	66
Figur 49- RF for monitorposisjon 3 for variant 2 i Bergen over tre år.....	67
Figur 50- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 3 i Bergen over tre år.....	68
Figur 51- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 15 i Bergen over tre år....	69
Figur 52- RF for monitorposisjon 3 for variant 15 i Bergen over tre år .....	70
Figur 53- RF for monitorposisjon 4 for variant 15 i Bergen over tre år .....	71
Figur 54- RF for monitorposisjon 3 for variant 16 i Bergen over tre år .....	72

## Tabeller

Tabell 1- Transportmekanismer som er inkludert eller utelatt i WUFI (Geving, 2016b)....	5
Tabell 2-Måleusikkerhet ved måling av vanddampmotstand (Byggforskserien, 2003a) ..	11
Tabell 3- Kritiske nivå for muggvekst(Geving og Thue, 2002).....	16
Tabell 4- Kritiske nivå for råte vekst (Geving og Thue, 2002) .....	17
Tabell 5- Variasjonsområdet for relativ fuktighet og innetemperatur .....	26
Tabell 6- Materialparametere .....	27
Tabell 7- Vanddampmotstand AirGuard Smart (Agnalt, 2013) .....	28
Tabell 8- Varianter benyttet i simulering.....	29
Tabell 9- Oppbygning for relevante varianter .....	30
Tabell 10- Plassering for ulike monitorsjikt.....	31
Tabell 11- Grense for innadrettet fuktstrøm for Trondheim .....	34
Tabell 12-Grense for innadrettet fuktstrøm for Oslo .....	35
Tabell 13-Grense for innadrettet fuktstrøm for Bergen .....	36
Tabell 14- Temperaturvariasjon for massivtre .....	37
Tabell 15- Motstand for vanddampdiffusjon for 80 mm Stora Enso CLT .....	38
Tabell 16- Motstand for vanddampdiffusjon for ulike inneklime brukt i beregningene ....	38
Tabell 17- Vurdering av varianter i Trondheim.....	73
Tabell 18- Vurdering av varianter i Oslo .....	73
Tabell 19- Vurdering av varianter i Bergen.....	73

## Forkortelser

RF	Relativ fuktighet
DS	Dampsperre
DB	Dampbrems
ISO	Isolasjon
MA	Massivtre
SDS	Smart dampsperre

## Symbol

$p_v$	Partialtrykk
$p_{sat}$	Metningstrykk
$v$	Vanndampinnhold
$v_{sat}$	Metningsinnhold
$\lambda$	Termisk konduktivitet/Varmeledningsevne
R	Varmemotstand
T	Temperatur
$S_d$	Vanndampmotstand i ekvivalent luftlagstykkelse
$\mu$	Vanndampmotstand
$\varphi$	Relativ fuktighet
$\Delta W$	Forskjell i fuktinnhold

# 1 Innledning

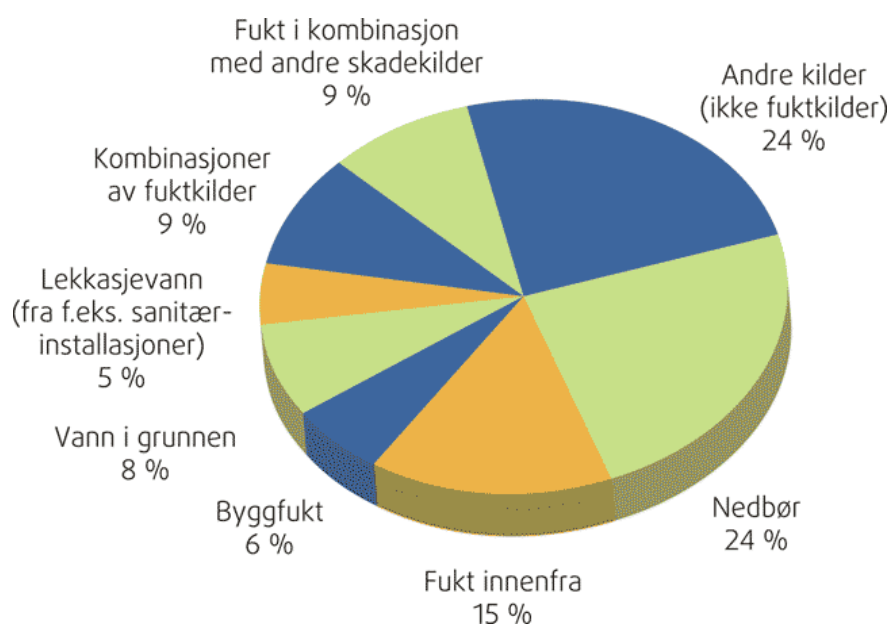
I det innledende kapitlet presenteres problemstilling, bakgrunn for oppgaven og hvordan rapporten er bygd opp. Det blir også redegjort for hvilke avgrensninger som ligger til grunn for rapporten.

## 1.1 Bakgrunn

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med SIAT- Senter for idrettsanlegg og teknologi. SIAT driver med forskning innenfor to hovedområder; Idrettsanlegg og idrettsteknologi. Denne studien omhandler idrettsanlegg og herunder ishaller.

For å sikre gode og funksjonelle idrettsanlegg er det viktig med kunnskap og erfaring rundt slike konstruksjoner. En kommune vil generalisert bare bygge en ishall i løpet av ansettelsestiden til prosjektlederen. Det samme vil muligens gjelde for prosjekterende og utførende. Det er derfor viktig å forske på gode og sikre løsninger som gjør valget av konstruksjonsoppbygning enklere. På den måten unngås dyre reklamasjoner og lite funksjonelle bygg.

En stor del av skadene av bygningsmassen her i Norge skyldes fukt. Faktisk kan så mye som 76% av alle byggeskader relateres opp mot fukt (Byggforskserien, 2010). Andre prosessforsakende skadekilder sees i Figur 1.



**Figur 1: Fordeling av prosessforårsakende skadekilder relatert til byggeskader i perioden 1993-2002 (Byggforskserien, 2010).**

Fukt i seg selv er ikke farlig. Det er når konsentrasjonen blir for stor, eller befinner seg på feil sted det blir problem. Fukt er direkte eller indirekte en faktor til blant annet korrosjon, råte, frostsprengning, telehiv, lukt, biologisk aktivitet og helseskadelige emisjoner fra materialer. Det er derfor viktig å ha god kjennskap til fukt i bygninger, materialegenskaper og anvende kompetansen til å unngå fuktskader. Fuktskader og byggefeil medfører store kostnader (Geving og Thue, 2002).

I tillegg er ofte uheldige fuktforhold bakgrunnen for dårlig innemiljø. Dette er en direkte følge av sopp- og myggsporer i innelufta. Sopp- og muggsporer fører til ubehag og kan medføre helseproblemer som igjen vil koste samfunnet i form for sykefravær og ineffektive arbeidstakere. Inneklima og mugg- og soppsporer er høyst tidsrelevant da det er et økende antall overfølsomme og allergietikere her i Norge.(Geving og Thue, 2002).

Flere skandinaviske undersøkelser konkluderer med at 60-80% av byggeskadene som oppstår er relatert til fukt, og rundt 1/3 av disse kan relateres til dårlig prosjektering. Resultatet av fuktskader kan være så mangt. I aller ytterste konsekvens kan det føre til konstruksjonssvikt, men mer vanlig fører det til redusert ytelsesegenskaper, begrenset bestandighet, økt vedlikeholdskostnader, estetisk skader, dårlig innemiljø og helseskader (Geving og Thue, 2002).

I Norge eksisterer det rundt 50 ishaller, bygget fra 1963 til dags dato, der 21 av disse er bygget i løpet av 2000-tallet(Ishockeyforbund, 2017). Til sammenligning har Sverige rundt 360 ishaller med en estimert vekst på fem hvert år(Rogstam *et al.*, 2017). Naturlig nok har svenskene mer erfaring og kompetanse i dette feltet. Som en følge av dette har mye av litteraturen nettopp vært hentet fra Sverige.

Ishaller generalisert er de konstruksjonene som bruker mest energi. Dette er forbundet med det konstante behovet for kjøling, oppvarming, ventilasjon, avfukting og belysning(Rogstam *et al.*, 2017). Det er derfor essensielt med god prosjektering for å sikre bærekraftig utvikling og energieffektive løsninger.

## 1.2 Formål

SIAT får stadig henvendelser om hvordan bygge gode og fuktfrie ishaller. I den forbindelse skal denne studien drøfte ulike varianter for å finne den mest gunstige konstruksjonen.

Rapporten har til formål å komme frem til en anbefaling av ytterveggkonstruksjon med massivtre til ishaller gjennom endimensjonale varme- og fuktsimuleringer. I tillegg vil rapporten innhente relevant litteratur og tidligere forskning rundt tematikken. Litteraturinnhenting vil være en omfattende del av rapporten, siden det er begrenset med direkte relevant norsk litteratur angående ytterveggoppbygning av ishaller.

Dette munner ut i følgende problemstilling:

*«Hvilken ytterveggkonstruksjon i ishaller vil på best mulig måte redusere risikoen for kritiske fukttilstander i veggen, der massivtre er benyttet som innvendig kledning?»*

## 1.3 Begrensninger og avklaringer

Masteroppgaven er skrevet for NTNU og skal reflektere tid og ressurser tilsvarende 30 studiepoeng.

Høsten 2018 ble det satt opp målinger i Bugården Ishall i Sandefjord. Disse målingene skulle dras inn i oppgaven for vurdering av temperatur og fuktnivå i forskjellige deler av ytterveggen. Beklageligvis har ishallen noen tekniske startproblemer. Som en følge av dette er temperatur og relativ fuktighet i inneluften utenfor anbefalte nivåer. Dataene er derfor dessverre ikke relevante for oppgaven, og vil ikke ble vurdert videre.

Opgaven blir gjennomført som en parameterstudie. Det er tatt utgangspunkt i konstruksjonsoppbygningen til Bugården ishaller. Som en følge av dette har samtlige

oppbygninger blitt gjennomført med massivtre som innvendig sjikt. Med tanke på tid og ressurser er det begrenset på hvor mange varianter det er mulig å se på.

Det har ikke blitt variert isolasjonstykkelse i denne studien. Avhengig av inne- og utetemperatur trenger ikke godt isolerte ishaller nødvendigvis være gunstig med tanke på energiregnskapet. Oppgaven tar utgangspunkt i konstant varmegjennomgangskoeffisienten for samtlige varianter. En variasjon i isolasjonstykkelsen gir helt andre forutsetninger for konstruksjonen, og er sett på som for omfattende.

I en ishall eksisterer det flere klimasoner. Dette er forklart senere i oppgaven. For å muliggjøre en simulering er det nødvendig med en enkel helhetlig sone i ishallen. Videre er det ikke mulig å simulere fukttransport gjennom konveksjon i oppgaven. Dette gjør at resultatene blir noe mildere enn hva som er forventet i realiteten.

## **1.4 Rapportens oppbygning**

Innledningsvis presenteres bakgrunn, relevans for oppgaven, problemstilling og begrensninger.

Metodekapitlet skal vise hvordan problemstillingen er løst. Det gis en innføring i hvordan teori og litteratur er innhentet. Kapitlet presenterer beregningsprogrammet WUFI som er brukt til å løse problemstillingen. Deretter forklares fremgangsmåten for gjennomføring av studien.

I teorikapitlet dannes det teoretiske grunnlaget for oppgaven. Her blir det gitt en kort innføring i bygningsfysiske begrep. Videre blir det redegjort for teori rundt dampsperre, massivtre og mikrobiell vekst.

Deretter blir litteraturstudien presentert. Litteraturinnhentingen har vært relevant og ressurskrevende for studien. Likevel tilstrebes det en kort og presis innføring. Etter litteraturstudien skal leseren ha forstått bygningsfysiske prinsipper i ishaller, samt hvordan massivtre kan påvirke inneklimate.

Kapitlet «Beregningsoppsett og input-parametere» beskrives hvilke valg og antagelser som danner grunnlaget for simuleringmodellen. Det gis også en innføring i hvor ulike monitorposisjoner er plassert i variantene. Dette er meget sentralt for studien, og er et kapittel det er viktig å lese nøye for å få full forståelse av resultatkapitlet.

I resultatkapitlet blir resultatet fra simuleringene lagt frem. I rapporten slås drøftingskapitlet sammen med resultatkapitlet. Det vil således ikke bli et eget diskusjonskapittel, men integreres inn i resultatkapitlet. I Norge er det betydelig variasjon i uteklimate, det vil derfor bli foretatt simuleringer på tre ulike steder i Norge. Enkelte momenter er gjennomgående for samtlige beliggenheter. Disse gjennomgående faktorerene blir presentert først i kapitlet. Resultatene fra simuleringene legges frem i følgende rekkefølge: Trondheim, Oslo og til slutt Bergen. Avslutningsvis kommer en samlet anbefaling og oppsummering fra kapitlet.

Helt til slutt blir konklusjonen for studien lagt frem med forslag til videre arbeid.



## 2 Metode

Dette kapitelet skal beskrive hvordan man har gått frem metodisk for å finne svar på tilknyttet problemstilling.

Kapitel 2.3 Fremgangsmåte inneholder enkelte fagbegrep og teori som ikke er presentert før kapitel 3. Om leseren ikke har tilstrekkelig forkunnskap må kapitel 3. Teori leses før 2.3 Fremgangsmåte.

### 2.1 Teori og litteraturstudie

Teori som er anvendt i oppgaven er hentet fra publiserte bøker og supplert med informasjon fra SINTEF byggforsk.

Litteratursøket har blitt gjennomført med hensikt å redegjøre og kartlegge eksisterende litteratur innenfor fagområdet. Dette har blitt gjennomført med systematiske søk gjennom databaser og søkemotorer. Eksempler på søkemotorer som har blitt brukt er Oria og Google Scholar.

En avgjørende faktor, og en svakhet ved litteraturinnhenting er subjektiv skjønn. Forfatteren må selv avgjøre hvilken litteratur som er god og relevant, det er også kritisk med god informasjonskompetanse for innhenting av «riktig» litteratur til rapporten.

SIAT sitter på en del litteratur og erfaringen innenfor området. Medveileder Snorre Nordbo Olsen og Bjørn Aas ved senter for gode idrettsanlegg og idrettsteknologi (SIAT) har dermed delt litteratur innenfor fagområdet. Litteraturen som ble formidlet, ble som annen litteratur kritisk vurdert med tanke på troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet.

### 2.2 Beregningsprogram

Beregningene i studien er gjennomført ved hjelp av WUFI 1D PRO 6.1. Programmet er et endimensjonalt beregningsverktøy for fukt- og varmetransport i bygningskomponenter.

Programmet beregner hygrotermiske forhold i bygningsdeler over flere sjikt med varierende klimabelastning. Det er Fraunhofer Institut für Bauphysik i Tyskland som har utviklet programvaren. WUFI er et akronym for «Wärme- und Feuchttransport» som på norsk betyr «Transient varme- og fukttransport». WUFI har ferdige databaser for materialparametere og klimadata som gjør programmet godt tilpasset norske forhold (Geving, 2016a).

WUFI egner seg svært godt til undersøkelse av:

- Uttørkingstid for byggefukt
- Kondensfare i bygningskomponenter
- Virkning av slagregn mot utvendige flater
- Hygrotermiske forhold i ytterkonstruksjoner ved variasjoner i klima eller ved ekstreme klimaforhold.

Tabell 1 viser hva som er inkludert og ekskludert i beregningsprogrammet.

**Tabell 1- Transportmekanismer som er inkludert eller utelatt i WUFI (Geving, 2016b)**

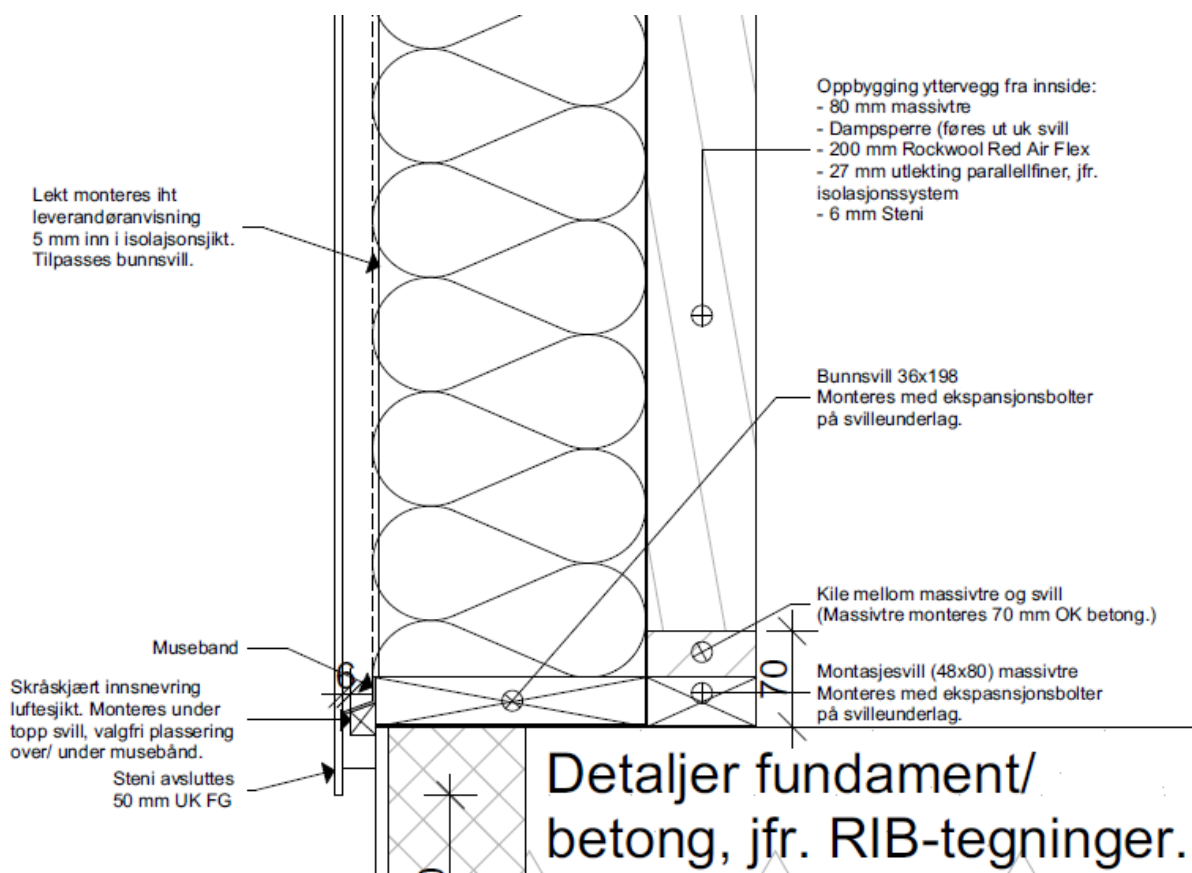
	<b>Inkludert</b>	<b>Utelatt</b>
Varmetransport	Varmeledning	Varmetransport gjennom konveksjon.
	Entalpiendring ved faseoverganger	
	Kortbølget stråling	
	Langbølget stråling (bare med TRY klimadata)	
Vanndamptransport	Dampdiffusjon	Vanndamptransport gjennom konveksjon
	Løsningsdiffusjon	
Væsketransport	Kapillærledning	Transport gjennom gravitasjon
		Hydraulisk strøm over trykkforskjeller
	Overflatekryping	Elektrokinetiske effekter Osmotiske effekter

Som presentert i Tabell 1 inkluderer ikke WUFI vanndamptransport ved konveksjon. Varme- og vanndamptransport ved konveksjon har for høy kompleksitet med tanke på kvantifisering, og er som regel ikke endimensjonal (Geving, 2016b). Lufttransport som følge av lufttrykkforskjell gjennom utettheter i konstruksjonen medtas således ikke. Et annet moment som er viktig å bemerke seg er at simuleringene er endimensjonale. Dette medfører ikke noen problem da det ikke er stendere, søyler eller bjelker i noen av variantene som er simulert i oppgaven.

## 2.3 Fremgangsmåte

I simuleringene er det endret og forsøkt med en rekke forskjellige varianter. Ved å endre materialparameterne, eller flytte enkelte sjikt og deretter sammenligne resultatene vises betydningen av endringen. På en slik måte kan det etableres om en endring er fordelaktig eller ikke.

Som utgangspunkt brukes ishallen Bugården ishall. Ishallen er bygd i Sandefjord. Konstruksjonen er illustrert i Figur 2. Utvelgelse av hvilke varianter som prøves er basert på hypoteser for å se hva som er gunstig, eller ugunstig. Parametere som blir endret/flyttet er ulike sjikt med høy vanndampmotstand, inneklimate og beliggenhet.



**Figur 2- Utgangskonstruksjon for parameterstudien. Konstruksjonen er Bugården Ishall**

Fukttekniske forhold i en konstruksjon avhenger av utallige faktorer. Noen eksempler på dette er inneklime, uteklime, geometri, lokale variasjoner og materialparametere. Disse faktorene har stor statistisk variasjon. Dette kan muligens føre til stor usikkerhet i resultatene. I tillegg har fuktkriteriene stor statistisk variasjon, der ulike kilder oppgir ulike kritiske verdier (Geving og Thue, 2002).

I denne rapporten har det blitt brukt en deterministisk analyse. Dette innebærer at det har blitt sett bort fra statistisk variasjon til inputparametrene. Resultatene sammenlignes med bestemte fuktkriterier og besluttes som akseptable eller uakseptable. Metoden er lett og rask å bruke. Ulempen med denne metoden er at statistisk variasjon av inputparametrene ikke er hensyntatt. Dette kan føre til at sikkerhetsfaktoren enten er for liten eller for stor (Geving og Thue, 2002).

Grunnen for valget av en slik analysemetode er arbeidsmengden. For å gå for en probabilistisk analyse, som er sett på som en sikrere og mer korrekt metode, kreves det en statistisk fordeling av inputparametrene og fuktkriteriene. Det i tillegg gjennomføre flere beregninger for å finne den statistiske fordelingen av fuktpåvirkningen. Probabilistisk metoder passer også best for enkle fuktberegningsmodeller på grunn av tid og arbeidsomfang (Geving og Thue, 2002).

For vurdering av resultatene vil det bli foretatt både en kvalitativ og kvantitativ vurdering.

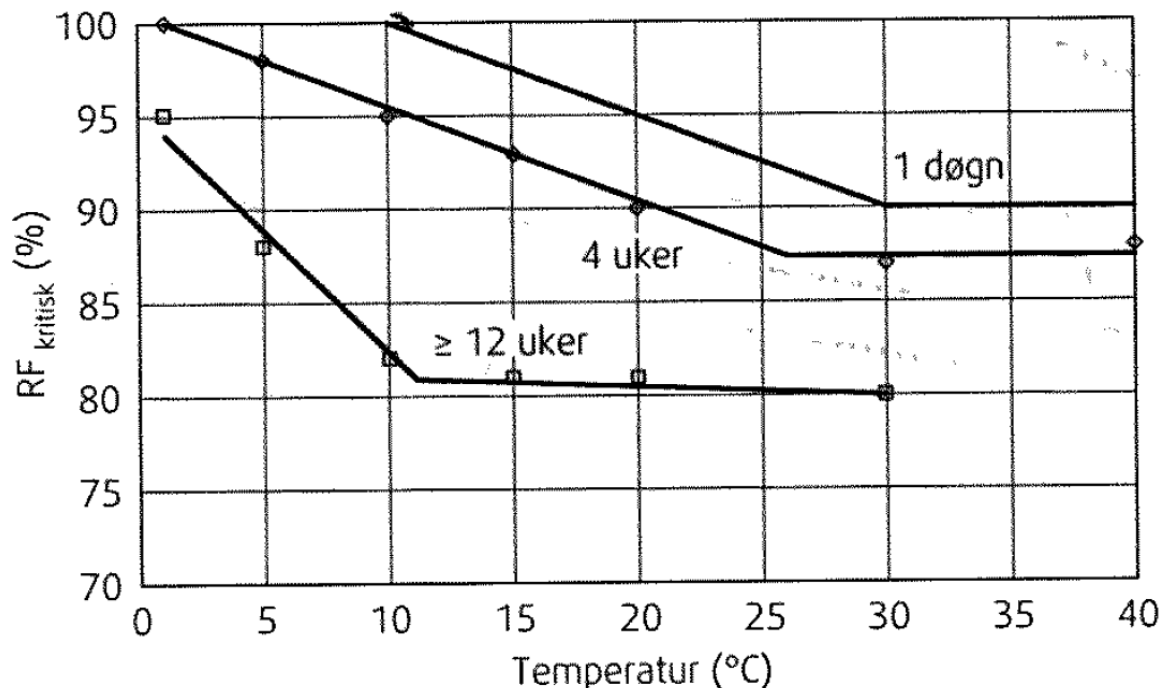
Kvalitativ metode tar utgangspunkt i genering av kunnskap gjennom meninger, erfaringer av få enkelte hendelser. Disse vil nødvendigvis ikke være representativt for

hele populasjonen og det er nødvendig at forskeren har tilstrekkelig kunnskap for å luke ut lite valide data. En slik metodisk tilnærming fremhever innsikt og forståelse.

Den kvalitative vurderingen består i å vurdere fuktinnhold mellom ulike varianter og om det akkumuleres fukt i ulike materialsjikt i løpet av simuleringsperioden. Det brukes også en grafikk som heter isoplet, som viser timesverdier av relativfuktighet avhengig av temperatur. På en slik måte kan det indikeres hvorvidt varianten har kritiske fuktverdier i en periode der temperaturen er kritisk høy. Vurdering av isoplet er gjort i simuleringsprogrammet.

Kvantitativ metode er en forskningsmetode som innhenter numeriske data, databaser og det som er målbart. Eksempler på dette er telling, feltmålinger og kalkulasjon. Metoden tar sikte på å behandle kvantifiserbare, målbare enheter og data. Slike datainnsamlinger krever høy nøyaktighet og refleksjon vedrørende feilkilder og avvik. Metoden fokuserer på oversikt og søker forklaring.

Til å foreta en kvantitativ vurdering av risiko for fuktskader basert på relativ fuktighet, temperatur og eksponeringstid må det defineres en øvre grense. Vekstforhold for muggvekst er beskrevet i kapitel 3.4 og avhenger av flere forhold. Vanligvis oppgis kritisk fukttilstand i relativ fuktighet, og det vil derfor bli satt søkelys på det videre i rapporten. Ordinært ligger det en risiko for vekst mellom 80-100% RF, avhengig av temperatur, eksponeringstid og grobunn for mugg- og råtesoppen. Figur 3 viser kritisk fuktnivå for trevirke avhengig av, relativ fuktighet, tid og temperatur. Figuren danner grunnlaget for en generell kvantitativ vurdering av fuktnivå videre i rapporten, likevel om ikke alle materialsjikt inneholder trevirke, og vil således ha en annen grobunn for mugg. Siden resultatene ikke er konstante verdier brukes det subjektiv skjønn ved hjelp av Figur 1 for å vurdere kritiske fuktforhold. Dette er sett på som en svakhet for studien.



**Figur 3- Kritisk muggvekstnivå for trevirke avhengig av temperatur, RF og eksponeringstid (Nilsson, 2009)**

## 3 Teori

Teorien vil sette fokus på klargjøring av nøkkelbegrep og danne en fullkommen teoretisk «verktøyboks», der samtlige «verktøy» skal være redegjort og forklart for videre oppgaveløsning.

### 3.1 Fukt

Vann er en kjemisk forbindelse og dens kjemiske formel er  $H_2O$ . Vann har tre aggregattilstander. Disse er vanndamp, vann og is. I oppgaven vil hovedfokuset være på vann i gassform som vanndamp.

#### 3.1.1 Vanndamp

I dette kapitlet vil det bli definert ulike uttrykk og fysiske størrelser.

Fuktig luft kan sees på som en blanding av to ulike gasser. «Tørr luft» og vanndamp. Tørr luft er luft uten vann. Luft inneholder alltid noe fuktighet, og kan uttrykkes på følgende måter:

**Partielt vanndamptrykk** er vanndampens deltrykk i en gassblanding. I denne sammenhengen er den gassblandingen luft. Partialtrykk uttrykkes  $P_v$  og har enhet Pa ( $N/m^2$ ).

**Vanndampkonsentrasjon** eller **vanndampinnhold** er forholdet mellom masse vanndamp og totalt gassvolum. Dette uttrykkes som  $v$  og har enhet ( $kg/m^3$ )

**Relativt vanndampinnhold** er forholdet mellom masse vanndamp og masse av tørr luft. Dette uttrykkes som prosent ( $kg/kg$ )

**Metningstrykk, metningsinnhold eller metningskonsentrasjon** er den øvre grensen for trykk, innhold eller konsentrasjon for fuktig luft ved en aktuell temperatur. Metningstrykk uttrykkes  $p_{sat}$  mens metningskonsentrasjon og vanndampinnhold uttrykkes  $V_{sat}$ .

**Duggpunkt** eller **duggpunkttemperatur** er temperaturen for at metningstrykk skal være lik aktuelt vanndamptrykk.

**Relativ fuktighet (RF)** angir forholdet mellom vanndamptrykk og metningstrykk ved en gitt temperatur. Relativ fuktighet kan beregnes etter Formel 1.

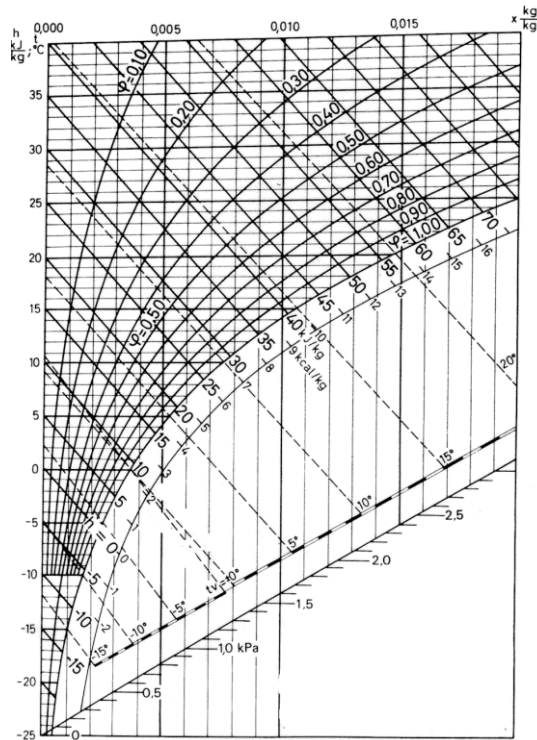
#### Formel 1

$$\varphi = \frac{P_v}{p_{sat}} \approx \frac{v}{V_{sat}}$$

Figur 4 viser Mollier-diagram. Diagrammet viser hvordan metningstrykk øker med temperaturen. Tilføres det mer fuktighet enn metningsinnholdet vil partialtrykket følge metningstrykket og overskuddsvann skilles ut. Dette kalles kondensasjon.

Dataene for metningstrykk er empirisk bestemt. Det vil si tallverdiene kan variere noe fra kilde til kilde(Thue, 2016).

Det er viktig å understreke at damptrykket i virkeligheten ikke kan bli større enn metningstrykket, men at damptrykket blir konstant lik metningstrykket til det har kondensert ut nok vann, eller temperaturen har regulert seg. (Thue, 2016).



Figur 4: Mollier diagram (ToolBox, 2003)

### 3.1.2 Fukttransport

Omtrentlig samtlige materialer som kommer i kontakt med vann vil trekke til seg en gitt mengde fuktighet avhengig av materialtype, fuktopptak, fuktinnhold, poresystem og bindingsform (Thue, 2016).

**Vanndampkonveksjon** er transport av vanndampmolekyler i en gassblanding forårsaket av differanse i totaltrykk. Naturlig konveksjon er transport i luftfylte hulrom. Drivkraften bak dette er temperaturforskjeller. Påtvunget konveksjon kan i praksis skyldes trykkvariasjoner grunnet vind, over-/undertrykk og temperaturforskjeller som resulterer til skorsteinseffekt(Geving og Thue, 2002).

**Vanndampdiffusjon** er transport av vannmolekyler i en gassblanding. Prosessen er drevet av forskjell i partielt damptrykk i hver klimasone. Transporten vil utjevne vanndampkonsentrasjonen i gassblandingen under konstant totaltrykk. Damptransporten foregår fra høyere til lavere damptrykk inntil fuktinnholdet er i likevekt med omgivelsene. Diffusjon er en langsom prosess som beveger fuktighet mye langsommere sammenlignet med konveksjon(Geving og Thue, 2002).

Vanndamptransport gjennom diffusjon kan over lang tid gi skadelig høy RF og i verste fall føre til kondensasjon i ytterkonstruksjoner. Dette er spesielt utsatt for rom med høy fuktbelastning som har dampsperre med for lav dampmotstand. Forutsetningene er enda

dårligere om utvendig vindtetting ikke er dampåpen nok til å slippe ut fuktighet. Skader forårsaket av diffusjon er som regel relatert til feil materialvalg, og kan berøre hele konstruksjonen. (Edvardsen og Ramstad, 2014).

**Vanndamppermeabilitet** er materialets gjennomslippelighet for vanndamp forårsaket av gradient i vanndamptrykk. Vanndamppermeabilitet relatert til damptrykk og har enheten  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m s Pa}}\right)$  (Geving og Thue, 2002)

**Vanndamppermeans** er materialsjiktets gjennomslippelighet for vanndamp forårsaket av differensielt vanndamptrykk over materialsjiktet. Terminologien benyttes normalt for tynne materialsjikt som folier, overflatebehandlinger, membraner osv.

Vanndamppermeans relatert til damptrykk har enheten  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s Pa}}\right)$  (Geving og Thue, 2002).

**Vanndampmotstand** er motstanden til et materialsjikt mot gjennomtrengning av vanndamp. Drivkraften bak gjennomtrengningen er differensiell vanndamptrykk over materialsjiktet. Vanndampmotstanden er det inverse av vanndamppermeansen.

Vanndampmotstand brukes normalt for tynne materialsjikt som folier, overflatebehandlinger, membraner osv. Vanndampmotstand relatert til damptrykk har symbolet  $\mu$  og enheten  $\left(\frac{\text{m}^2 \text{ s Pa}}{\text{kg}}\right)$  (Geving og Thue, 2002).

For tynne materialsjikt er det ikke hensiktsmessig å operere med vanndamppermeabilitet og tykkelse i meter. Da brukes det heller permeans eller ekvivalent luftlagstykkelse  $S_d$ .

**Diffusjonsekvivalent luftlagstykkelse ( $S_d$ )** er tykkelsen av et luftlag tilsvarende samme vanndampmotstanden som det aktuelle materialsjiktet og har enhet meter.

**Kapillærsuging** indikerer materialets evne til å transportere vann i et porøst, kapillæraktivt materiale som er i fri kontakt med vann. Kapillærkondensasjon vil være marginal med lave RF-nivå, men ved høy RF, rundt 80-90% vil fuktopptaket høynes og øke betraktelig (Thue, 2016).

Fuktinnhold i stoffer kan angis på flere måter, eksempler på dette er:

- Fuktmenge  $u$  i vektprosent per mengde tørrstoff  $\text{kg}/\text{kg}$
- Fuktmenge  $w$  per volumenhet tørrstoff  $\text{kg}/\text{m}^3$

Fuktproblemer kan blant annet oppstå på grunn av lekkasje av regnvann, diffusjon, konveksjon og kapillærsuging. Utover skader forårsaket av fukttransport kan også den innebygde byggfukten være kritisk. Byggfukt er overskuddsfuktighet i byggematerialer sammenlignet likevekstfuktighet i driftsperioden (Byggforskserien, 2018a). Skader gjennom konveksjon er vanligvis et større problem enn vanndampdiffusjon (Geving og Thue, 2002).

### 3.1.3 Usikkerhetsfaktorer ved diffusjonsberegninger

Det er viktig å poengtere at vanndampmotstand ikke er konstante verdier. Verdiene varierer med relativ fuktighet og temperatur. Oppgitte verdier tas utgangspunkt i overslagsverdier for permeabilitetstallene ved 20 °C og RF lik 55% (Thue, 2016).

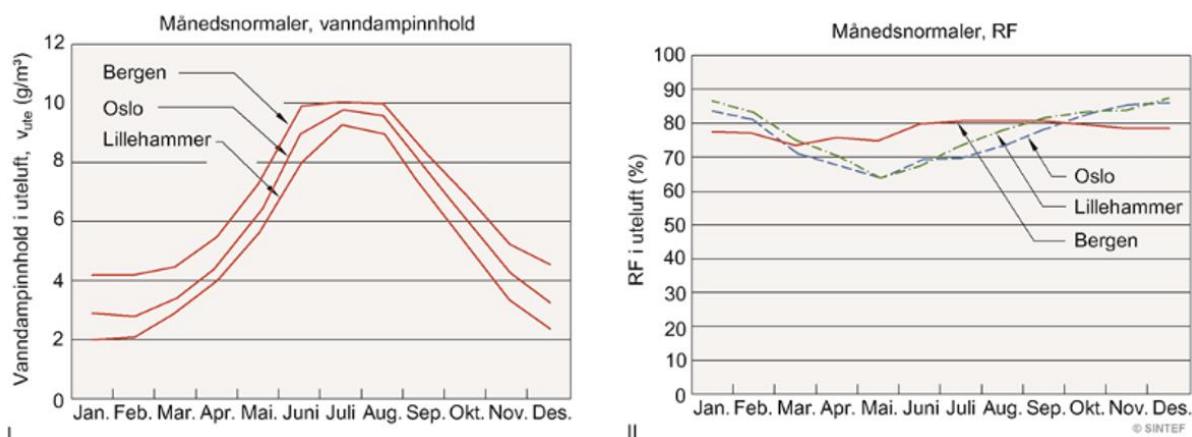
Tabell 2 viser hvor stor måleusikkerhet det er ved måling av vanndampmotstand. Dette er verdier for hvert materialsjikt, og man kan derfor anta en addering av usikkerhet ved flere sjikt.

Vanndampmotstand (Sd-verdi)	Måleusikkerhet (%)
Under 5 m	9
5-10 m	11
Over 30 m	13

**Tabell 2-Måleusikkerhet ved måling av vanndampmotstand (Byggforskserien, 2003a)**

### 3.1.4 Uteluftas fuktinnhold

Figur 5 viser at uteluftens vanndampinnhold og relativ fuktighet avhenger av årstid og geografisk beliggenhet. Relativ fuktighet er vanligvis lavest om våren og høyst om høsten/vinteren. Motsatt er det for vanndampinnholdet. Her er det høyst om sommeren og lavest om vinteren. Det er også store døgnvariasjoner, der RF normalt er høyest om natten. I regnvær og tåke vil RF være opp mot 100% (Byggforskserien, 2018b).



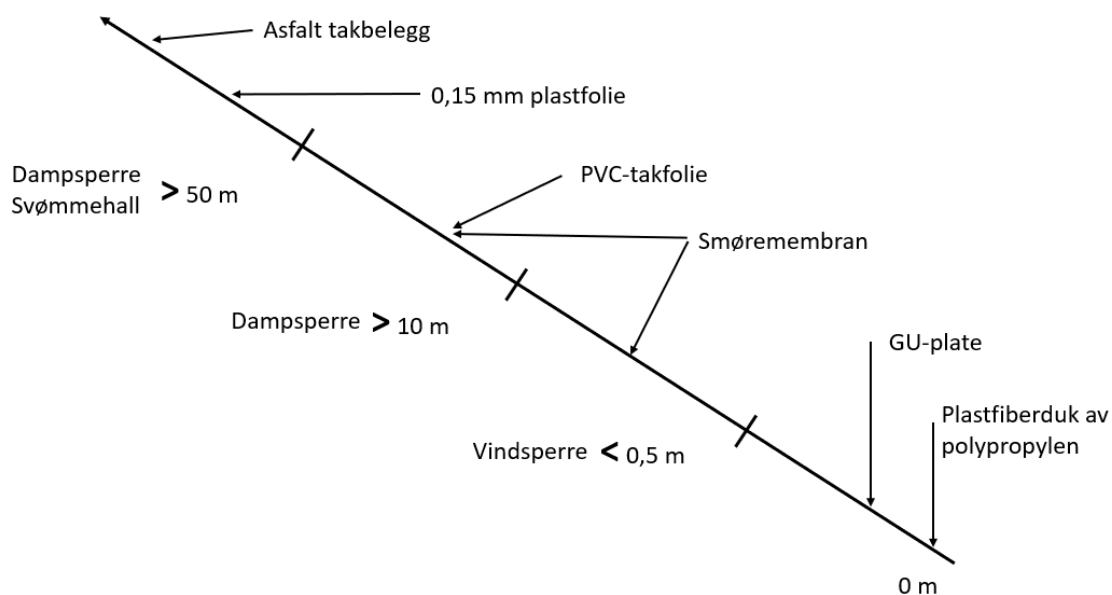
**Figur 5- Gjennomsnittlig månedsverdier for vanndampinnhold og RF over året (Byggforskserien, 2018b)**

## 3.2 Dampsperre

Hovedfunksjon til en dampsperre er å hindre fukttransport gjennom diffusjon og konveksjon fra varm til kald side, og utelukke sjenerende trekk og varmetap på grunn av lekkasjer. Ved å bruke en dampsperre hindres fuktig luft i å trenge inn i ytterkonstruksjonen og dermed kondensere under kaldere forhold. Dampsperreren ligger vanligvis på varm side av konstruksjonen (Edwardsen og Ramstad, 2014).

SINTEF Byggforsk anbefaler en minimal vanndampmotstand benyttet i tradisjonelle bygningskonstruksjoner tilsvarende 10 meter ekvivalent luftlagstykkelse. Det finnes flere varianter for dampsperrer. Figur 6 presenterer vanndampmotstanden til ulike damp- og vindsperrer.





**Figur 6-Vanndampmotstand i ekvivalent luftlagstykkelse for ulike produkter (Edvardsen og Ramstad, 2014)**

### 3.2.1 Tradisjonell dampspærre

Den vanligste dampspærren som blir brukt i ytterveggkonstruksjoner per dags dato er PE-folie (polyetylenfolie). Anbefalt tykkelse er minimum 0,15 mm grunnet fare for perforeringer. En 0,15 mm tykk PE-folie har en  $S_d$ -verdi tilsvarende 70 m. Som nevnt tidligere anbefaler SINTEF Byggforsk et minimum  $S_d$ -nivå tilsvarende 10 m. PE-folie med 0,15 mm tykkelse er derfor langt over minsteinbefalingen. Ved bruk av tradisjonell dampspærre blir konstruksjon meget damptett. Ulempen med dette produktet er at det ikke tillater innadrettet uttørking (Byggforskserien, 2003b).

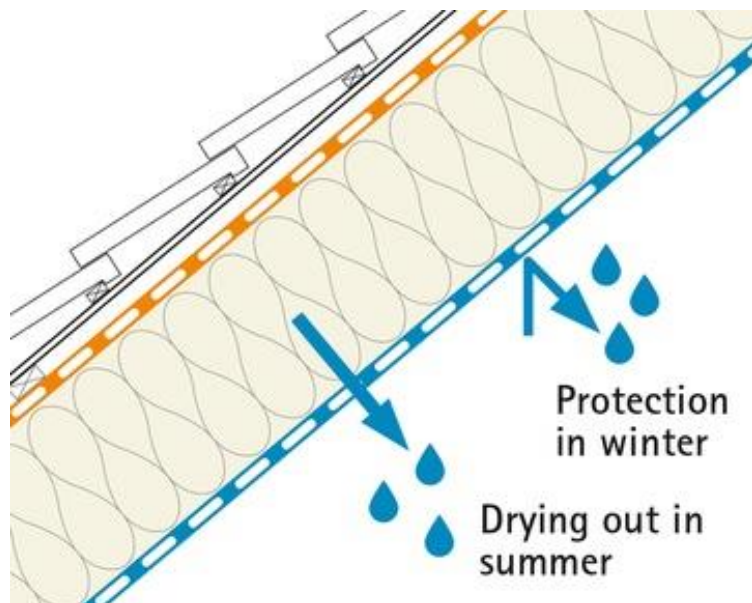
### 3.2.2 Dampbrems

Dampbrems er et folieprodukt som er mindre åpent enn minstekravet til SINTEF byggforsk, men såpass damptett at det skal hindre kondensasjon på vinterstid. Fordelen er at dampbremsen åpner opp for mer innadrettet uttørking i løpet av sommeren. Per dags dato finnes det ikke noen fast definisjon rundt vanndampmotstanden til en dampbrems, men mellom 0,5 og 10 m kan sees som en vid definisjon (Geving, Holme og Uvsløkk, 2010).

### 3.2.3 Smarte dampsperrer

Smarte dampsperrer er dampsperrer som varierer vanndampmotstanden med relativ luftfuktighet. På grunn at dette gir smarte dampsperrer mulighet for å regulere fuktinnholdet i konstruksjonen i større grad enn ved bruk av tradisjonelle dampsperrer.

Figur 7 viser løsningsprinsippet for bruk av smarte dampsperrer. Poenget er at konstruksjonen skal være relativt damptett om vinteren for å hindre kondensering, men dampåpen nok til å tillate innadrettet uttørking mot inneluften om sommeren. Løsningen baserer seg på varierende RF i inneluften over året. Om vinteren må RF i inneluften være lav, og om sommeren må den være høy for at mekanismen i smarte dampsperrer skal fungere.



**Figur 7- Illustrasjon av virkning for smarte dampsperrer (Proclima, 2019)**

Bruksområder for smarte dampsperrer er konstruksjoner der det er begrenset utadrettet uttørkingsmuligheter, høy oppfukning i byggefasen, stor sannsynlighet for lekkasjer og der man har varierende fuktstrøm (Geving, 2012).

### 3.3 Trevirke og massivtre

I Norge har vi lange tradisjoner tilknyttet trevirke som byggemateriale. Det er tresortene gran og furu som er mest benyttet ved trehusbygging. Trevirket gran er dominerende til konstruksjonsformål og den tresorten som blir brukt til massivtrekonstruksjoner. Treindustrien har en utnyttelsesfaktor på 100% (Edvardsen og Ramstad, 2014). Trevirke er et av de aller mest miljøvennlige byggematerialene og går under som et naturlig materiale. I tillegg til at det er et fornybart råstoff, er det også meget enkelt resirkulerbart med tanke på mange materialer (Aarstad, Glasø og Bunkholt Aasmund, 2011).

#### 3.3.1 Fukttekniske egenskaper

Trevirke inneholder to typer vann. Bundet vann og fritt vann. Bundet vann er i cellulosen i celleveggene, mens fritt vann er i cellenes hulrom. Fuktinnholdet i trevirke angis i prosent av trevirkets masse i absolutt tørt tilstand. Det vil da si når både bundet- og fritt vann er totalt ekskludert. Dette måles etter total uttørking ved en temperatur rundt 103 °C (Byggforskserien, 2015).

Når trevirket tørkes, fordampes først det frie vannet. Da gjenstår bare det bundne vannet. Dette kalles fibermetningspunktet og tilsvarer et fuktinnhold rundt 30%. Ved ytterligere uttørking fordampes det bundne vannet som eksisterer i celleveggene. Dette resulterer i at trevirket krymper. Trevirke som oppbevares tørt utendørs får vanligvis et fuktnivå på 18-20%. Trevirke med høy densitet og stor andel cellevegger vil normalt ha større fuktbevegelser enn trevirke med lav densitet (Byggforskserien, 2015).

Ved en gitt RF i inneluften vil fuktinnholdet i trevirke gradvis nærme seg en grenseverdi. Verdien angir likevekstfuktigheten. Ved å måle likevekstfuktighet ved forskjellige RF-nivå

kan man beskrive sorpsjonskurver som beskriver fuktlikevekt for et materiale (Byggforskserien, 2015).

Porøsitet beskriver tomrom i materialet. Dette tomrommet kan fylles med fuktighet. Fuktighet kan også adsorberes inn i celleveggen i trevirke. Opptaket av fuktighet er direkte relatert til relativ fuktighet i luften. Når den relative fuktigheten stiger øker absorpsjonen, og når den relative fuktigheten synker oppstår desorpsjon. På slik måte kan materialer fungere som en fuktbuffer for å myke ut fuktendringer (Rogstam *et al.*, 2018).

På grunn av trevirkets anatomi varierer vanndampmotstand med fuktinnhold. Vanndampmotstanden til trevirke er størst når trevirket er tørt. Derfor er vanndampmotstanden til trevirke delt inn i to klimasoner (Byggforskserien, 2015):

- Klima < 70% RF →  $\mu=50$
- Klima > 70% RF →  $\mu=20$

Ut fra dette ser man at desto fuktigere klimaet er, desto lavere er vanndampmotstanden.

### 3.3.2 Massivtre

Massivtre er bygd opp av lameller sammenføydd til et stort element. Lagene er snudd vinkelrett på nærliggende lag. Hvor mange lag som er benyttet avhenger av funksjon og bruksområde. Det kan variere mellom tre og ni sjikt. Massivtre er kalt CLT grunnet det engelske navnet *cross laminated timber*. Normalt limes lagene, men det er også mulig å bruke spiker, skruer, stålstag eller treplugger til å forankre lagene til hverandre. Det finnes mange fordeler med bygging av massivtre. Blant annet; Kort byggetid, god råstoffutnyttelse og lavt klimagassutslipp (Aarstad, Glasø og Bunkholt Aasmund, 2011).

Massivtre er et hygroskopisk materiale og vil alltid prøve å skape likevekt med omgivelsene. Dette fører til dynamiske endringer avhengig av temperatur og luftfuktighet. Resultatet er unngåelige fuktbevegelser. Det er viktig at dette tas hensyn til i utførelse og prosjektering av massivtrekonstruksjoner.

Forskjellige materialer har ulik kapasitet for lagring av fuktighet. Valget av materialer for innvendig kledning har en betydelig innvirkning på inneklimatets fuktighetsbalanse (Rogstam *et al.*, 2018). For at massivtre skal oppta fuktighet fra omgivelsene og fungere som en fuktbuffer må trevirke ha riktig overflatebehandling. Overflaten må være så dampåpent at porestrukturen er tilgjengelig slik at trevirket kan «puste». Om dette er tilfellet har materialet god evne til å absorbere fuktighet og regulere luftfuktigheten i rommet (Aarstad, Glasø og Bunkholt Aasmund, 2011).

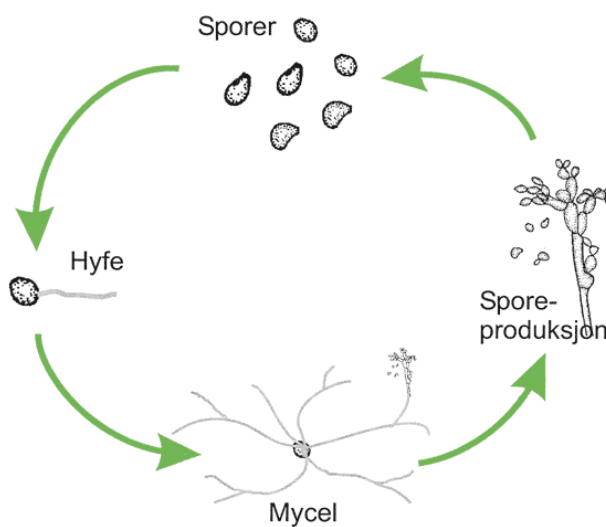
Massivtre kan fungere som en fuktvariabel dampbrems. Et massivtreelement er lufttett fra og med tre sjikt og oppover. I kapittel 3.3.1 Fukttekniske egenskaper er det presentert hvordan vanndampmotstanden varierer med relativ fuktighet. Vanligvis følger inneluften en syklus med tanke på luftfuktighet. Om vinteren er fuktigheten i luften normalt mindre sammenlignet med sommerhalvåret. Dette fører til en variabel vanndampmotstand der massivtreet slipper gjennom mer fuktighet når relativ fuktighet er høy.

### 3.4 Mikrobiell vekst

Høyt fuktinnhold over lengre tid gir gode leve og vekstvilkår for mikrobielle organismer. Dette resulterer i akselererende nedbrytning av materialer og dermed svekket bestandighet. Det er vanligvis mugg- og råtesopp som skaper problemer for trevirke.

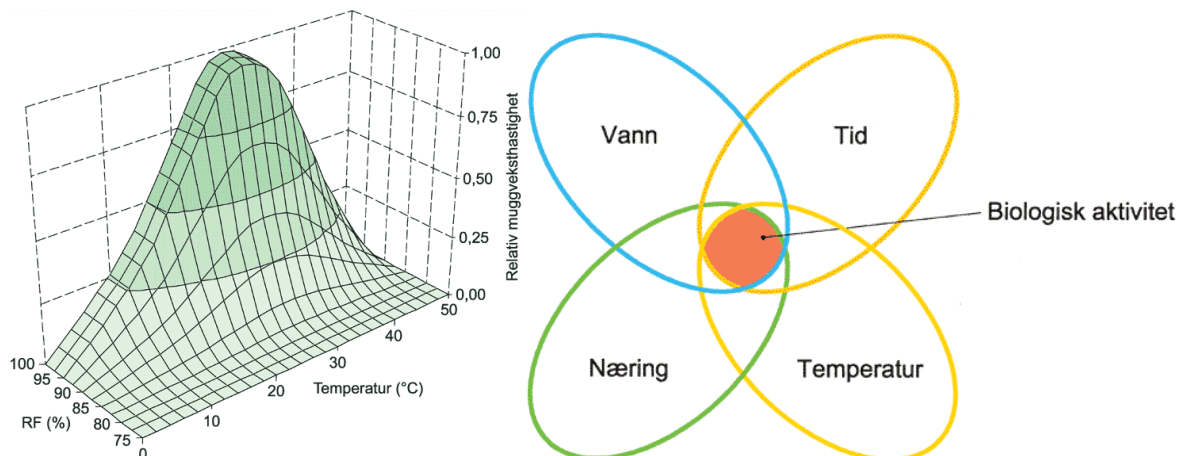
#### 3.4.1 Muggsopp

Muggsopp er en fellesbetegnelse på mange ulike hurtigvoksende sopporganismer som produserer betydelige mengder sporer, samt ulike organiske forbindelser og giftstoffer. Muggsopp forårsaker ikke råte, men kan resultere i alvorlige helseplager og dårlig innemiljø. Figur 8 viser livssyklusen for muggsopp. Muggsopps formeringsenhet heter sporer. Hyfer er celletråder som utgjør grunnvevet i sopp. Disse danner etterhvert et sammenhengende nett av hyfer. Denne syklusen forekommer om sporene havner på en overflate hvor vekstvilkårene er gode (Byggforskserien, 2005).



**Figur 8-Livssyklus for muggsopp (Byggforskserien, 2005)**

For at det skal eksistere gode vekstvilkår forutsettes det enkelte faktorer. Disse faktorene er presentert i Figur 9. Den mest sentrale faktoren som påvirker muggsoppakkumulasjon er fuktighet. Soppveksten vokser raskest der man har, eller nettopp har hatt fritt vann. Dette kan forekomme gjennom kondensasjon eller vannlekkasjer. Muggsopp livnærer hovedsakelig på organisk materiale, men kan også næres av bindemidler og støyforurensing på uorganiske flater. Dermed kan i prinsippet alle slags mulige flater bli angrepet av muggsopp under gunstige vekstforhold (Byggforskserien, 2005).



**Figur 9- Relativ muggveksthastighet som funksjon av temperatur og RF, samt forutsetninger for muggsoppvekst (Byggforskserien, 2005)**

Ulike muggsopparter har ulike krav til fuktighet, men de vanligste muggsoppene krever en RF på 80-85% på materialoverflaten eller i porene til materialene for at vekst skal forekomme. Dette tilsvarer et vanninnhold rundt 20% vektprosent i trevirke. Som det kommer frem fra Figur 9 er det betydelig større relativ muggveksthastighet desto nærmere 100% RF man kommer. Ved uttørking stanser veksten, men likevel vil sporene overleve og kan starte ny vekst når tilgangen på fukt igjen er god. Temperaturer rundt 25-30 °C er kritisk når det kommer til muggsoppvekst. Når temperaturen går ned mot 0 °C går muggsoppen i dvale. Muggsoppen overlever som regel nedfrysning og kan dermed igjen være aktiv når temperaturen går opp. Som Figur 9 også indikerer reduseres veksthastigheten over 30 °C, og ved temperaturer opp mot 40-50 °C dør de fleste muggsoppartene (Byggforskserien, 2005).

Ved vannskader gir det umiddelbart meget gunstige vekstvilkår for muggsopp og soppangrep. Angrepet kan forekomme etter svært kort tid. Sporer ligger naturlig i luften eller i støvsamlinger. Disse kan spire hurtig. Videre kan også vedvarende høy eller varierende høy luftfuktighet resultere i muggsopp over uker eller måneder. Eksponeringstiden som er nødvendig for muggsoppvekst avhenger av fuktighet og temperatur. Desto høyere temperatur og fuktighet desto raskere veksthastighet (Byggforskserien, 2005).

I boken «Fukt i bygninger» er det fremlagt følgende kritiske nivå for muggvekst. Kritiske fuktnivå for muggvekst er presentert i Tabell 3.

**Tabell 3- Kritiske nivå for muggvekst(Geving og Thue, 2002)**

Alternativ	Kritisk nivå	Kommentar
1	80 % RF	Vanligste kriteriet, men kan sees som et konservativt kritisk nivå.
2	18 vekt - % trefuktighet	Samme som alternativ 1, bare denne verdien hensyntar kun muggvekst på gran og furu.
3	80 RF når $t > 0$ °C	Et alternativ skjerpes sammenlignet med alternativ 1. Temperatur under 0 °C antas neglisjerbar muggvekst.

4	90 % RF der t=0-5 °C 85 % RF der t=5-15 °C 80 % RF der t=15-50 °C	I dette alternativet er nivå på temperatur og RF hensyntatt, og er den mest nøyaktige. Kritiske nivå sees også i Figur 3 og Figur 9.
---	---	--

### 3.4.2 Råtesopp

Soppen som fører til råte kalles råtesopp. Råtesopp i bygningskonstruksjoner fører til flere negative reaksjoner, blant annet misfarging, lukt og etter hvert nedbrytning av trevirkets bæreevne (Byggforskserien, 2007).

Brunråtesopper er den mest vanlige råtesoppen i norske bygninger. Ulike brunråtesopper har ulike vekstforhold. Ideelt fuktinnhold i vektprosent for trevirke varierer fra 20-120%(Byggforskserien, 2007). På grunn av varierende minimum fuktnivå for vekst er det vanskelig å stadfeste en kritisk fuktverdi(Geving og Thue, 2002). De aller fleste råtesoppene trenger høyt fuktnivå for å danne grobunn for vekst. Likt for muggsopp spiller også temperatur inn for vekstvilkårene til råtesopp. Vilråene er nokså like som for muggsopp, der 0-45 °C ansees som ideelt intervall for råtesoppvekst. Tabell 4 viser kritiske nivå for råtesopp.

**Tabell 4- Kritiske nivå for råte vekst (Geving og Thue, 2002)**

Alternativ	Kritisk nivå	Kommentar
1	20 vekt-%	Vanligste kriteriet, men kan sees som et konservativt kritisk nivå.
2	85 % RF	Samme som alternativ 1 da 20 vekt-% er ekvivalent med 85 % RF.
3	20 vekt-% når t>0 °C	Et alternativ skjerpes sammenlignet med alternativ 1. For temperatur under 0 °C antas neglisjerbar muggvekst.

## 4 Litteraturstudie

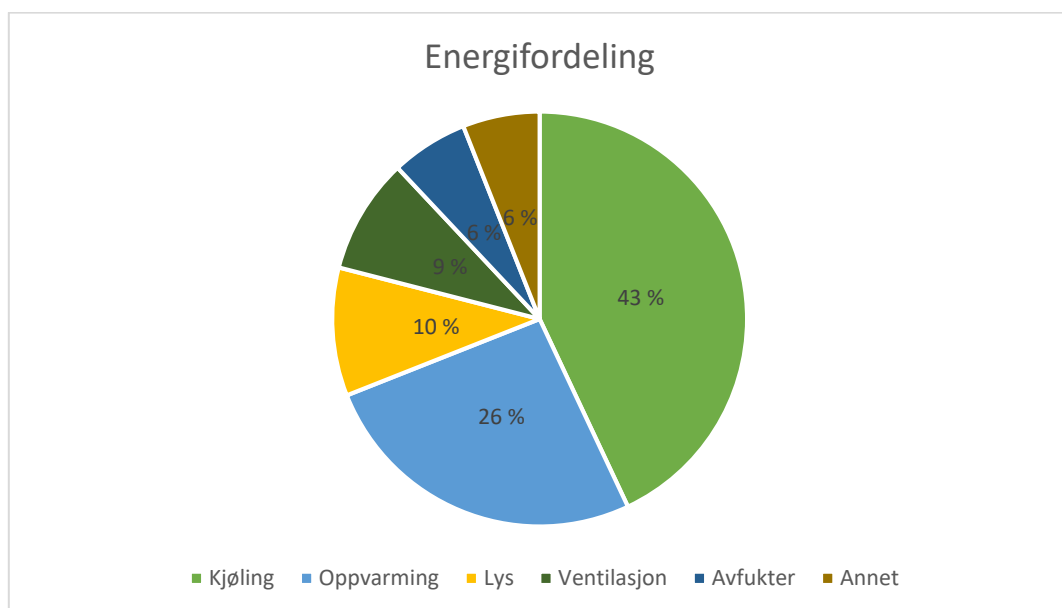
Litteraturstudie er et kapittel med dekkende granskning og tolking av eksisterende litteratur innenfor fagområdet studien omhandler. Kapitlet er skrevet som en tradisjonell litteraturstudie der hensikten er å gi en bred forståelse og oversikt over temaet.

### 4.1 NERIS

NERIS er et akronym for "Nordicbuilt: Evaluation and Renovation of Ice halls and Swimming halls". NERIS er en del av instituttet for sivilingeniør ved KTH i Stockholm, Sverige. NERIS leverte en serie av fire rapporter som har til formål å beskrive fuktmechanismer i ishaller, samt å gi praktiske råd og veiledning vedrørende konstruksjonsoppbygning og avfukningsteknologi. Studien har hatt tilgang til et stort antall feltmålinger for å fremstille de reelle forholdene i ishaller. Serien sees på som høyst relevant og utledes således i studien som en introduksjon til konstruksjonstypen ishall.

#### 4.1.1 Energibruk

Ishaller er generelt blant de bygningene med høyest energiforbruk. Dette henger sammen med det konstante behovet for kjøling, oppvarming, ventilasjon, avfukting og belysning i ulike deler av bygget. En studie av 135 svenske ishaller har kartlagt fordelingen av energiforbruket. Studien konkluderte med at hele 69% av energiforbruket går til oppvarming og kjøling. Hvor mye energi som brukes varierer fra ishall til ishall. Eksempelvis kan energibruken relatert til avfukting variere etter avfukterteknologi. Hele fordelingen sees i Figur 10.

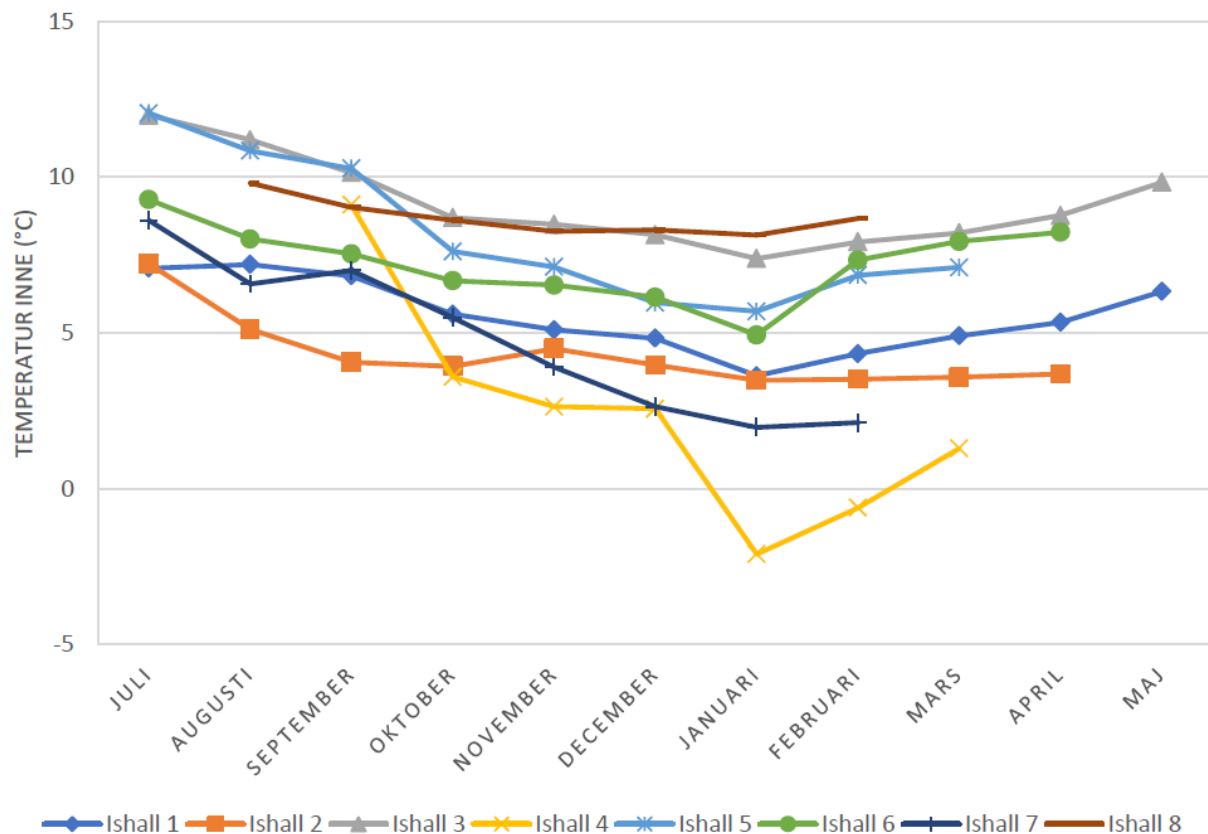


**Figur 10-Gjennomsnittlig energifordeling av 135 ishaller (Rogstam et al., 2017)**

Et viktig moment å bemerke seg er at energisystemene avhenger av hverandre. Om man varmer opp publikumsområdet øker kjølebehovet for isflaten. Omvendt øker oppvarmingsbehovet desto større og kaldere isflaten er.

#### 4.1.2 Indre klimaforhold

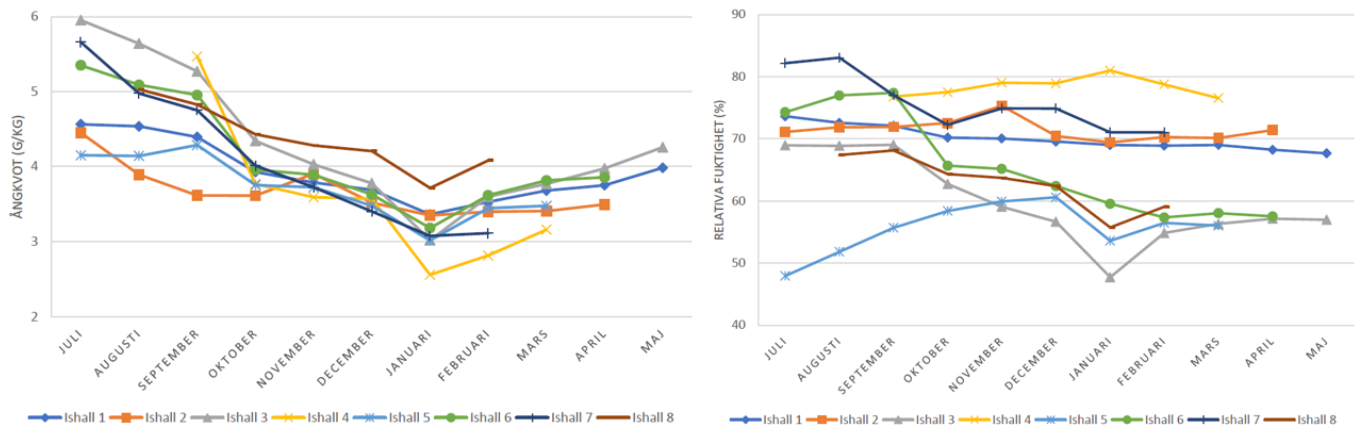
NERIS har innhentet innetemperatur, RF og fuktighetsnivåer i åtte ishaller i nærheten av Stockholm. Ishallene har individuell oppbygning og sesonglengde. Sesonglengden strekker seg vanligvis fra midten av juli til midten av mars. Enkelte ishaller er ikke varmeisolert og følger uteklimaet i større grad. Dette er illustrert i Figur 11. Her ser man eksempelvis at ishall 4 har store temperatursvingninger. Normalt driftes hallene med temperaturnivåer mellom 5 °C og 10 °C. Ut fra figuren kommer det frem at innetemperaturen varierer med årstiden (Rogstam *et al.*, 2017).



**Figur 11- Innetemperatur i åtte ishaller gjennom en sesong**

Figur 12 viser både fuktinnholdet og relativ fuktighet i inneluften i de samme åtte ishallene. Som figuren viser er fuktinnholdet høyt i starten av sesongen, men avtar betydelig i løpet av vinteren på grunn av infiltrasjon av kald og tørr luft.





**Figur 12- Målt fuktinnhold og relativ fuktighet gjennom en sesong**

I forbindelse med fuktinnhold i luften anbefaler studien et duggpunkt i inneluften mellom 0 °C og 2 °C. Intervallet skal sikre et godt inneklima, minimal kondensering på kalde overflater, samt god iskvalitet på en energieffektiv måte (Rogstam *et al.*, 2017).

I en ishall kan fuktkilder deles inn i to hovedkategorier. Eksterne og interne fuktkilder. Eksterne fuktkilder er fuktkilder som kommer fra utenfra og inn i konstruksjonen. Eksempler på dette er infiltrasjon av fuktig uteluft eller diffusjon. Interne fuktkilder representeres av fuktproduksjon gjennom utøvere og publikum, smeltevann også videre.

NERIS mener det tradisjonelt er luftlekkasjer som er den største kilden til fukttilskudd, men avhenger i stor grad av geografiske forhold og standarden ishallen er bygd og driftes etter. Dette indikerer bare at et tett klimaskall har stor påvirkning på fuktinnholdet og avfukting til ishaller (Rogstam *et al.*, 2017).

Om man tar utgangspunkt i et inneklima, eksempelvis 8 °C og 60% RF gir dette 3,8 gram vanndamp per kilo tørr luft. I en ishall vil flere objekter i tilknytning isflaten ha en temperatur rundt 0 °C. Metningskonsentrasjonen til 0 °C er til 3,8  $g/kg$ . Det vil si mer vanndamp, eller lavere temperatur vil føre til kondensasjon. Eksempel på dette er vist i Figur 13.



**Figur 13- Kondensasjon på vantet i en ishall (Rogstam *et al.*, 2017)**

Avfukkingssystemet er essensielt i en ishall om man vil kontrollere luftkvalitet, unngå korrosjon, mikrobiell vekst og kondensasjon. Helsen til mennesker og bygninger er sterkt avhengig av luftkvalitet. Som omtalt i kapittel 3.4 Mikrobiell vekst kan høye RF-verdier være direkte skadelig på bygningsmassen. I tillegg kan lav luftkvalitet være belastende for utøvere og besøkende. For å sikre dette er det viktig med et godt avfukkingssystem (Rogstam *et al.*, 2017).

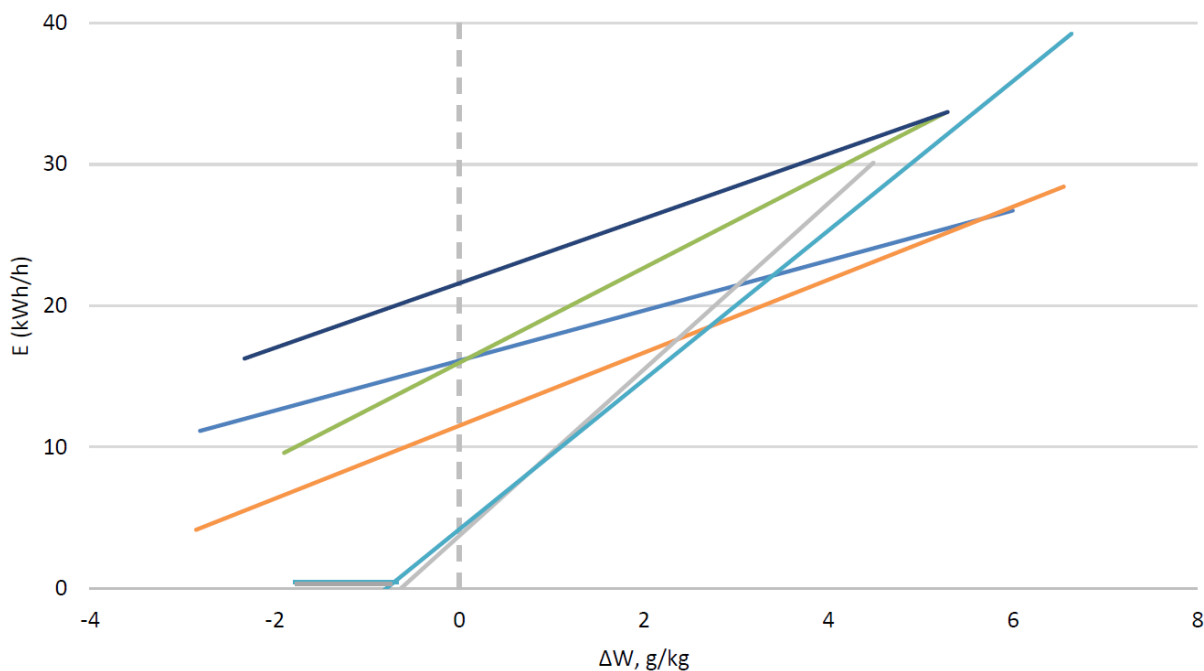
Avfukteren er en av fem store energisynderne i en ishall. Normalt står avfukteren for 5-15% av det totale energiforbruket. For øvrig er prosentandelen undervurdert fordi kapasiteten til avfukteren ofte er utilstrekkelig. Resultatet er rimdannelse på isflaten, som øker behovet for kjøling og vedlikehold av isen.

Et klimaskall skiller inn- og uteluft fra hverandre, men fullstendig separasjon er praktisk umulig. Trykkforskjeller i luften driver eksfiltrasjon og infiltrasjonen i bygget. Høyere temperatur fører oftest med høyere absolutt luftfuktighet. Analogt med varmetransport beveger fuktighet mot den laveste konsentrasjonen. I ordinære bygg vil normalt inneluften ha høyere absolutt fuktnivå sammenlignet med uteluften. For en ishall er det til dels vekslende. Fuktforskjellen for inn- og uteluft kan beregnes etter følgende formel:

**Formel 2**

$$\Delta W = W_{uteluft} - W_{inneluft}$$

NERIS har brukt tilgjengelige data og formel 2 til å beregne forskjell i absolutt fuktighet for inn- og uteluft. Figur 14 viser sammenheng mellom differanse i absolutt fuktighet og avfukningssystemets energiforbruk. Som det kommer frem ser man at majoriteten av fuktvandringen går fra uteluft til inneluft. Figuren viser også en sterk korrelasjon mellom energiforbruk og høy fuktighetsforskjell. Det er verdt å merke seg at dette er ishaller plassert i Sverige.



**Figur 14- Energiforbruk til avfukting i seks ulike ishaller (Rogstam *et al.*, 2018)**

### 4.1.3 Fukttransport i ishaller

Størrelsen på de forskjellige transportmekanismene avhenger av oppbygning og bruk. Det er hovedsakelig konveksjon og diffusjon NERIS har satt fokus på. Vanligvis er luftlekkasjer gjennom utettheter hovedkilden til fukttransport (Rogstam *et al.*, 2018).

Konveksjon relateres til utettheter i klimaskallet. I nasjonale forskrifter stilles det tetthetskrav til nybygg. Dette kravet er til dels for et energiforbruksperspektiv, men også relatert til fukttransport. I ishaller blir avfuktingsbehovet berørt av dette tetthetskravet.

For å minimere luftlekkasjer gjennom konveksjon er det viktig å sørge for så lite åpninger i konstruksjonen som overhodet mulig. Det er derfor sentralt å sørge for å stenge dører kontinuerlig. En annen ting å tenke på er driften av ismaskinen. Ismaskinen må jevnt vedlikeholde isen ved å kjøre bort snø og legge ny is. Det er da viktig å sørge for så liten gjennomtrekk av fuktig uteluft som overhodet mulig (Rogstam *et al.*, 2018).

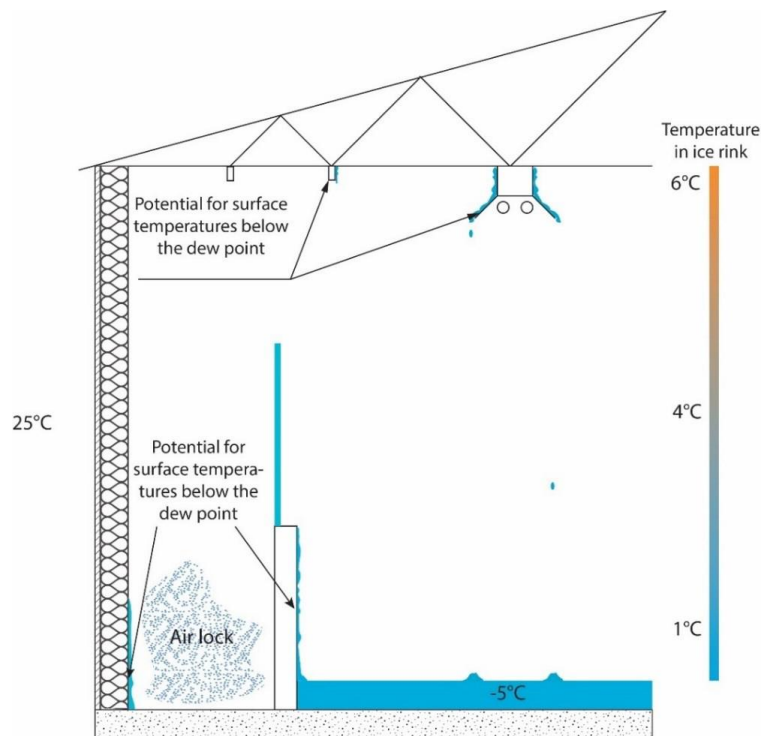
Diffusjon er en mye langsommere prosess i forhold til konveksjon. Sammenlignet med andre fuktilder er tilskuddet marginalt, og spiller liten rolle for fuktbalansen i ishallen. På en annen side er fukttransport gjennom diffusjon essensielt for bygningskallet. Dersom det ikke er dimensjonert for lokale forhold, eller prosjektert feil kan det medføre alvorlig konsekvenser. Faren er kondensasjon eller høye RF-nivå inne i konstruksjonen. Dette resulterer i mikrobiell vekst som i verstefall kan lede til strukturelle problemer (Rogstam *et al.*, 2018).

For å hindre dette legges det vanligvis en dampsperre på varm side. I ishaller er det noe mer kompleks. Ut ifra klimaet vil diffusjonen gå begge veier i løpet av en sesong. NERIS sier at generelt skal dampsperran ikke plasseres på innsiden av ishallen. Om vandampinnholdet konstant er høyere på utsiden bør det vurderes en dampbarriere på utsiden.

NERIS diskuterer hvorvidt dampspærre skal brukes i ishaller, og formidler at dette er et åpent spørsmål, men det konkluderes med at den bør ligge på den fuktige siden. Det kan også spekuleres i om det er nødvendig med dampspærre.

Data NERIS har anskaffet viser at variasjonen i absolutt fuktighet varierer med klima. Der det nordligste nivået varierte mellom 1-6.3 g/kg, i midt Sverige 2.5-9 g/kg, og sør i Sverige 3.5-9.6 gram per kilo tørr luft. Om man antar et gjennomsnittlig fuktighetsnivå for inneluften på 3,6-5,0 gram per kilo tørr luft ser man at gjennomsnittet for inneluften ligger i øvre sjikt av overnevnte intervall for de ulike uteklimaene. Dette gir en indikasjon på at fuktstrømmen i majoriteten av året er innadrettet.

Mellom randen og ytterveggen er det fare for at luftlommen ikke er tilstrekkelig ventilert, eller mangler oppvarming. Dette kan redusere overflatetemperaturen og øke risikoen for kondensasjon, se figur Figur 15. Dette er en av flere ulike klimasoner i ishaller. Andre ulike klimasoner er rett ovenfor isen og publikumssone. Flere separate klimasoner vil være garderobes, fellesareal etc.



Figur 15- Potensielle risikosoner for kondensering (Rogstam et al., 2018)

## 4.2 Fuktbufring og latent varme i eksponerte massivtreoverflater

En masteroppgave skrevet av Ivana Katavic i 2014 belyste effekten av fuktbufring og latent varme i trekonstruksjoner. Studien gikk ut på å undersøke potensiell effekt av fuktbufring og latent varme i eksponerte innvendige massivtreoverflater. RF i inneluften har stor betydning for komfort, forutsetninger for råte og materialets bestandighet. Tre er som nevnt i 3.3.1 Fukttekniske egenskaper et hygroskopisk materiale som kan oppta fuktighet.

Studien gjennomførte to separate feltforsøk utført på to 25 m<sup>2</sup> store testhus. Som man ser fra Figur 16 er testhusene identisk i oppbygning, sett bort fra innvendig overflate. Testmodul A har en innvendig overflate bestående av trevirke, mens testmodul B har PE-

folie som innvendig overflate. Modulene ble under forsøket utsatt for store fuktbelastninger gjennom ultrasoniske luftfuktere ved et fukttilskudd på 0,6kg per time. Temperaturen ble satt til 20 °C under eksperimentet. Testmodulene er for øvrig ikke bygd etter daværende teknisk standard (TEK10), men skal likevel gi et godt sammenligningsgrunnlag.



**Figur 16- Testmodulene fra utsiden, og testmodul B (Katavic, 2014)**

Studien modellerte også forsøket i simuleringsprogrammet WUFI for å sammenligne resultatene til de to forsøkene. For å øke sammenligningsgrunnlaget ble værdata fra lokale værstasjoner implementert og benyttet i dataprogrammet.

Eksperimentet resulterte i flere interessante observasjoner. Kort tid etter påført fuktbelastning steg inneluftens RF til 100% i modul B (Plastfolie). Ved samme tidspunkt var RF i modul A kun 80%, under samme forhold. Selv under dobbel vannmengde i ni timer kom ikke RF opp til 100% i modul A. Resultatet viste også en temperaturøkning på 1-1,5 °C i overflaten for trevirke. Dette skyldes frigjøring av energi når vanddamp i luften absorberes og tas opp som flytende vann i treporene.

Som nevnt tidligere ble feltforsøket modellert og simulert i beregningsprogrammet WUFI. Resultatet fra WUFI og resultat fra modul B viste stort samsvar, mens det derimot ikke var like stort samsvar mellom resultatene fra WUFI og modul A. WUFI kalkulerte for høy RF altfor raskt, og en for svak reduserende RF i forbindelse med uttørking.

Studien konkluderte med at det eksisterer en betydelig effekt av fuktbufring og latent varme i trevirke. Det ble også konkludert at WUFI underdimensjonerer effekten av fuktbufring i trevirke (Katavic, 2014).

Studien sammenligner to testmoduler, der den ene testmodulen har ingen kapasitet til å ta opp fuktighet. Det vil naturligvis være forskjell mellom disse modulene. Hvor mye fuktighet massivtreet i en ishall kan ta opp vites ikke, men det kan konkludere med at effekten eksisterer. En annet moment verdt å ta med videre er beregningene gjort av WUFI. Det er samme simuleringsprogram som er brukt i denne studien. Beregningene viste ikke riktig fuktighetsverdier som realiteten ved bruk av massivtreelementer. Dette indikere en svakhet i WUFI sammenlignet med realiteten, og går under som en svakhet for denne studien.

## 5 Beregningsoppsett og input-parametere

Simuleringene i studien er svært avhengig av utallige valg og innstillinger i simuleringsprogrammet. For å redegjøre for hvilket grunnlag beregningene er basert på vil det komme en beskrivelse for hvilke valg og antagelser simuleringsmodellen er bygd opp av. Dette kapitlet skal presentere disse faktorene.

### 5.1 Uteklima

Til klimadata er det benyttet tilknyttet MDRY-fil fra WUFI. MDRY står for Moisture Design Reference Years. En MDRY-fil består av timesverdier interpolert fra 3-4 målinger per dag. MDRY er basert på kritisk fuktbelastning til ulike konstruksjoner. Noe som vil si at et MDRY uteklima vil ha større fuktpåkjenning over flere år enn va som normalt er å forvente. MDRY er dermed godt egnet for fuktdimensjonering (Geving og Thue, 2002).

På bakgrunn av dette, og kompleksiteten av vekslende fuktstrøm, i forskjellige geografiske beliggenheter er det ikke åpenbart at en positiv temperaturforskyvning med tanke på uteklimaet er forverrende for konstruksjonen. Det blir verken benyttet positiv eller negativ temperaturforskyvning i denne studien.

### 5.2 Inneklima

Innetemperatur og RF er variert etter anbefalt duggpunktstemperatur satt i henhold til anbefalingene til NERIS presentert i 4.1.2- Indre klimaforhold. Variasjonsområdet i duggpunktstemperatur vil således være fra 0 °C til 2 °C.

Tabell 5 viser hvilket variasjonsområde duggpunktintervallet gir med forskjellige fuktighetsnivå. Mulighetsintervallet for relativ fuktighet er valgt fra 50-60% RF, likevel om svenske ishaller ligger i gjennomsnitt på 70% RF. Bakgrunnen for dette er forskjellige klimasoner i ishaller. Man kan anta at sonen langs ytterveggen er noe varmere sammenlignet med sonen over isflaten, grunnen elektrisk utstyr og personoppvarming. Således vil RF være lavere forbeholdt samme fuktinnhold. I tillegg vil et nivå på 70% ikke være gunstig med tanke på idrettsprestasjoner, samtidig som det er relativt nærme 80% som er definert som kritisk fuktnivå i 3.4.

**Tabell 5- Variasjonsområdet for relativ fuktighet og innetemperatur**

Duggpunkt [°C]	Relativ fuktighet [%]	Temperatur [°C]
0	50	10,5
	55	9,0
	60	7,7
1	50	11,6
	55	10,1
	60	8,7
2	50	12,7
	55	11,0
	60	9,8

For å få det mest hensiktsmessig er valget av inneklima avrundet til hel temperatur i simuleringene. Den relative fuktigheten varierer for de tre kombinasjonene. Dette er for å få akkurat to grader forskjell i inneklimate, og dermed gjenspeile nedre, øvre og midtre sjikt i mulighetsintervallet. For simulering er det benyttet følgende temperatur og relativ fuktighet:

- 1.) 8 °C og RF=60%
- 2.) 10 °C og RF=55%
- 3.) 12 °C og RF=50%

Ved en slik avrundning har ytterpunktene i intervallet blitt smalet inn. Det vil si duggpunktintervallet er fra over 0 °C og under 2 °C. Om simuleringene har blitt gjennomført med eksakte verdier som presentert i Tabell 5 ville resultatene mest sannsynlig vært noe mer forsterket.

I ishaller bør det alltid være en tilstrekkelig dimensjonert avfukter. På bakgrunn av dette antas innvendig luftfuktighet som tilnærmet konstant. Med andre ord er ikke interne fukkilder som er presentert i 4.1.2 direkte medtatt. Det er antatt at avfukteren ekskluderer de største svingningene, og holder inneklimate tilnærmet konstant. For å etterligne eksterne fukkilder modereres RF og temperatur som en sinuskurve i WUFI. Dette har blitt vurdert som hensiktsmessig for å etterligne sesongvariasjoner i inneklimate grunnet eksfiltrasjon og infiltrasjon av fuktig/tørr luft. Her har amplituden i sinusgrafen blitt etterlignet klimaet til lignende ishaller. Dataunderlaget er hentet fra Figur 11 og Figur 12. NERIS har samlet månedsbaserte RF- og temperaturmålinger over en sesong for åtte ishaller. Ishallene er videre ikke spesifisert, og variasjonsområdet for temperatur og RF er meget individuelle. For å hente ut valide data, og data som representerer moderne haller der lekkasjetallet er betydelig mindre, tas bare de fire mest stabile hallene med i vurderingen. Variasjonsområdet for de ishallerne indikerer en amplitude på sinuskurven til 1 kelvin med maksverdi 10. juli. Videre blir de samme ishallerne vurdert med hensyn på RF. Her er amplituden vurdert til 3% med maksimalverdi 16. august.

## 5.3 Materialparametre

Data for enkelte materialer er hentet fra databaser i WUFI. Det er hentet materialer fra kataloger som Fraunhofer-IBP og NTNU- Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. For å øke verdien av oppgaven er det tilstrebet og bruke konvensjonelle materialer som er å få kjøpt på det åpne markedet i så stor grad som mulig. Enkelte av disse materialer ligger ikke inn i databasen. Disse materialene har blitt skapt av å ta utgangspunkt i et likt materiale, og deretter endre materialparametere i henhold til produktdatablad.

I vedlegg F, SINTEF Teknisk Godkjenningen til Rockwool REDAir Flexsystem, står det at systemet kan monteres uten vindsperre. Det har det også blitt gjort i Bugården Ishall. Med bakgrunn i dette har det blitt valgt å ikke benytte vindsperre i mange varianter. Rockwool REDAir Flexsystem er et selvbærende isolasjonssystem forankret i massivtreveggen. Således er det ikke noen stendere, bjelker eller søyler i veggen, og medfører dermed ingen svakheter ved bruk av et endimensjonalt beregningsprogram.

Tabell 6 viser hvilke materialeegenskaper som er brukt i simuleringene.

**Tabell 6- Materialparametere**

<b>Materiale</b>	<b>Densitet t [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Porøsitet [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Varmekonduktivitet [W/mK]</b>	<b>Ekvivalent luftlagstykkelse S<sub>d</sub>-verdi [m]</b>	<b>Tykkelse [mm]</b>
RedAir- Isolasjon	60	0,95	0,033	0,26	200
Dampbrems	130	0,001	2,3	5/10	0,1
PE-Folie	130	0,001	2,2	70	0,15
AirGuard S	130	0,001	2,2	0,02-102,5	0,1
Stora Enso CLT Massivtre	410	0,74	0,098	2,64-40	80

Videre er det valgt å bruke Isola AirGuard smart dampspærre. Produktet har stor variasjon i vanndampdiffusjonsmotstand og gir produktet meget gode uttørkingsegenskaper ved høyt fuktinnhold. Dette produktet ligger ikke inn noen databaser og ble skapt manuelt. Produktet tar utgangspunkt i materialeegenskapene til PE-folie. Deretter endres i henhold til oppgitte verdier fra mailkorrespondanse mellom Markus Stellander og Norbert Frey i DuPont. Verdiene som er formidlet gjennom mailkorrespondansen er spesifikke verdier for WUFI. Mailen kan sees i vedlegg E. Verdiene for vanndampdiffusjonsmotstand vises i Tabell 7.



**Tabell 7- Vanndampmotstand AirGuard Smart (Agnalt, 2013)**

Relativ fuktighet [%]	Vanndampmotstand [ $S_d$ ]
12,5	102,5
25	34,3
37,5	18,2
41,5	3,4
62,5	1,5
75	0,17
87,5	0,07
95	0,03
97,5	0,02

## 5.4 Startbetingelser

Luftespalten mellom ytterkledning og isolasjon er modellert med et ventilasjonskilleledd tilsvarende 10 l/h. Grunnen til det lave tallet er oppbygningen til RedAir Flexsystemet og hva som står i SINTEF godkjenningen av produktet. I godkjenning står det:

*«Innløpsåpninger til luftespalte innsnevres til ¼ av spaltens fulle dybde»*

Det vil si en meget liten lufting (Fraunhofer, 2014).

For innvendig og utvendig overgangsmotstander er verdiene som er satt som standard i WUFI benyttet. Dette er henholdsvis for innvendig og utvendig side lik 0,125 m<sup>2</sup>K/W og 0,0588 m<sup>2</sup>K/W.

Hvilken himmelretning som er valgt kan ha innvirkning på konstruksjonens uttørkingsevne. For å gi solintensitet minst påvirkning på resultatet er det valgt nordlig orientering.

Fuktinnhold ved oppstart er satt til 70% RF gjennom hele konstruksjonen. Bakgrunnen for dette er opplyst fuktighet av Stora Enso ved levering (ENSO, 2018).

Simuleringsperioden er satt til tre år. På en slik måte sees det om det blir akkumulert fuktighet i ulike varianter over tre sesonger.

## 5.5 Beregningsvarianter

Majoriteten av variantene er ikke omtalt i rapporten. Det har blitt foretatt en vurdering i hvor interessant hver konstruksjon er, og hvorvidt den skal omtales i rapporten.

En oversikt over forskjellige varianter er vist i Tabell 8. Samtlige varianter består av utvendig kledning og et luftesjikt. Dette er ikke nevnt i tabellen da det er likt for alle varianter.

**Tabell 8- Varianter benyttet i simulering**

<b>Variant</b>	<b>Oppbygning</b>
1	Isolasjon, dampsperre, massivtre
2	Isolasjon, massivtre
3	Dampsperre, isolasjon og massivtre
4	Isolasjon, dampsperre, isolasjon, massivtre
5	Dampbrems ( $S_d=5m$ ), isolasjon, dampsperre, massivtre
6	Dampbrems ( $S_d=10m$ ), isolasjon, dampsperre, massivtre
7	Dampsperre, isolasjon, dampbrems ( $S_d=5m$ ), massivtre
8	Dampbrems ( $S_d=5m$ ), isolasjon, massivtre
9	Dampbrems ( $S_d=5m$ ), isolasjons, dampbrems, massivtre
10	Dampbrems ( $S_d=10m$ ), isolasjon, dampbrems ( $S_d=5m$ ), massivtre
11	Dampbrems ( $S_d=5m$ ), isolasjon, massivtre
12	Vindsperre, dampbrems ( $S_d=5m$ ), isolasjon, massivtre
13	Dampbrems ( $S_d=2,5m$ ), isolasjon, massivtre
14	Isolasjon, dampbrems ( $S_d=5m$ ), massivtre
15	Isolasjon, fuktregulerende dampsperre, massivtre
16	Fuktregulerende dampsperre, isolasjon og massivtre

Variantene som blir omtalt i rapporten er variant 1, 2, 3, 15 og 16. Variant 1,2 og 3 sees på som sentral for å gi en indikasjon hvor dampsperran kan plasseres. Variant 15 og 16 er varianter med smart dampsperre. Disse sees på som interessante og vil bli vurdert gjennom studien.

Tabell 9 viser materialdata og oppbygning for variantene brukt i studien. Alle varianter har utvendig kledning og luftesjikt. Tabellen starter med det materialsjiktet som er ytterst i konstruksjonen, og avslutter med Stora Enso CLT Massivtre som innvendig kledning. Det vil si variant 1 er bygd opp av utvendig kledning, luftesjikt, RedAir-isolasjon, PE-Folie og Stora Enso CLT Massivtre.

**Tabell 9- Oppbygning for relevante varianter**

<b>Variant 1</b>					
<b>Material</b>	<b>Densitet t [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Porøsitet [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Varmekonduktivitet [W/mK]</b>	<b>Ekvivalent luftlagstykkelse S<sub>d</sub>-verdi [m]</b>	<b>Tykkelse [mm]</b>
RedAir-Isolasjon	60	0,95	0,033	0,26	200
PE-Folie	130	0,001	2,2	70	0,15
Stora Enso CLT Massivtre	410	0,74	0,098	2,64-40	80
<b>Variant 2</b>					
<b>Material</b>	<b>Densitet t [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Porøsitet [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Varmekonduktivitet [W/mK]</b>	<b>Ekvivalent luftlagstykkelse S<sub>d</sub>-verdi [m]</b>	<b>Tykkelse [mm]</b>
RedAir-Isolasjon	60	0,95	0,033	0,26	200
Stora Enso CLT Massivtre	410	0,74	0,098	2,64-40	80
<b>Variant 3</b>					
<b>Material</b>	<b>Densitet t [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Porøsitet [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Varmekonduktivitet [W/mK]</b>	<b>Ekvivalent luftlagstykkelse S<sub>d</sub>-verdi [m]</b>	<b>Tykkelse [mm]</b>
PE-Folie	130	0,001	2,2	70	0,15
RedAir-Isolasjon	60	0,95	0,033	0,26	200
Stora Enso CLT Massivtre	410	0,74	0,098	2,64-40	80
<b>Variant 15</b>					
<b>Material</b>	<b>Densitet t [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Porøsitet [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Varmekonduktivitet [W/mK]</b>	<b>Ekvivalent luftlagstykkelse S<sub>d</sub>-verdi [m]</b>	<b>Tykkelse [mm]</b>
RedAir-Isolasjon	60	0,95	0,033	0,26	200
AirGuard S	130	0,001	2,2	0,02-102,5	0,1
Stora Enso CLT Massivtre	410	0,74	0,098	2,64-40	80
<b>Variant 16</b>					
<b>Material</b>	<b>Densitet t [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Porøsitet [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Varmekonduktivitet [W/mK]</b>	<b>Ekvivalent luftlagstykkelse S<sub>d</sub>-verdi [m]</b>	<b>Tykkelse [mm]</b>
AirGuard S	130	0,001	2,2	0,02-102,5	0,1

RedAir-Isolasjon	60	0,95	0,033	0,26	200
Stora Enso CLT Massivtre	410	0,74	0,098	2,64-40	80

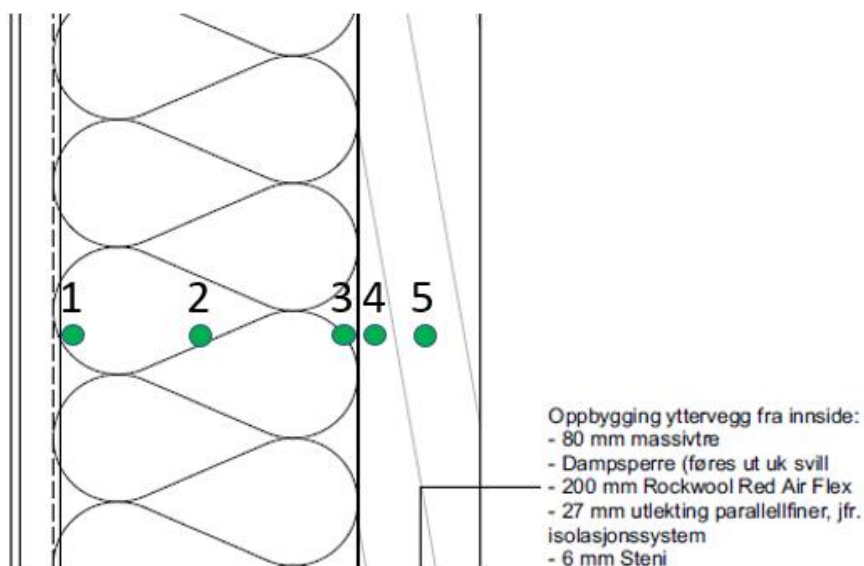
## 5.6 Monitorposisjoner

Under simuleringene har det blitt generalisert plassering av monitorposisjoner. En monitor kan sees som sensorer som måler blant annet temperatur og relativ fuktighet i hvert tidstrinn. For enkelhetsskyld har monitorene samme plassering i samtlige varianter. For å gjøre resultatdelen så enkel som mulig er det viktig å bemerke seg hvor ulike monitorposisjoner er.

De fem ulike monitorsjiktene som er lagt inn i simuleringsmodellen er plassert i henhold til Tabell 10 og Figur 17.

**Tabell 10- Plassering for ulike monitorsjikt**

Monitor	Plassering
1	Ytterst i isolasjonssjiktet
2	Midt i isolasjonssjiktet
3	Innerst i isolasjonssjiktet
4	Ytterst i massivtreet
5	Midt i massivtreet



**Figur 17- Plassering av ulike monitorposisjoner i utgangskonstruksjon**

Det blir alltid gjennomført en vurdering i totalt vanninnhold, vanninnhold i sjikt og samtlige monitorposisjoner. Totalt vanninnhold er vedlagt i vedlegg C. Vanninnhold i massivtreet er vedlagt i vedlegg D.

De mest interessante posisjonene er monitorsjikt 1, 3 og 4. Monitorposisjon 2 er midt imellom monitorposisjon 1 og 3. Posisjonen viser normalt gjennomsnittet av ytterpunktene, og er dermed ikke interessant. Monitorposisjon 4 er posisjonen som viser den mest kritiske posisjonen til massivtreet, og derfor den posisjonen som blir fokusert på med hensyn på massivtreet. Monitorposisjon 5 er plassert midt i massivtreet og har gjennomgående bedre resultat sammenlignet monitorposisjon 4, siden denne posisjonen er nærmere inneklimate som er tilnærmet konstant under beregningsperioden.

Vedlegg D viser som sagt vanninnhold i massivtreet som masseprosent. Her vises vanninnholdet for hele massivtreskjiven. Om det indikeres en masseprosent på for eksempel 15% er dette for hele massivtreskjiven. Således kan vanninnholdet i monitorposisjon 4 være høyere enn hva vedlegg D viser, og det kan likevel eksistere sannsynlighet for mugg- og råtedannelse. Derfor vil hovedfokuset være på monitorposisjon 4 videre i studien.

## 6 Resultater og drøfting

I dette kapitelet blir resultatene fra simuleringene presentert. Det vil også bli drøftet rundt resultatene jevnt som de legges frem. Dette kapitelet består altså både av resultater og drøfting. Målet med kapitelet er å presentere de mest interessante resultatene. Resultater som ikke er ansett som relevant eller interessant vil bli utelatt.

For å gjøre resultatdelen så oversiktlig som overhodet mulig forklares variantene for Trondheim mer grunnleggende sammenlignet med resterende beliggenheter. For vurdering av forskjeller mellom inneklime blir dataunderlaget fra WUFI hentet ut og sammenslått til en graf for bedre sammenligningsgrunnlag.

Resultat av totalt vanninnhold i hele konstruksjonen, og vanninnhold i masseprosent for massivtreskiven sees i vedlegg C og vedlegg D.

### 6.1 Gjennomgående faktorer

Det er enkelte momenter som går igjen i resultatdelen, og som vil berøre enkelte varianter opptil flere ganger. For å hindre gjentagende drøfting forklares faktorene i dette kapitlet.

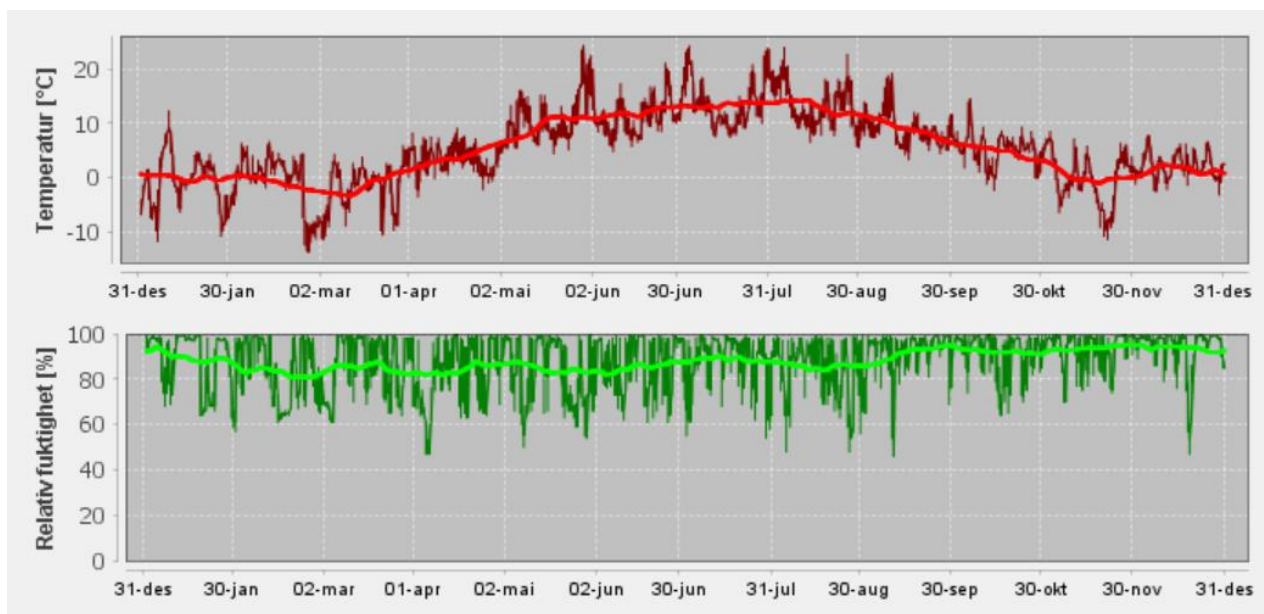
#### 6.1.1 Retning for fuktstrøm

Fuktransport gjennom diffusjon drives av differansen i damptrykk. Ved forskjellig inn- og uteklime vil det opptre forskjellig damptrykk. Diffusjon vil gå fra høy til lav konsentrasjon. I simuleringsfilen er det som nevnt tidligere lagt inn en amplitude for sinuskurven til både temperatur og relativ fuktighet, på henholdsvis en kelvin og tre prosent. Om man for enkelthetskyld ser bort fra amplituden kan det gis en indikasjon for når fuktstrømmen snur.

Med utgangspunkt i klimadata fra hver beliggenhet er det mulig å regne ut en indikasjon på dette. Dette er selvfølgelig bare en antagelse og kan variere fra år til år, men det gir en indikasjon på hvor lenge diffusjonen er inn- og utadrettet avhengig av hvilket inneklime som er satt.

Som presentert i 3.1.4 Uteluftas fuktinnhold varierer den relative fuktigheten i løpet av et år. Om våren er RF gjennomsnittlig lavere sammenlignet med høsten. Det er derfor valgt å bruke en differensiell RF for høst og vår for å finne veiledende damptrykk.

Fra klimadata hentet fra WUFI har Trondheim en midlere temperatur lik 5,4 °C. Variasjonen i temperatur ligger mellom 24,2 og -13,8 °C. Den relative fuktigheten ligger i gjennomsnitt på 88,1%. Et bilde av klimaet er gitt i Figur 18. Som det kommer frem fra figuren ligger RF stabilt over 80% gjennom hele året. RF ligger noe lavere på våren, sammenlignet med høsten.



**Figur 18- Klimadata for Trondheim**

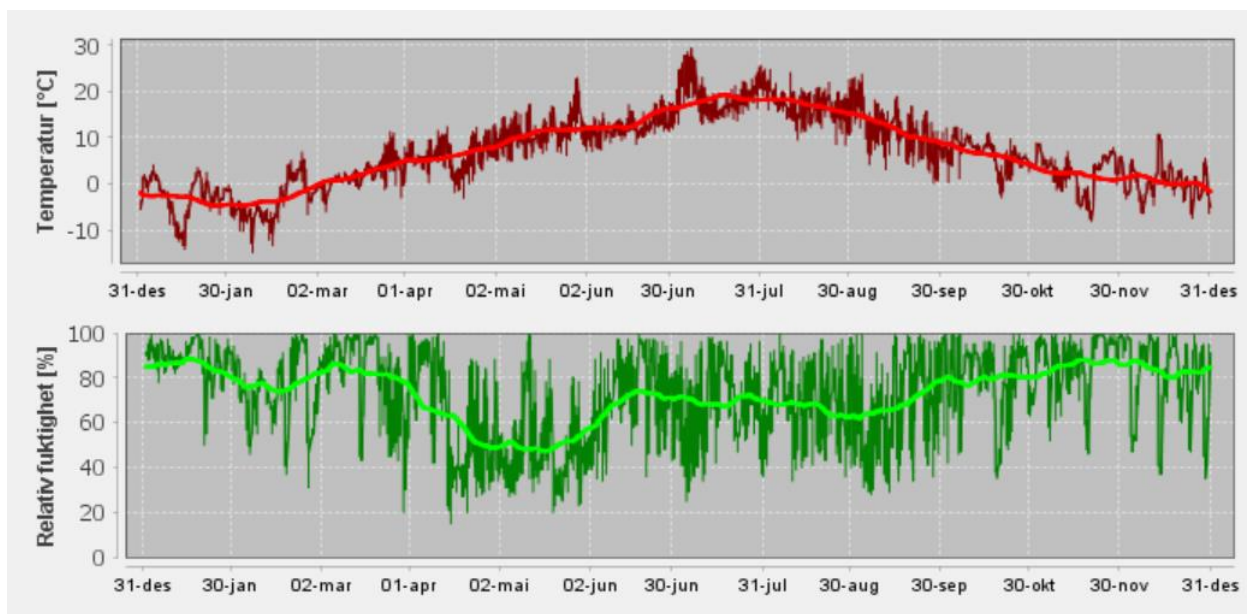
I Trondheim er det valgt å bruke en RF på 82% om våren, og 92% om høsten som veiledende damptrykk for å finne grense for innadrettet fuktstrøm. Damptrykket for hvert inneklime sees i Tabell 11. I perioden der damptrykket i inneklimate er lavere enn uteklimate vil det være innadrettet fukttransport.

**Tabell 11- Grense for innadrettet fuktstrøm for Trondheim**

Inneklime	Damptrykk [Pa]	Grense Temperatur (Vår-høst) [°C]	Periode for innadrettet fukttransport
12 °C og 50% RF	701	4,7-3,1 °C	20.april til 01.november
10 °C og 55% RF	675	4,2-2,6 °C	15.april til 03.november
8 °C og 60% RF	643	3,5-1,9 °C	10.april til 05.november

Ut fra dette indikeres det at omtrentlig halvparten av året går diffusjonen fra uteklime til inneklime.

Oslo har en midlere temperatur lik 6,8 °C. Variasjonen i temperatur ligger mellom 29,3 og -14,8 °C. Den relative fuktigheten ligger i gjennomsnitt på 73,1%. Et bilde av klimaet er gitt i Figur 19. Som det kommer frem fra figuren er det i gjennomsnitt en god del varmere om sommeren sammenlignet med Trondheim. I tillegg er det større variasjoner for RF, der RF går ned til 50% i april/mai.



**Figur 19- Klimadata for Oslo**

I Oslo er det valgt å bruke en RF på 80 % om våren, og 80 % om høsten som veiledende damptrykk for å finne grense for innadrettet fuktstrøm. Resultatet av dette sees i Tabell 12.

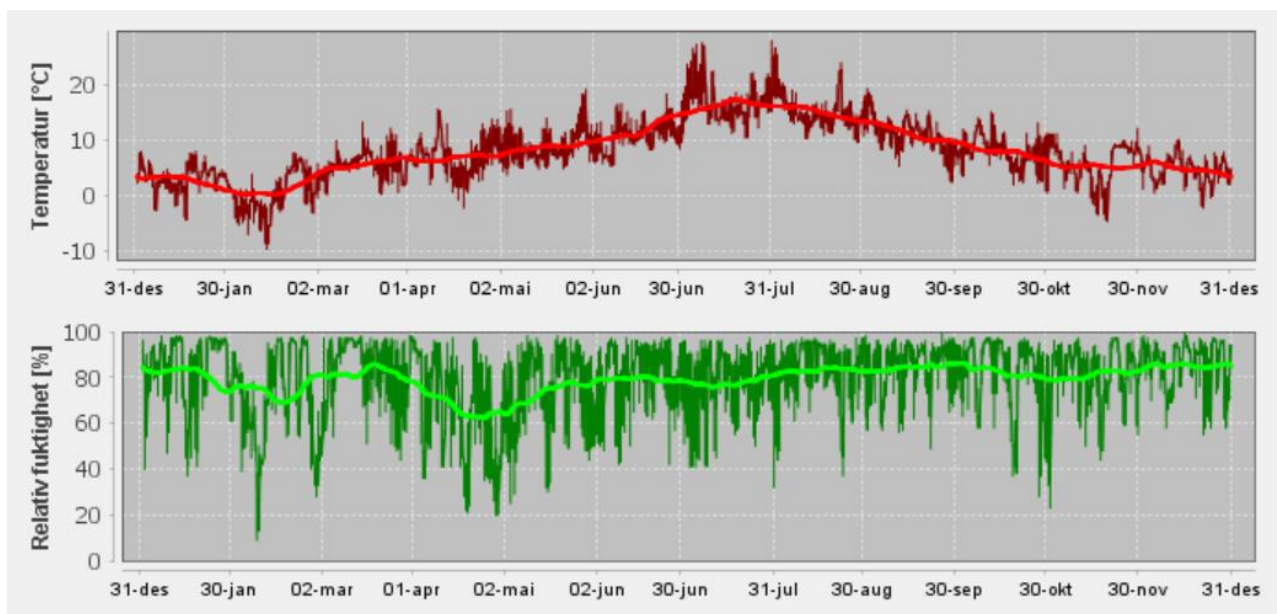
**Tabell 12-Grense for innadrettet fuktstrøm for Oslo**

Inneklima	Damptrykk [Pa]	Grense Temperatur (Vår-høst) [°C]	Periode for innadrettet fukttransport
12 °C og 50% RF	701	5,1-5,1	10.april til 25.oktober
10 °C og 55% RF	675	4,5-4,5	25.mars til 30.oktober
8 °C og 60% RF	643	3,8-3,8	20.mars til 05.november

Fra tabellen sees det en lengre innadrettet fukttransportperiode sammenlignet med Trondheim. Periode for innadrettet fukttransport er noe over halve året, men siden sommerhalvåret er mye fuktigere sammenlignet med vinterhalvåret er majoriteten av fukttransporten innover rettet.

Bergen har en midlere temperatur lik 8,1 °C. Variasjonen i temperatur ligger mellom 28,0 og -9,7 °C. Den relative fuktigheten ligger i gjennomsnitt på 79,2%. Et bilde av klimaet er gitt i Figur 20.





**Figur 20- Klimadata for Bergen**

I Bergen er det valgt å bruke en gjennomsnittlig RF på 80% om våren, og 85% om høsten som veiledende damptrykk for å finne grense for innadrettet fuktstrøm. Resultatet av dette sees i Tabell 13.

**Tabell 13-Grense for innadrettet fuktstrøm for Bergen**

Inneklima	Damptrykk [Pa]	Grense Temperatur (Vår-høst) [°C]	Periode for innadrettet fukttransport
12 °C og 50% RF	701	5,1-4,2	15.april til 20.desember
10 °C og 55% RF	675	4,5-3,7	01.april til 15.januar
8 °C og 60% RF	643	3,8-3,0	20. Februar til 20.januar

Tabell 13 viser at perioden for innadrettet fukttransport er mye lengre sammenlignet med de andre klimaene. Gjennomsnittstemperaturen i Bergen ligger på 8,1 °C. Dette er langt høyere enn både Oslo og Trondheim. Dette er hovedårsaken til en såpass lang innadrettet fuktperiode. For et inneklima med 8 °C og RF=60% indikeres det elleve måneders periode for innadrettet fukttransport.

### 6.1.2 Temperatur for monitorposisjon 1 og massivtreet

En annen faktor som varierer med innetemperatur og uteklima er temperaturen til massivtreet. Monitorposisjon 4 viser hvordan temperaturen varierer over året. Variasjonen skyldes til dels amplituden innlagt i sinuskurven som er en kelvin, men majoriteten skyldes variasjon i uteklimaet.

Siden temperaturen er avhengig av geografisk beliggenhet er det noe variasjon for ulike beliggenhet. Temperatur for Bergen ligger rundt en halv grad over Trondheim. Oslo ligger midt imellom Trondheim og Bergen.

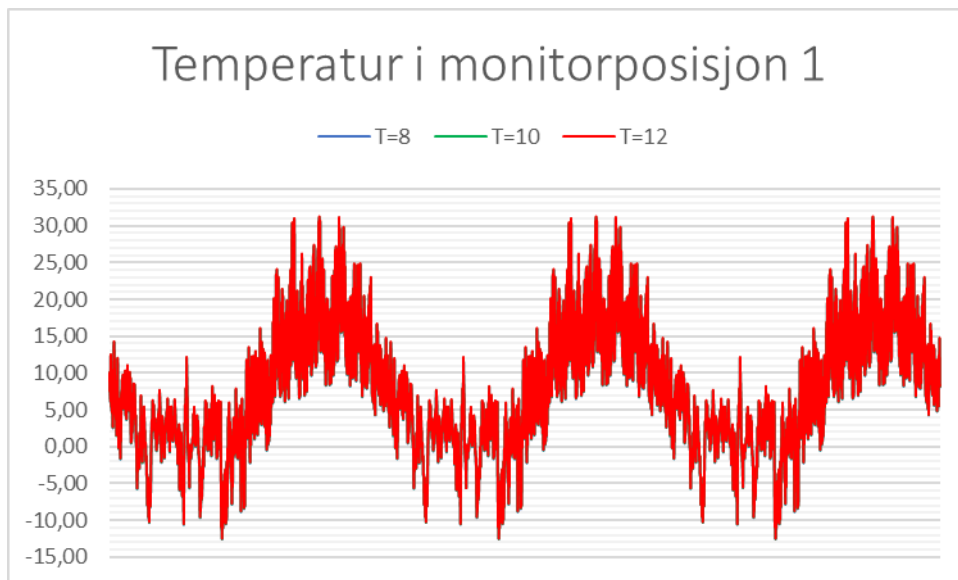
For enkelhetsskyld samles variasjon av temperatur i en tabell.

**Tabell 14- Temperaturvariasjon for massivtre**

Inneklima	Temperatur for massivtreet [°C]
12 °C og 50% RF	9-15
10 °C og 55% RF	7-13
8 °C og 60% RF	5-11

Temperatur på massivtreet vil ha stor påvirkning på temperatur til monitorposisjon 3 og 4. Metningsinnholdet vil synke betraktelig med lave temperaturer, og dermed skape høy relativ fuktighet. Problematikk vil være under sommeren når utvendig luftfuktighet er høy, og det er innover rettet fuktstrøm. Da vil det i verste fall oppstå kondensasjon av fritt vann.

Temperatur i monitorposisjon 1 sees i Figur 21. Som det fremkommer fra figuren er temperaturen lik uavhengig av inneklima.



**Figur 21- Temperatur for monitorposisjon 1 for Trondheim**

Årsaken for en lik temperaturgraf for de ulike inneklimateene er konstruksjonens høye varmemotstand på 6,62 m<sup>2</sup>K/W mellom monitorposisjon 1 og inneklimateet. En endring i inneklimateet på maksimalt fire grader har lite å si på temperaturen i monitorposisjon 1. Alle varianter har samme varmemotstand, og det antas dermed ikke noe forskjell i temperaturgraf for monitorposisjon 1 for andre varianter.

Det vil bli vedlagt egen temperaturgraf for monitorposisjon 1, der temperaturen er lik uavhengig av inneklimateet. For andre monitorposisjoner vil innetemperatur variere med temperaturen i aktuell monitorposisjon. Det vil ikke bli vedlagt egen temperaturgraf for hvert inneklimateet da dette skaper en uoversiktlig figur. Temperatur i monitorposisjon for aktuelt inneklimateet vil dermed bli opplyst gjennom tekst tilknyttet aktuell figur.

For mer detaljerte verdier for temperatur for ulike inneklimateet for ulike beliggenheter se vedlegg B.

### 6.1.3 Motstand for vanndampdiffusjon for massivtre

Vanndampmotstand til trevirke varierer med relativ fuktighet. Materialdata til massivtreet brukt i beregningsmodellen er hentet fra WUFI. Materialdata brukt i WUFI er levert av Stora Enso, en stor leverandør av massivtreelementer.

Verdiene for motstand av vanndampdiffusjon er som presentert i Tabell 15.

**Tabell 15- Motstand for vanndampdiffusjon for 80 mm Stora Enso CLT**

RF [%]	$\mu$	$S_d$ [m]
0	500	40
18	272	21,76
25	190	15,2
63	52	4,16
71	33	2,64

Med grunnlag i Tabell 15 og interpolasjon gir det følgende motstandsverdier for vanndampdiffusjon til massivtreet for ulike inneklime brukt i beregningene.

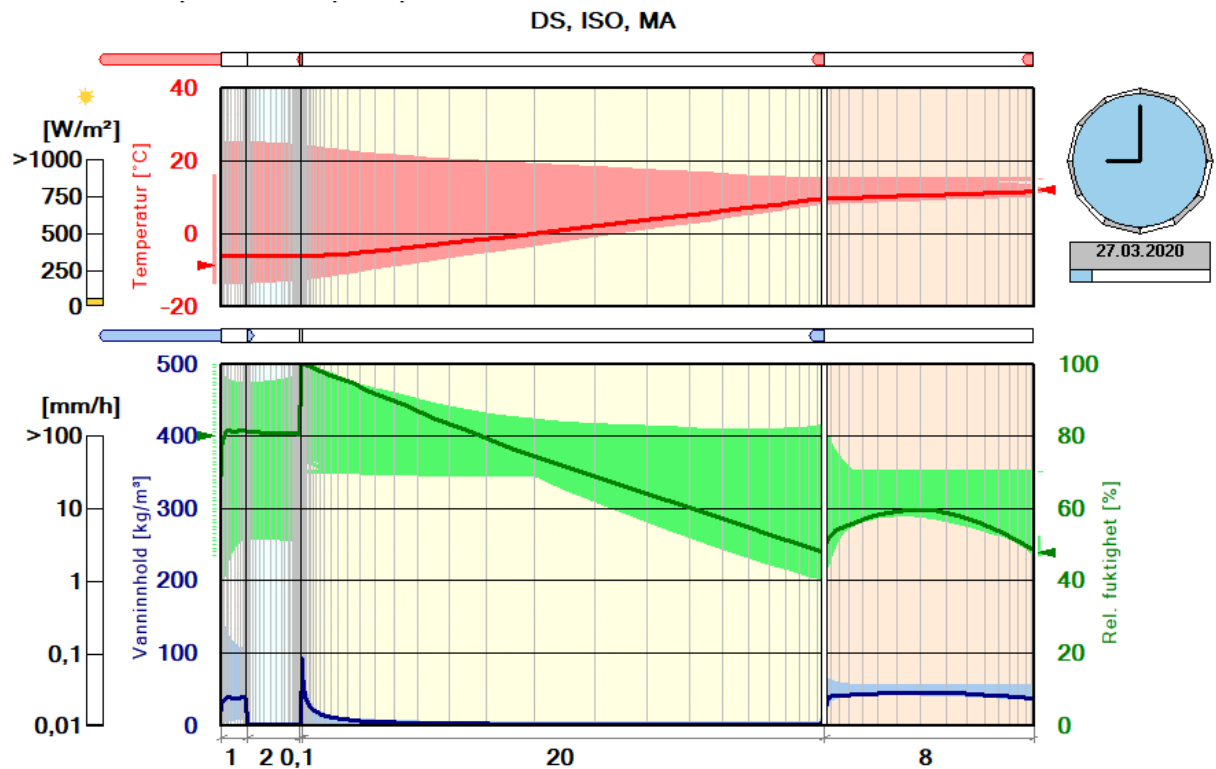
**Tabell 16- Motstand for vanndampdiffusjon for ulike inneklime brukt i beregningene**

Inneklime	$S_d$ [m]
12 °C og 50% RF	6,4
10 °C og 55% RF	5,6
8 °C og 60% RF	4,7

Som det kommer frem fra Tabell 16 gir massivtreet differensielle verdier for vanndampmotstand. Dette har mest å si når dampspærren ikke ligger mellom isolasjonen og massivtreskjiven. Når det ikke er noe sjikt som sperrer mellom massivtreet og isolasjonen vil konstruksjonen «puste» mer og dermed transportere med fuktighet. Dette vil resultere i varierende RF og med det ulik motstand for vanndampdiffusjon for massivtreet. I prinsipp vil massivtreet fungere som en fuktregulerende dampspærre.

### 6.1.4 Virkelige fuktighetsverdier

I resultatkapitlet blir det lagt frem grafer av relativ fuktighet for ulike posisjoner i konstruksjonen. Beregningsperiode er satt til tre år. For å få en lesbar graf er det ikke mulig å se ytterpunktene i små tidsperioder. Dette resulterer i at figurene aldri går opp til 100% RF. I realiteten er ikke dette riktig. Fra Figur 22 ser man hvordan momentansituasjonen er 27.03.2020 for variant 3. Her vises det en RF (grønn) tilsvarende 100% helt ytterst mot dampspærren. I tillegg ser man at det allerede har kondensert fritt vann i samme posisjon.



Figur 22-Videoanimasjon av variant 3 med 12 °C og RF=50% for Trondheim

## 6.2 Trondheim

Resultat fra Trondheim presenteres gjennom en figur der verdier fra samtlige inneklimate er inkludert. Figuren inneholder verdier av relativ fuktighet gjennom tre år, der simuleringstarten er satt 01.10.2020.

Grafene til forskjellige inneklimate i figurene er navngitt etter temperatur. Det vil si et inneklimate med 8 °C og RF=60% vises som T=8 i figurene. Videre er et inneklimate med 10 °C og RF=55% navngitt ved T=10, og et inneklimate med 12 °C og RF=50% navngitt ved T=12.

For anbefaling av ulike varianter vurderes de til en av følgende vurdering:

**Gunstig**- Det er ingen indikasjon for muggdannelse.

**Lite kritisk**- Det er liten risiko for muggdannelse.

**Noe kritisk**- Det er verdier som er under kritisk muggvekstnivå, men som kan med fukttilskudd fra lekkasjer og konveksjon gi kritiske verdier.

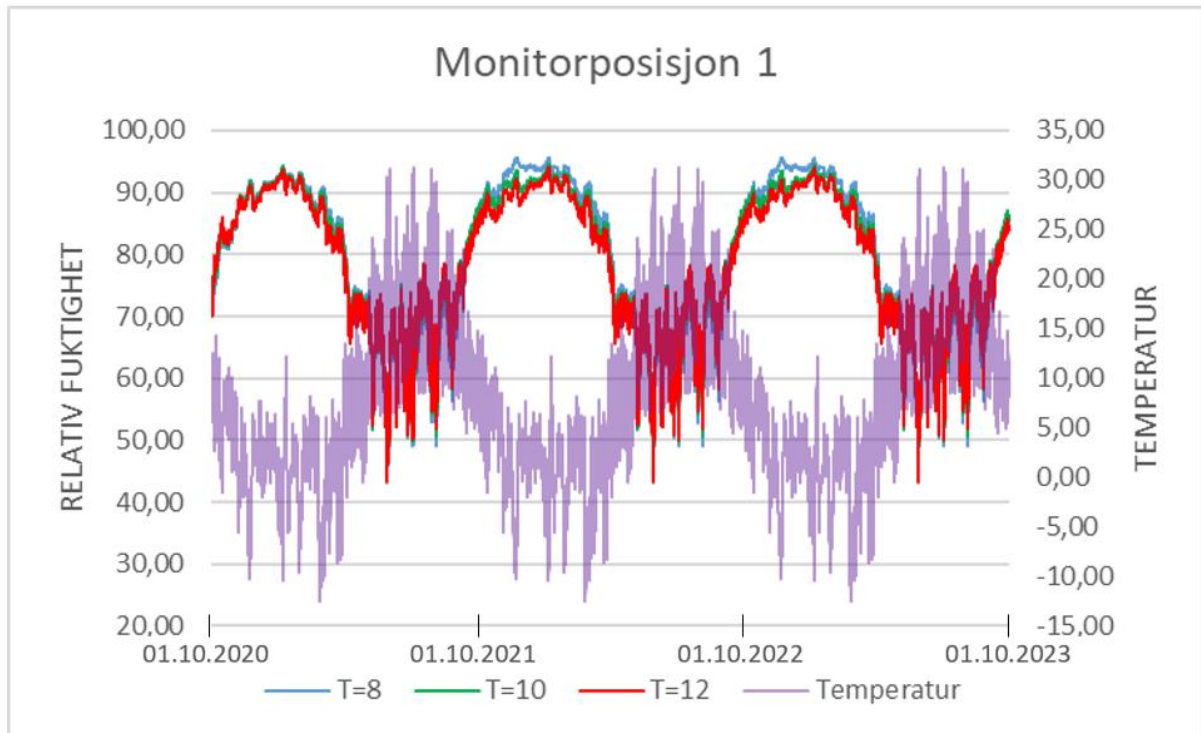
**Kritisk**- Det er kritiske verdier. Verdiene alene overskrider kritiske fuktverdier satt av Figur 3- Kritisk muggvekstnivå

**Svært kritisk**- Det er kritiske verdier som overskrider nivået satt i Figur 3, samtidig som det eksisterer stor sannsynlighet for kondensasjon av fritt vann.

### 6.2.1 Variant 1- ISO, DS og MA

Variant 1 er bygd opp av utvendig kledning, luftesjikt, isolasjon, dampsperre og massivtre.

Resultatet fra monitorposisjon 1 vises i Figur 23. Figuren viser en relativ fuktighet over 80% i overkant av seks måneder. Toppunktet er stabilt år til år, og ligger på omtrent 94%. Temperaturen varierer fra -10 °C til 10 °C i løpet av perioden der RF overstiger 80%. Ut fra figuren ser man at det er om vinteren RF er høy.



**Figur 23- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 1 i Trondheim over tre år**

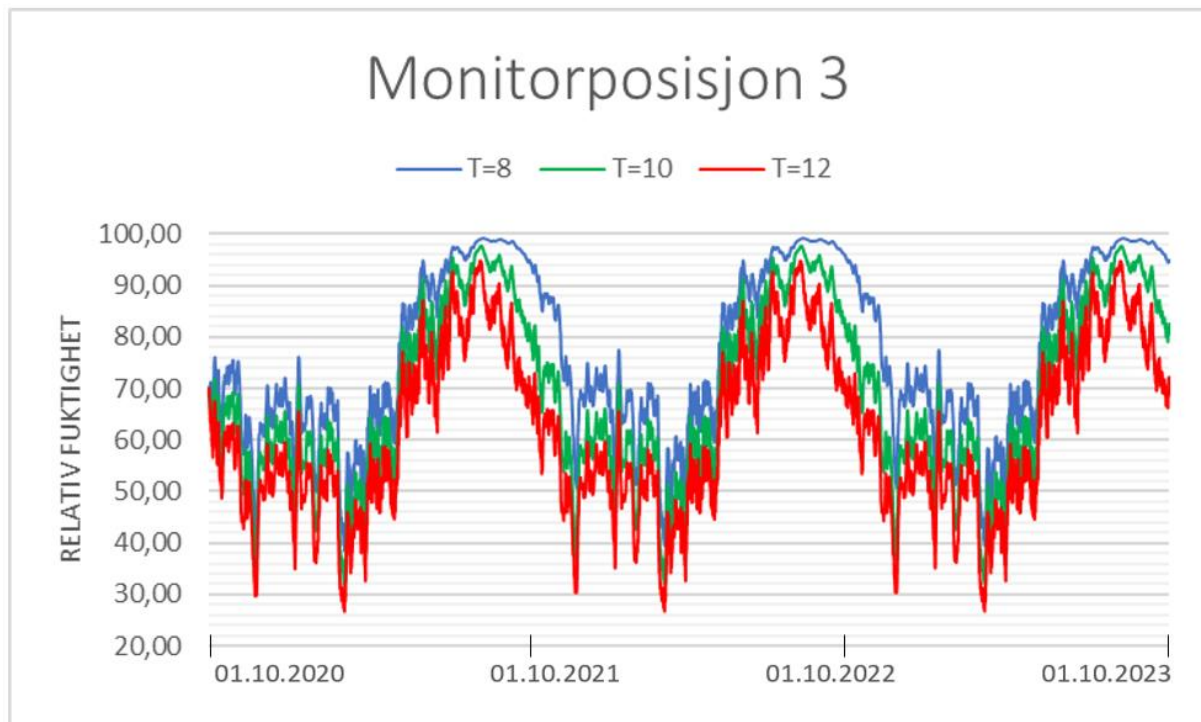
**Vurdering** av monitorposisjon 1 for variant 1 viser en høy relativt fuktighet over en lengre periode. Under denne perioden er temperaturen lav, og en vurdering i henhold til kritiske fukkriterier i Figur 3 foreligger det noe sannsynlighet for muggdannelse.

Som det kommer frem fra Figur 23 er det relativt like resultater for ulike inneklimate. Likevel vises et inneklimate med 8 °C og RF=60% høyere relativ fuktighet under vinteren sammenlignet med de to resterende inneklimate. Som det er presentert i 6.1.2 er temperaturen lik i monitorposisjon 1. Forskjellen i resultatene skyldes dermed fuktighetsnivå i inneluften. Det er mindre absolutt fuktighet i luften ved 8 °C og RF=60%, men høyere relativ fuktighet. Høyere relativ fuktighet reduserer motstand for vandampdiffusjon gjennom massivtreet, og virker å være utslagsgivende for at RF er høyere i monitorposisjon 1 for dette klimaet, likevel om fuktinnholdet i inneluften er lavere.

En endring i inneklimate fra 12 °C og RF=50% RF til 10 °C og RF=55% har liten betydning for de fukttekniske verdiene i monitorposisjon 1. Fuktinnholdet har en endring fra 5,33 g/m<sup>3</sup> til 5,16 g/m<sup>3</sup>. Endringen er relativt liten, i tillegg ligger det også en PE-folie med vandampmotstand på 70m mellom inneklimate og monitorposisjon 1. Dette gjør at svært lite fuktighet transporteres ut i konstruksjonen, og derfor er endringen marginal.

Konstruksjonen har høy utadrettet uttørking på grunn av svært liten motstand for vandampdiffusjon utvendig. Dette påvirker positivt på konstruksjonen når fuktstrømmen er utadrettet.

**Resultat** fra monitorposisjon 3 sees i Figur 24. Figuren viser en meget høy relativ fuktighet. Maksimal relativ fuktighet fra høy til lav innetemperatur ligger på 95%, 97% og 99%. Perioden RF er over 80% fra høy til lav innetemperatur ligger i underkant av tre måneder, tre måneder og seks måneder. Verdiene er stabile år til år. Temperaturvariasjonen for hvert inneklime i monitorposisjon 3 følger Tabell 14- Temperaturvariasjon for massivtre, eller sees i temperaturen i detalj i vedlegg B. Ut fra figuren ser man at det er under sommeren RF blir høy.



**Figur 24- RF for monitorposisjon 3 for variant 1 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 avhenger noe av inneklime. For et inneklime tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til kritiske fuktverdier. Bakgrunnen for dette er RF>80% over tolv uker der temperaturen er fra 13-15 °C. For et inneklime lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til svært kritiske fuktverdier. Ved dette inneklime vil det foreligge en høy relativ fuktighet over 18 uker der temperaturen er mellom 10-13 °C. I tillegg er maksimal RF 97% og svært nære metning. Til slutt er et inneklime tilsvarende 8 °C og RF=60% vurderer til svært kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 25 uker der temperaturen er fra 7-11 °C. I tillegg ligger maksimal relativ fuktighet opp mot 99% og er svært nære metning. Det foreligger stor sannsynlighet for kondensasjon og muggdannelse.

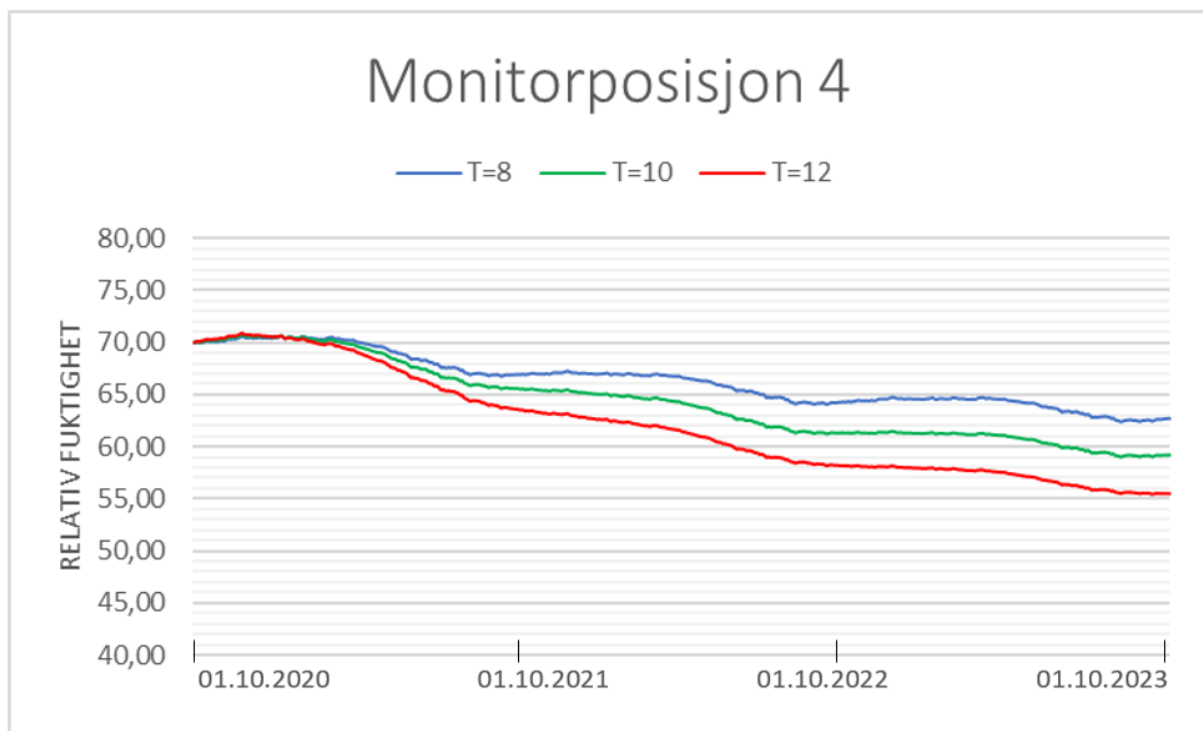
Siden varmemotstanden til massivtreet er 0,812 m<sup>2</sup>K/W, bare 12,3% av R<sub>total</sub> vil monitorposisjon 3 bli betraktelig påvirket av inneklime. En variasjon i inneklime vil påvirke temperaturen i massivtreet i henhold til Tabell 14- Temperaturvariasjon for massivtre. Som Formel 1 viser er RF forholdet mellom vandampkonsentrasjon og metningskonsentrasjon. Som det kommer frem i Figur 4- Mollier diagram er igjen metningskonsentrasjon avhengig av temperatur. Når temperaturen reduseres vil også

metningskonsentrasjon reduseres. Dette fører til en reduksjon i nevner som resulterer i høyere RF. Det er akkurat dette som skjer i monitorposisjon 3. Temperaturforskjellen er hovedfaktoren bak en differensiell RF for de ulike inneklimate.

En annen faktor som påvirker fuktverdiene i monitorposisjon 3 er lengden på innadrettet fuktstrøm. Dette er forklart og illustrert i kapittel 6.1.1-Retning for fuktstrøm. Kort fortalt er det forskjellen i trykk for ute- og inneklimate som driver diffusjonen. Dette påvirker fuktstrømretning og hvilke uttørkingsforhold som ligger til grunn for konstruksjonen. Ved en reduksjon i temperatur og duggpunkt synker damptrykket som resulterer i en lengre periode med innadrettet fuktstrøm. I henhold til indikasjonen presentert i Tabell 11 øker perioden med 15 dager ved en endring fra 12 °C og RF=50% til 8 °C og RF=60%.

Dette viser at monitorposisjon 3 for variant 1 har større sannsynlighet for muggdannelse med lavere temperatur og duggpunkt.

**Resultat** fra monitorposisjon 4 vises i Figur 25. Som det kommer frem fra figuren er den relative fuktigheten avtagende og virker bare påvirker av variasjonen moderert for inneklimate. Nivået ligger fra 70% til 55%.



**Figur 25- RF for monitorposisjon 4 for variant 1 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 4 er vurderer til meget gunstig. Det foreligger ingen indikasjon på muggdannelse i denne posisjonen. Dette er gjennomgående for monitorposisjon 4 for variant 1, og vil ikke bli drøftet videre i rapporten. Bakgrunnen for dette er motstanden for vandampdiffusjon for PE-folie. Den høye vandampmotstanden til PE-folien resulterer at monitorposisjon 4 og massivtreet nesten er upåvirket av uteklimate. Plastikken skjermer massivtreet for fuktighet fra uteklimate.

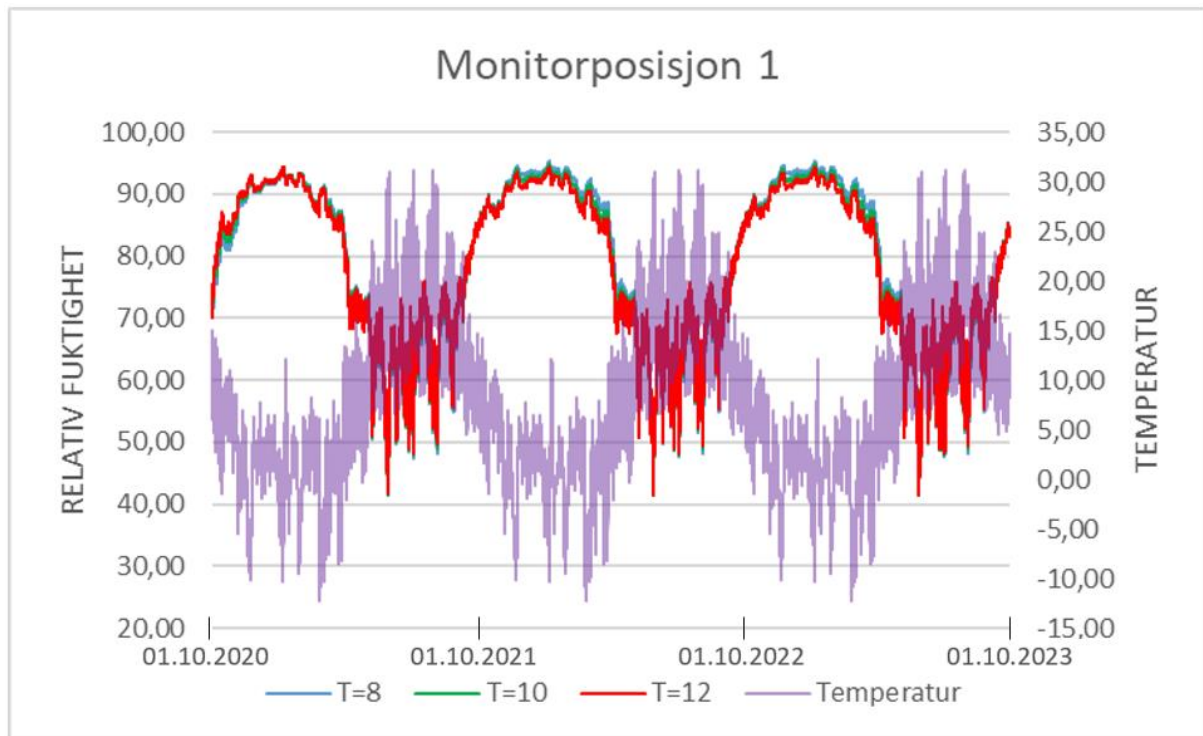
**Oppsummert** er ikke denne varianten å anbefale. Varianten har kritiske fukttekniske forhold i monitorposisjon 3 og er dermed ansett som en ugunstig variant. Det eksisterer også høy sannsynlighet for kondensasjon av fritt vann i monitorposisjon 3. Det sees en

klar forverring ved en reduksjon i temperatur. Man kan derfor konkludere med at desto kaldere inn klima, desto høyere sannsynlighet for muggdannelse for variant 1.

## 6.2.2 Variant 2- ISO og MA

Variant 2 er bygd opp av utvendig kledning, luftesjikt, isolasjon og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 1 sees i Figur 26. Fra figuren vises det meget like verdier for samtlige inn klima. Som figuren viser er det høy RF i løpet av vinteren. Toppunktet for RF er 93% og ligger over 80% i seks måneder. Temperaturen ligger fra -10 til 10 C i denne perioden. Det er ingen endring i fuktnivå over tre sesonger.



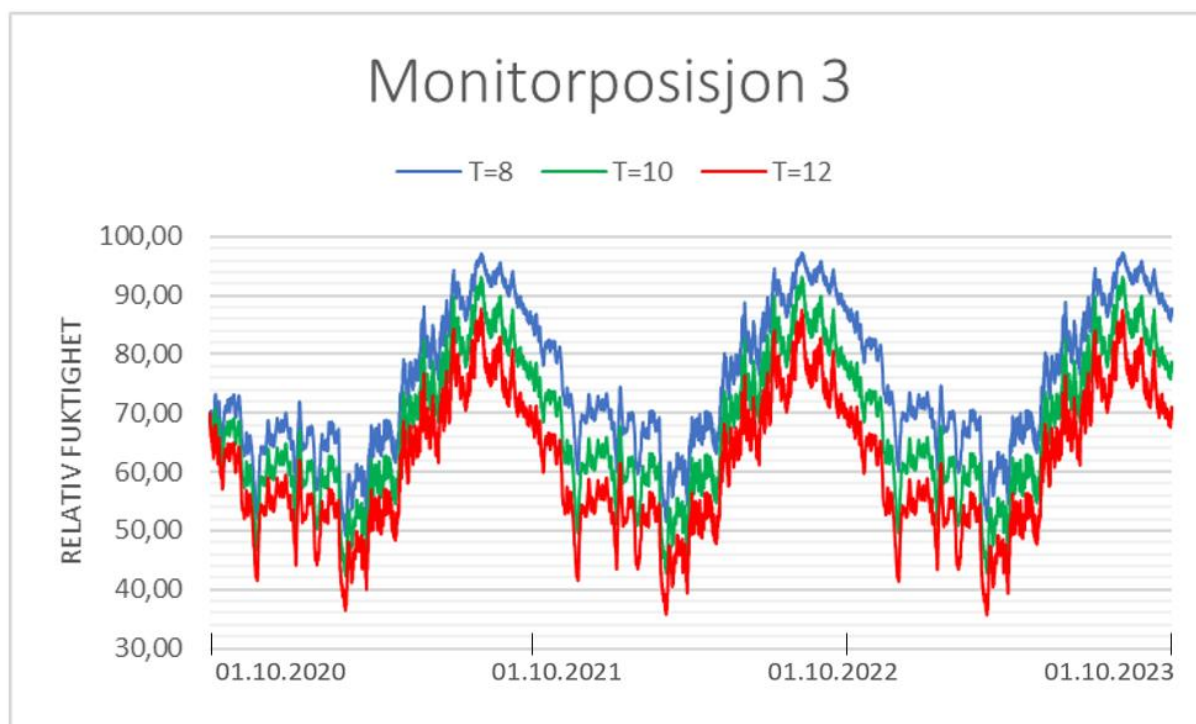
**Figur 26- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 2 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 1 med hensyn på RF, temperatur og tid gir monitorposisjon 1 noe sannsynlighet for muggdannelse. Konstruksjonen har høy utadrettet uttørking på grunn av marginal utvendig motstand for vanndampdiffusjon. Dette påvirker positivt på konstruksjonen. Likevel vil RF og temperatur vær såpass høy, i løpet av september og oktober, at det vil eksistere mulighet for muggdannelse i gitte perioder. Vurderingen er gjeldene for alle inn klima.

Variant 2 har meget gode utadrettet uttørking, men til og med da foreligger det noe sannsynlighet for muggdannelse. Dette har en sammenheng med den høye varmemotstanden og uteklimaet. Uteklimaet er fuktig og det er naturlig at monitorposisjon 1 er preget av dette. I tillegg er temperaturen i monitorposisjon 1 lite preget av temperaturen inne i ishallen. Om det har vært mindre varmemotstand/isolasjon i varianten ville temperaturen i monitorposisjon 1 ha økt. På den måten vil RF ha vært lavere. Ut fra dette kan man faktisk anta at den høye varmemotstanden til konstruksjonen påvirker negativt for fuktforholdene i monitorposisjon 1.



**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 27. Som figuren viser varierer relativ fuktighet for forskjellige inneklima. Maksimalt relativ fuktighet fra høy til lav innetemperatur er 86%, 94% og 97%. Perioden RF er over 80% fra høy til lav innetemperatur ligger rundt en og en halv måned, to måneder og overkant av fem måneder. Verdiene er stabile fra år til år. Temperaturen varierer etter inneklima og følger Tabell 14. Det er under sommeren den kritiske perioden oppstår.



**Figur 27- RF for monitorposisjon 3 for variant 2 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 varierer etter inneklima. For et inneklima tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til lite kritiske fukttekniske forhold. Relativ fuktighet går over 80% i tre små perioder i løpet av en sesong. Det foreligger ingen risiko for muggdannelse i disse korte periodene. For et inneklima lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til noe kritiske fuktverdier. Ved dette inneklima vil det foreligge en høy relativ fuktighet over åtte uker der temperaturen er mellom 11-14 °C. Til slutt er et inneklima tilsvarende 8 °C og RF=60% vurderer til svært kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 21 uker der temperaturen er fra 7-9 °C.

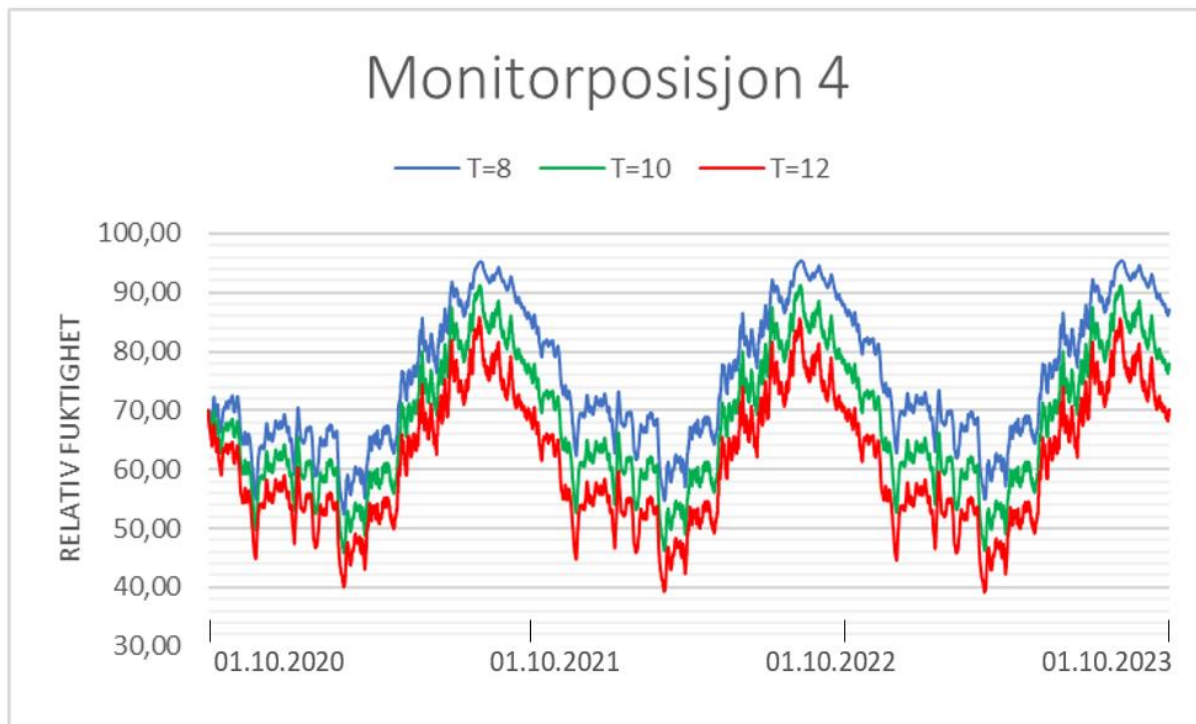
For monitorposisjon 3 er trenden meget tydelig. Reduksjon i temperatur og duggpunkt for inneklimaet viser en klar forverring av de fukttekniske forholdene. Ved en reduksjon fra inneklima med 12 °C til 8 °C øker perioden der RF er over 80% fra tre små perioder til seks måneder.

Grunnen til dette er temperaturreduksjon og dermed en økning i relativ fuktighet. Det er mindre absolutt fuktinnhold i inneklimaet, men siden temperaturen er redusert vil fuktkapasitet til luften være mindre enn ved høyere temperaturer. Denne temperaturendringen gir en direkte konsekvens på den relative fuktigheten i ugunstig favør.

Det er under sommerhalvåret problemet oppstår i monitorposisjon 3. Fuktstrømmen er da innadrettet. Ettersom uteklimaet er betraktelig varmere sammenlignet med inneklimaet synker temperaturen desto lengre inn i konstruksjonen man kommer. Dette

reduserer luftens metningspunkt og øker den relative fuktigheten. Temperaturen på massivtreet har stor betydning for fukttekniske forhold i monitorposisjon 3

**Resultat** fra monitorposisjon 4 sees i Figur 28. Fra figuren sees det temmelig like resultater som fra monitorposisjon 3. Maksimal relativ fuktighet fra høy til lav innetemperatur ligger på 85%, 91% og 95%. Lengden på perioden der RF er over 80% er, fra høy til lav innetemperatur, halv måned, tre måneder og underkant av seks måneder. Det foreligger ingen økning eller reduksjon i RF fra sesong til sesong.



**Figur 28- RF for monitorposisjon 4 for variant 2 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** for monitorposisjon 4 varierer etter inneklima, men er meget lik som for monitorposisjon 3. Verdiene er noe redusert med tanke på monitorposisjon 3. Vurdering gjort for monitorposisjon 3 er likevel gjeldende for monitorposisjon 4.

Bakgrunnen for de like verdiene er for at det ikke eksisterer noe sjikt med høy vanddampmotstand mellom isolasjonen og massivtreet. I tillegg er monitorene under en centimeter unna hverandre. Dette fører til at monitorposisjon 4 følger resultatene til monitorposisjon 3 i stor grad.

Massivtreets motstand for vanddampdiffusjon vil således variere i henhold til Tabell 15. Dette gjør av massivtreet vil fungere som en fuktregulerende dampspærre. Massivtreet vil få mindre motstand for vanddampdiffusjon under sommerhalvåret da fuktstrømmen er innadrettet og RF høyst.

For monitorposisjon 4 foreligger det en forverring i forholdene ved en reduksjon i temperatur og duggpunkt. Hovedfaktoren for denne forverringen er endringen i temperatur. Ut fra Figur 3 sees dette som kritisk endring i fuktforhold.

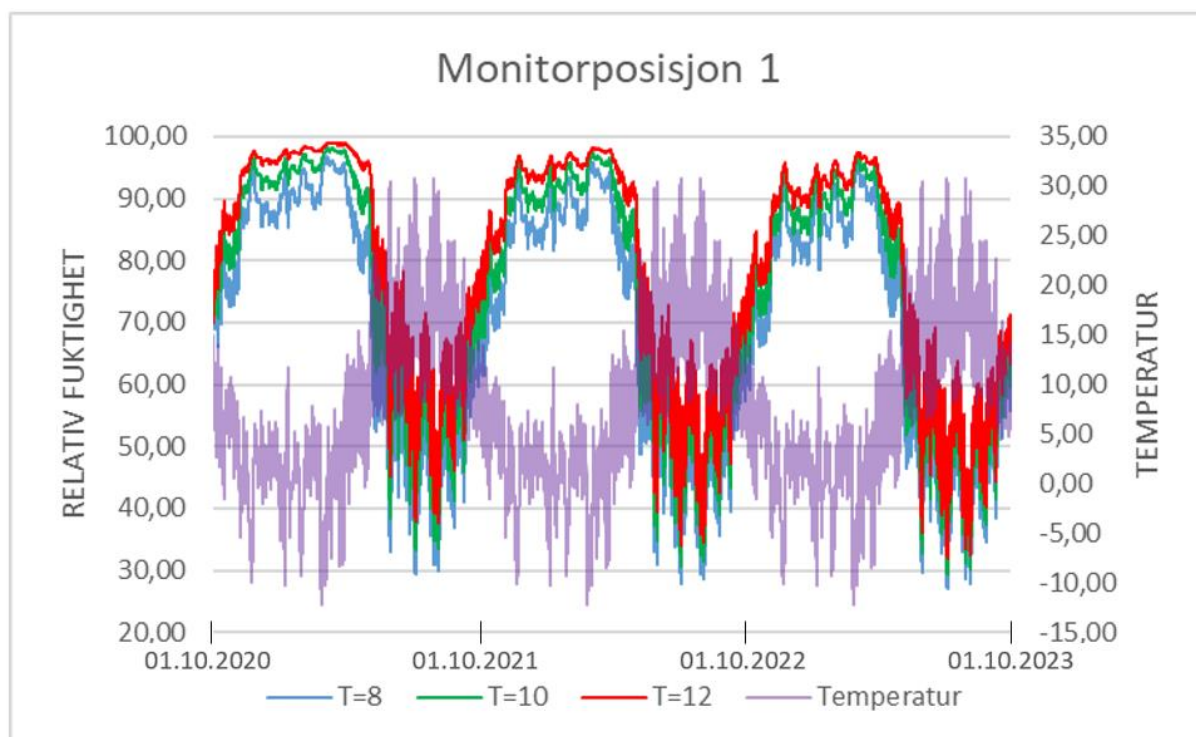
**Oppsummert** varierer anbefalingen av varianten etter inneklima. For et inneklima lik 12 °C og RF=50% vil det foreligge liten risiko for muggdannelse etter resultatene. Mens for

et inneklime lik 8 °C og RF=60% vil det eksistere kritiske fuktforhold i monitorposisjon 3 og 4. Varianten kan anbefales om det styres mot et inneklime med høy temperatur.

### 6.2.3 Variant 3- DS, ISO og MA

Variant 3 er bygd opp av utvendig kledning, luftesjikt, dampspærre, isolasjon og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 1 vises i Figur 29. Som figuren viser er RF meget høy og varierer noe for de ulike variantene. Fra høy til lav inneklime er maksimal relativ fuktighet på 99%, 98% og 96%. Perioden der RF er over 80% er fra høy til lav inneklime, sju måneder, seks måneder og seks måneder. Under disse periodene varierer temperaturen fra -12 °C til 22 °C. Det foreligger en liten reduksjon i fuktighetsnivå over simuleringsperioden.



**Figur 29- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 3 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 1 varierer noe etter inneklime. For et inneklime tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til svært ugunstige fukttekniske forhold. Relativ fuktighet er over 80% i 27 uker i løpet av en sesong. I tillegg foreligger det høy sannsynlighet for kondensasjon av fritt vann i løpet av vinteren. For et inneklime lik 10 °C og RF=55% er det vurdert til kritiske fuktverdier. Ved dette inneklime vil det foreligge høy relativ fuktighet over 24 uker i løpet av en sesong. Det vil også eksistere høy sannsynlig for kondensasjon. Til slutt er et inneklime tilsvarende 8 °C og RF=60% vurderer til kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 23 uker.

Relativ fuktighet i inneklime øker ved lavere duggpunkt og temperatur. Eksempel på dette er et inneklime lik 8 °C og RF=60%. Ved dette inneklime har massivtreet en lavere motstand for vandampdiffusjon. Dette fører til høyere fukttransport begge retninger. Likevel er RF lavest i monitorposisjon 1 for dette inneklime.

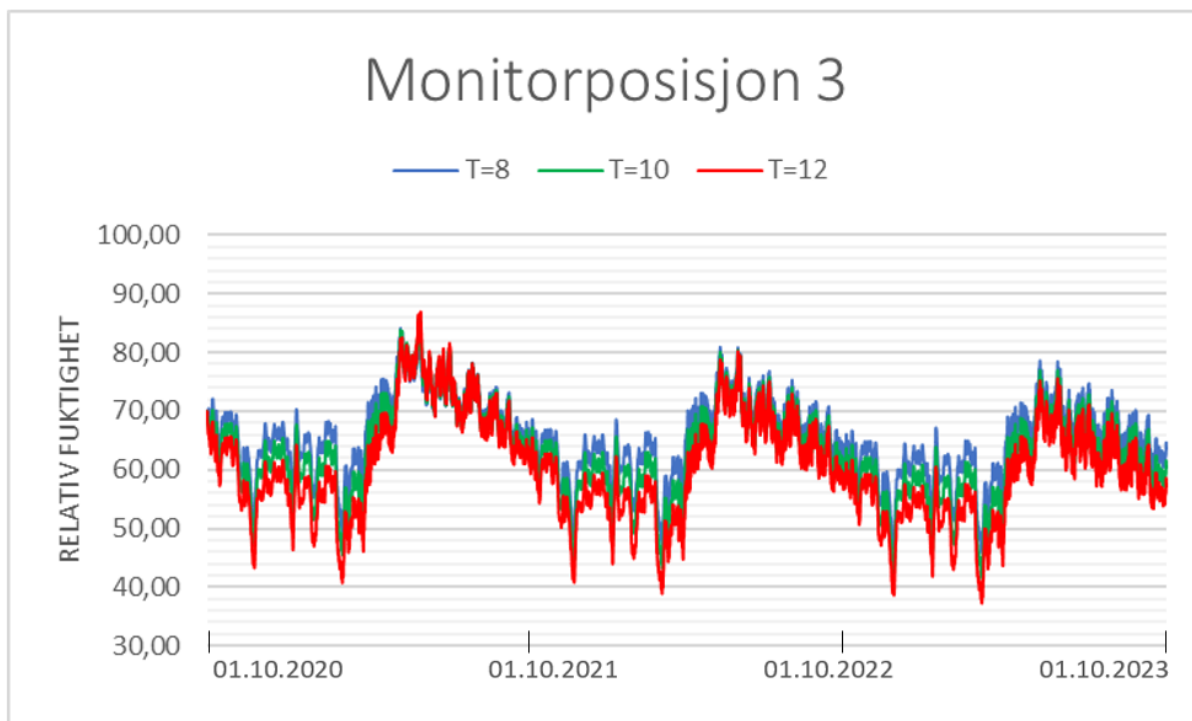
En reduksjon i temperatur og duggpunkt fører til en lengre periode med innadrettet fuktstrøm. Økende fukttilskudd med tanke på lengre innadrettet fukttransport har lite å si siden dampsperrer er på yttersiden av konstruksjonen. Dette sees i Figur 29 da inneklimate med lavt vandamptrykk har lavest RF i monitorposisjon 1.

Som det kommer frem fra Figur 29 gir inneklimate med høyest temperatur høyest RF i monitorposisjon 1. Ved dette inneklimate er perioden for utadrettet fuktstrøm lengst, og fuktinnholdet i luften høyest. Det viser seg å være utslagsgivende for denne varianten. Man kan dermed anta at desto høyere fuktinnhold i inneluften, desto høyere sannsynlighet for kondensasjon og dermed muggdannelse i monitorposisjon 1.

Variasjon i RF for monitorposisjon 1 for ulike inneklimate skyldes ikke innetemperatur, siden temperaturen i monitorposisjon 1 er upåvirket av temperaturforskjell. Bakgrunnen for differensiering er fuktighetsnivået i inneluften. Fuktnivået er variert fra et duggpunktnivå tilsvarende 2 °C, til 0 °C. En reduksjon i absolutt fuktighet fører til en lavere fuktstrøm. Summert viser det seg at absolutt fuktighet i luften er mer kritisk sammenlignet med relativ fuktighet for monitorposisjon 1, for variant 3.

I løpet av vintersesongen er det fare for kondensasjon. Figur 22 viser at det faktisk kondenserer fritt vann i monitorposisjon 1, likevel om Figur 29 viser at RF ikke kommer opp til 100%. Kondensasjonen fører til fritt vann i ytterkonstruksjonen som må tørkes ut. I dette tidspunktet er fuktstrømmen utadrettet, og det foreligger vanskelige forhold for uttørking. Dette er kritisk for konstruksjonen.

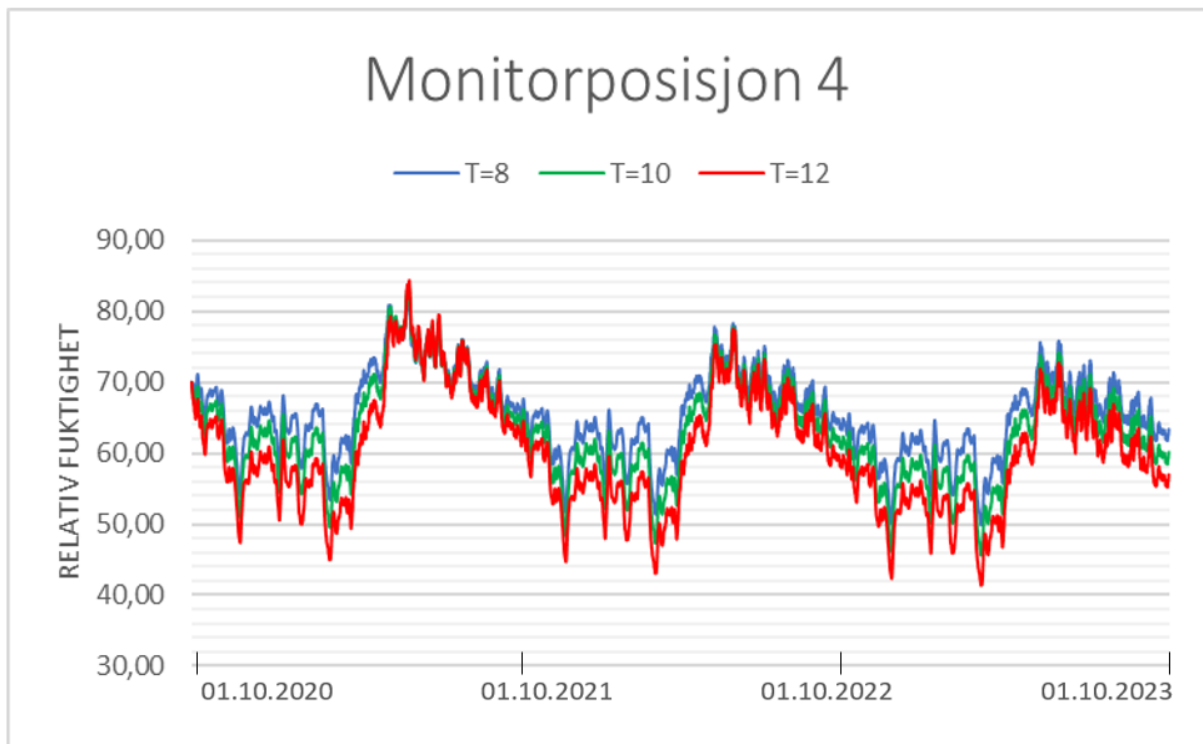
**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 30. Som figuren viser er relativ fuktighet avtagende og lave. Verdiene beveger seg over 80% under første sommeren, men holder seg aldri over 80% i en lengre periode. Verdiene reduseres fra sesong til sesong.



**Figur 30- RF for monitorposisjon 3 for variant 3 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** for monitorposisjon 3 er lik for samtlige inneklima og vurderes til gunstige fukttekniske forhold. Varighet av perioden der RF overstiger 80% er ikke lang nok til at det eksisterer risiko for muggdannelse.

**Resultat** fra monitorposisjon 4 vises i Figur 31. Figuren viser nesten identiske resultater som monitorposisjon 3. RF beveger seg opp over 80% første sesongen, men ikke over en lengre periode. Nivået reduseres fra sesong til sesong.



**Figur 31- RF for monitorposisjon 4 for variant 3 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** for monitorposisjon 4 er lik som for monitorposisjon 3. Samtlige inneklima gir gunstige fukttekniske forhold i monitorposisjon 4. Varighet av perioden RF overstiger 80% er ikke lang nok til at det foreligger noen risiko for muggdannelse.

Varianten har dampsperre på yttersiden av konstruksjonen. Om sommeren er det nettopp yttersiden som har høyest fuktinnhold. Da vil dampsperran hindre fuktigheten i å trenge inn i konstruksjonen. Dette er fordelaktig. Om vinteren har fuktstrømmen snudd og det er da den kritiske perioden oppstår. Under denne perioden vil luften kjøles ned desto lengre ut i konstruksjonen luften kommer. Derfor er ikke monitorposisjon 3 og 4 kritisk for denne varianten. Luften er ikke kald nok, eller fuktig nok til at det eksisterer høy nok RF.

Monitorposisjon 3 og 4 er ikke kritisk for denne varianten, og vil ikke bli omtalt videre i studien.

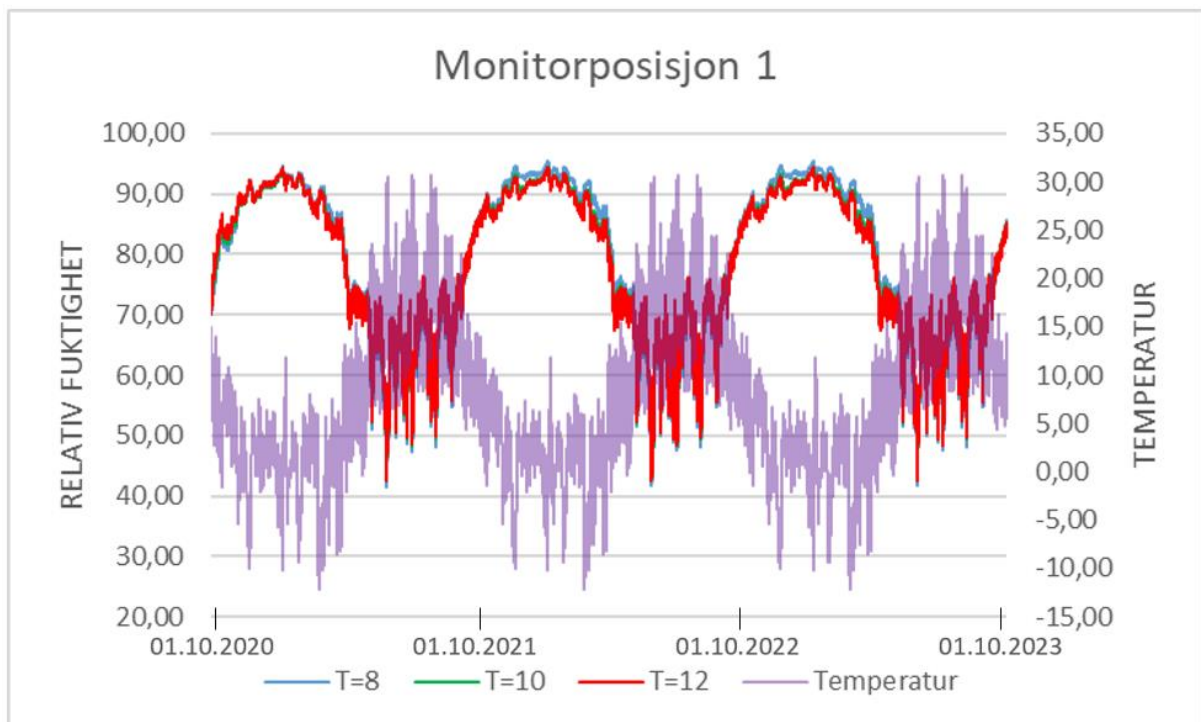
**Oppsummert** er variant 3 vurdert til ugunstig. Det foreligger for høy relativ fuktighet over en for lang periode der temperaturen vekselvis er for høy. Det er antatt høy risiko for kondensasjon av fritt vann i monitorposisjon 1. Resultatene er noe bedre for et inneklima med 8 °C og RF=60%, men det eksisterer fortsatt kritiske verdier. Variantene er ikke å anbefale.

## 6.2.4 Variant 15- ISO, SDS og MA

Variant 15 er bygget opp av utvendig kledning, luftesjikt, isolasjon, smart dampsperre og massivtre.

Om man sammenligner variant 1 med variant 15 kan man se om bruken av smart dampsperre er gunstig. Oppbygningen av konstruksjonene er nesten identiske. Forskjellen er bruken av smart dampsperre istedenfor PE-folie. Ut fra dette kan sees om det eksisterer en fordel med bruk av smart dampsperre.

**Resultat** fra monitorposisjon 1 vises i Figur 32. Som det sees fra figuren er verdiene for relativ fuktighet nesten identiske for forskjellige inneklime. Maksimal relativ fuktighet stiger opp til 94%, og ligger over 80% seks måneder. Fuktighetsnivået er stabilt over simuleringsperioden. I denne perioden er temperaturen mellom -10 °C og 11 °C.



**Figur 32- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 15 i Trondheim over tre år**

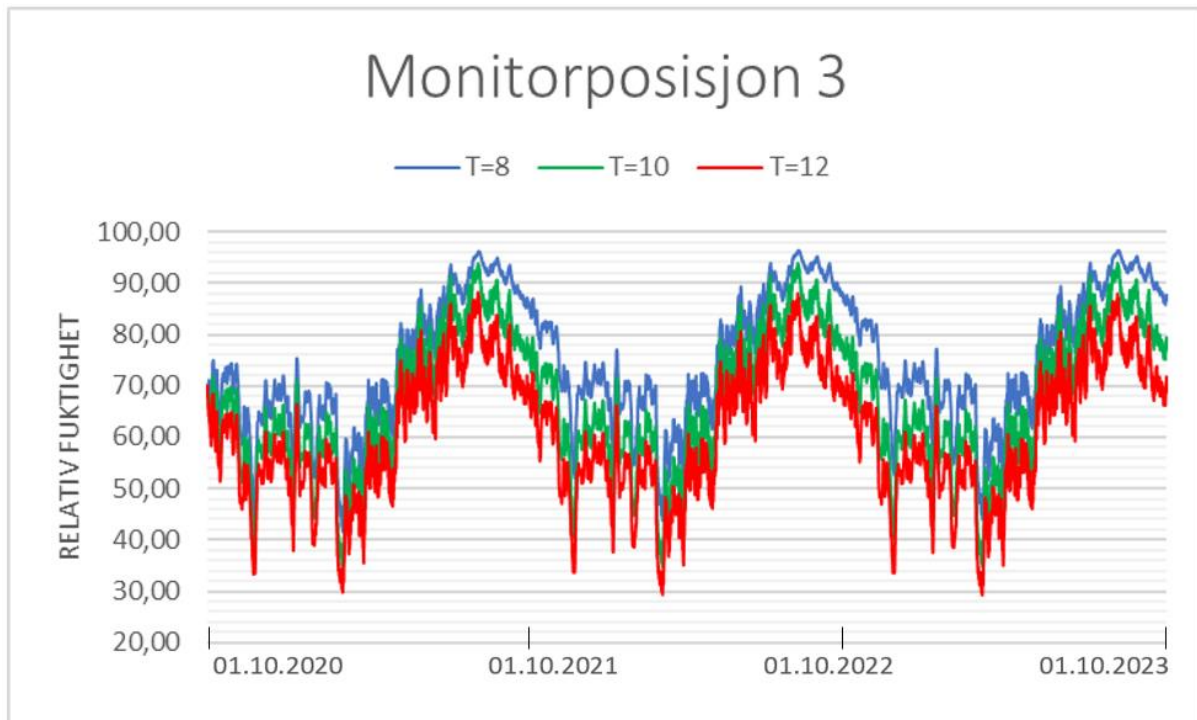
**Vurdering** av monitorposisjon 1 viser høy relativ fuktighet over en lengre periode. Under denne perioden er temperaturen lav, og en vurdering i henhold til kritisk fuktkriterier i Figur 3 foreligger det liten sannsynlighet for muggdannelse. RF og temperatur er for lav under en for kort periode for at det skal eksistere grobunn for mugg- og råtesopp. Likevel kan det oppstå kritiske fuktverdier om fukttilskudd fra konveksjon, byggefukt eller lekkasjer medtas.

En sammenligning mellom monitorposisjon 1 for variant 1 og 15 viser små forskjeller. Dette er heller ikke forventet. Den smarte dampsperran regulerer fuktstrømmen lengre inn i konstruksjonen og vil derfor ikke ha så stor påvirkning på monitorposisjon 1. I tillegg er det under vinteren kritiske fuktverdier for monitorposisjon 1 oppstår. Da er fuktstrømmen utadrettet og den relative fuktigheten der den smarte dampsperran er plassert lite påvirket av høy RF i monitorposisjon 1.

I perioden der RF i monitorposisjon 1 er høy, vil RF der den smarte dampsperran er plassert være lav. Figur 33 viser at i denne perioden er RF mellom 65-30%. I henhold til

Tabell 7- Vanndampmotstand AirGuard Smart (Agnalt, 2013) ligger motstand for vanndampdiffusjon rundt 1-20 meter.

**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 33. Resultatet fra de forskjellige variantene varierer. Maksimal relativ fuktighet, fra høy til lav innetemperatur ligger henholdsvis på, 87%, 93% og 96%. Perioden RF er over 80% ligger på, fra høy til lav innetemperatur, en samlet periode lik en måned, underkant av fire måneder og seks måneder. RF er stabilt fra år til år. Temperaturen varierer etter Tabell 14.



**Figur 33- RF for monitorposisjon 3 for variant 15 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 avhenger av inneklimate. For et inneklimate tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til gunstige fuktverdier. Det er tre små perioder i løpet av en sesong der RF ligger over 80%. Den lengste perioden er på fire uker. Til sammen er lengden der RF er over 80% åtte uker. Maksimal relativ fuktighet er 87%. Perioden og relativfuktighet, uavhengig av temperatur, er for lav til at det skal være sannsynlighet for muggdannelse. Likevel eksisterer det en liten risiko om et fukttilskudd fra byggfukt, konveksjon eller lekkasjer forekommer.

For et inneklimate lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til kritiske fuktverdier. Ved dette inneklimate vil det foreligge en høy relativ fuktighet over 15 uker der temperaturen er mellom 10-14 °C. I henhold til Figur 3 foreligger det kritiske fuktverdier og høy sannsynlighet for muggdannelse.

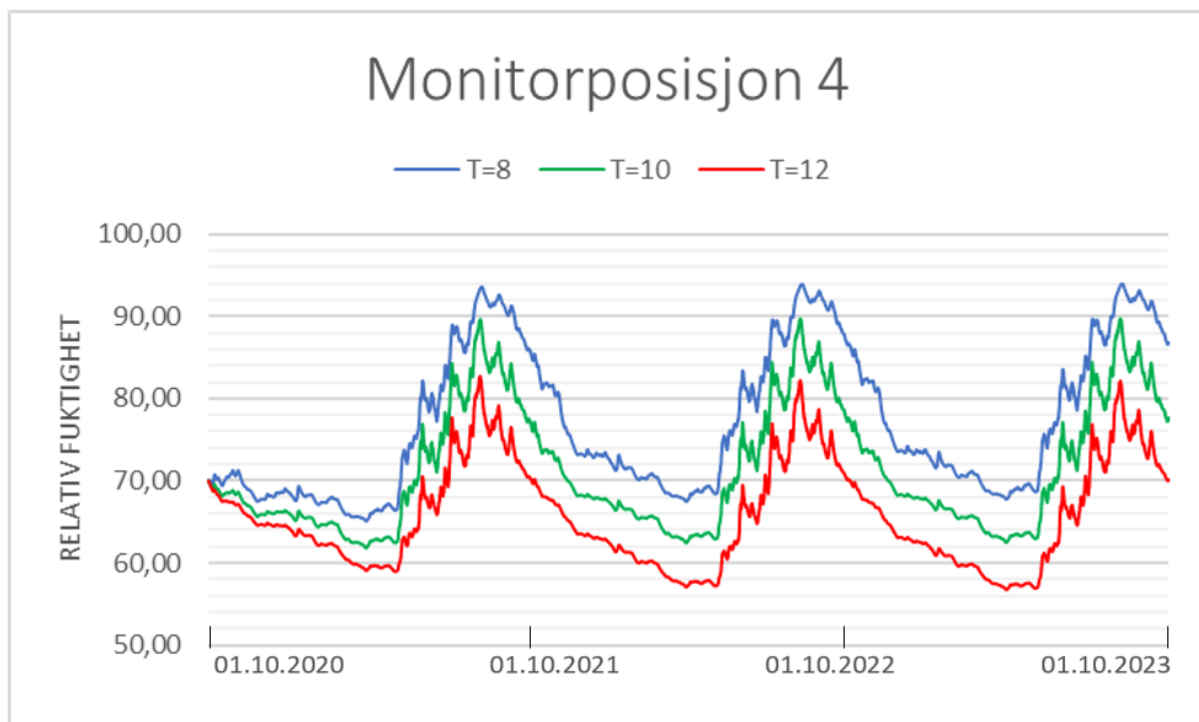
Til slutt er et inneklimate tilsvarende 8 °C og RF=60% vurderer til svært kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 26 uker der temperaturen er fra 8-12 °C. I tillegg ligger maksimal relativ fuktighet opp mot 96%. Det vil dermed foreligge en betydelig sannsynlig for kondensasjon.

Det er om sommeren den kritiske perioden oppstår. Under denne perioden er det innadrettet fuktstrøm. I denne perioden vil den smarte dampsperrer regulere motstand for vanndampdiffusjon i henhold til Tabell 7. Det er derfor verdiene for monitorposisjon 3

for variant 15 er lavere enn verdiene for monitorposisjon 3 for variant 1. For variant 1 stiger RF opp til 96%. Ved dette fuktighetsnivået er motstanden for vandampdiffusjon 0,02-0,03 meter. Fordelen med dette er en høyere transport av fuktighet når monitorposisjon 3 er fuktig. Dette gir gunstige følger for monitorposisjon 3.

En reduksjon i temperatur og duggpunkt i inneklime gir en klar forverring av situasjonen. På grunn av endret inneklime går temperaturen i monitorposisjonen ned, og dermed går den relative fuktigheten opp gjennom hele sesongen. Når dette skjer blir både den smarte dampsperreren og massivtreet mer dampåpent. Slik slippes mer fuktighet gjennom dampsperreren og inn til massivtreet når det er innadrettet fuktstrøm. Ved kaldere inneklime resulterer det også til lengre innadrettet fuktstrøm. Dette er ikke fordelaktig for konstruksjonen, da fuktighet blir transport inn til der grobunn for mugg- og råtesopp er størst.

**Resultat** fra monitorposisjon 4 vises i Figur 34. Figuren viser varierende resultat avhengig av inneklime. Maksimal relativ fuktighet varierer, og ligger på en verdi, fra høy til lav innetemperatur på, 82%, 90% og 94%. Perioden der RF er over 80% er på en halv måned, to og en halv måned og fem og en halv måned. Det er ingen endring i verdiene fra år til år. Temperaturen ligger rundt det som er presentert i Tabell 14.



**Figur 34- RF for monitorposisjon 4 for variant 15 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** for monitorposisjon 4 varierer etter inneklime. Vurderingen er relativt lik som for monitorposisjon 3. For et inneklime tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til gunstige fuktverdier. Det er en periode på to uker der RF ligger over 80%. Perioden og relativfuktighet, uavhengig av temperatur, er for lav til at det skal være sannsynlighet for muggdannelse.

For et inneklime lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til kritiske fuktverdier. Ved dette inneklime vil det foreligge en høy relativ fuktighet over ti uker der temperaturen er



mellom 11-14 °C. I henhold til Figur 3 foreligger det kritiske fuktverdier og sannsynlighet for muggdannelse.

Til slutt er et inneklima tilsvarende 8 °C og RF=60% vurdert til svært kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 23 uker der temperaturen er fra 8-12 °C. I tillegg ligger maksimal relativ fuktighet opp mot 94%. Det vil dermed foreligge en betydelig sannsynlig for kondensasjon.

Toppunktene for monitorposisjon 4 er redusert med tanke på monitorposisjon 3, mens bunnivået er ulikt. Bakgrunnen for dette er den fuktregulerende dampspærren. Sperren slipper igjennom mer fuktighet når den relative fuktigheten er høy. Derfor inntreffer toppene i monitorposisjon 3 og 4 på samme tidspunkt. Bunnpunktene er ulike for da har dampspærren høyere motstand for vandampdiffusjon, og stopper dermed betydelig mer av fuktstrømmen.

Eneste forskjellen mellom variant 1 og 15 er bytte mellom PE-folie med konstant vandampmotstand med en fuktregulerende dampspærre. I monitorposisjon 3 er RF høy om sommeren, og dermed er også RF høy om sommeren i monitorposisjon 4. På en slik måte regulerer konstruksjonen fuktnivået og sørger for en innadrettet uttørking om sommeren. Ved et inneklima på 12 °C og RF=50% blir ikke massivtreet uakseptabelt fuktig. Det kan dermed sees på som en god løsning å bruke smart dampspærre da det fører til mindre fuktighet i monitorposisjon 3, uten at det gjør noen skade på massivtreet.

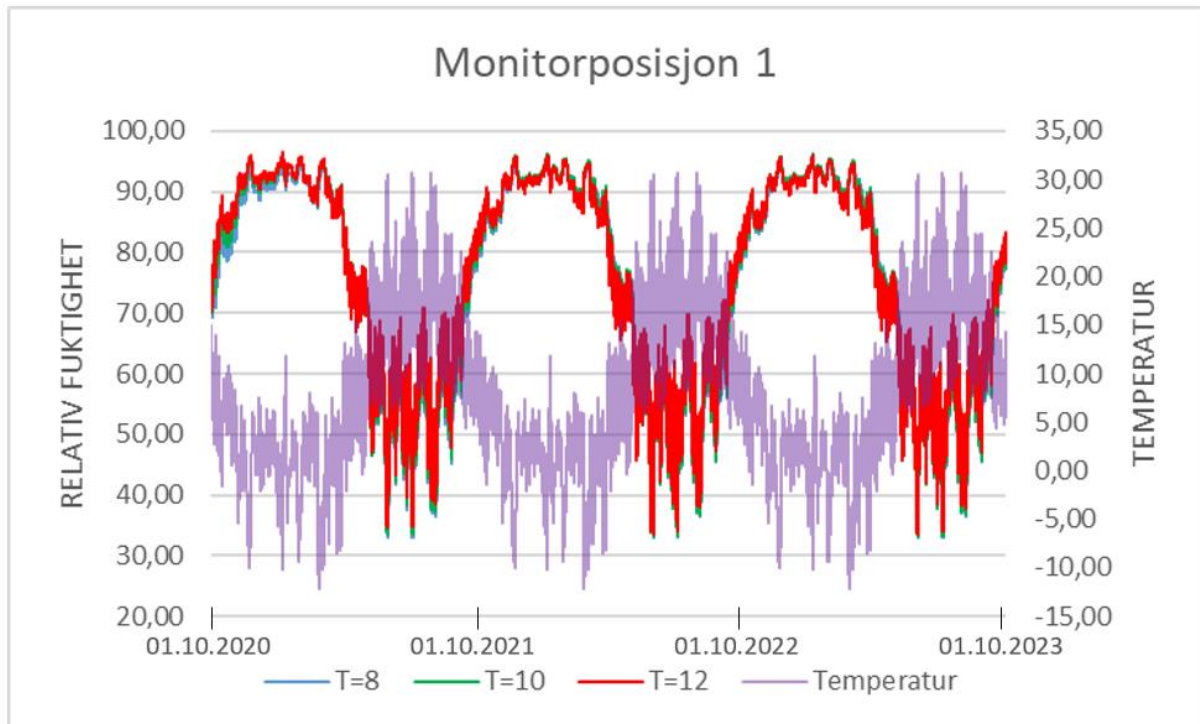
For lavere temperaturer og duggpunkt vil den smarte dampspærren være ugunstig. Den vil åpne for større fuktstrøm når monitorposisjon 3 er fuktig, og føre til uakseptable høy fuktverdier i monitorposisjon 4. I denne posisjonen er det større grobunn for mugg- og råtesopp, sammenlignet med monitorposisjon 3. Massivtreet inneholder mer næring for mugg- og råtesopp sammenlignet med isolasjon.

**Oppsummert** sees det en klar effekt av bruk av smart dampspærre. Sperren regulerer fuktigheten i konstruksjonen og gir den høyere innadrettet uttørking. Ulempen med dette er når det transporterer for mye fuktighet inn til massivtreet. Det er der grobunnen for muggdannelse er størst, og der man helst ikke vil ha et høyt RF. Variant 15 kan anbefales ved bruk av høye innetemperaturer. Om temperaturen synker til eller under 10 °C vil det foreligge kritiske fukttekniske forhold i monitorposisjon 3 og 4.

### **6.2.5 Variant 16- SDS, ISO og MA**

Variant 16 består av utvendig kledning, luftesjikt, smart dampspærre, isolasjon og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 1 sees i Figur 35. Som det kommer frem fra figuren er verdiene for relativ fuktighet nesten identiske. Maksimal relativ fuktighet stiger opp til 95%, og ligger over 80% i overkant av seks måneder.



**Figur 35- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 16 i Trondheim over tre år**

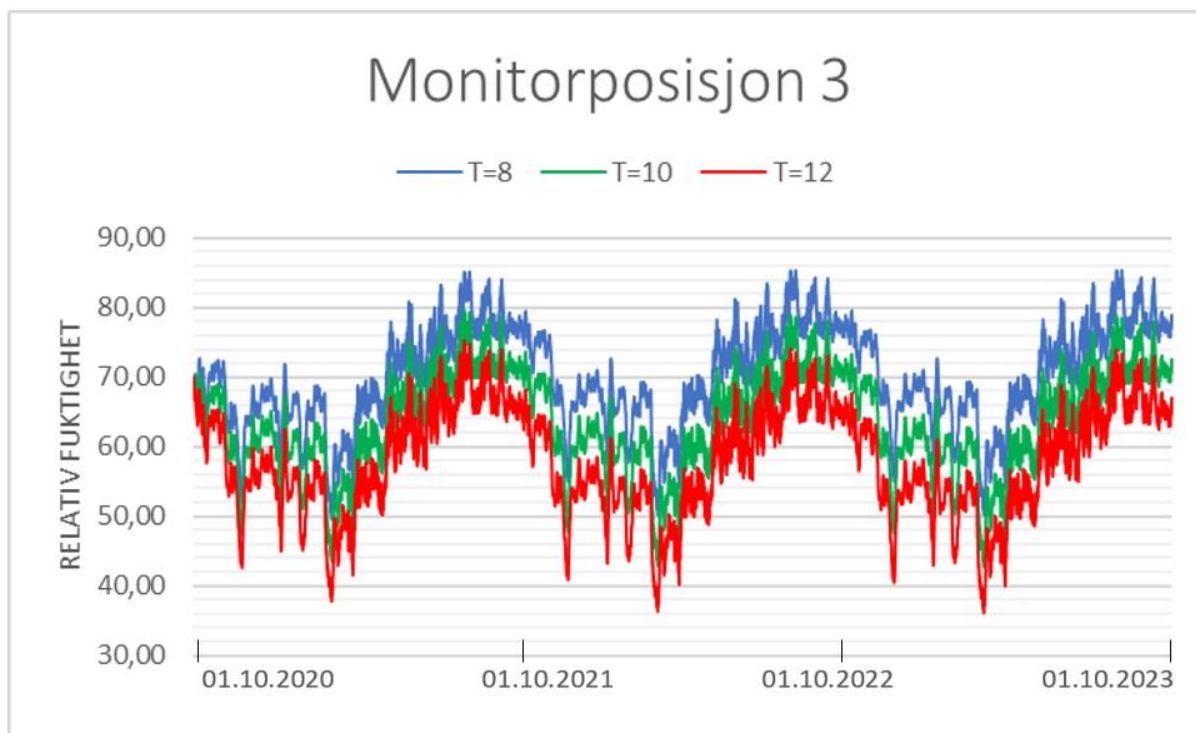
**Vurdering** av monitorposisjon 1 for variant 16 viser en høy relativ fuktighet over en lengre periode. Under denne perioden er temperaturen lav, og en vurdering i henhold til kritisk fuktkriterier i Figur 3 er liten sannsynlighet for muggdannelse. RF og temperatur er for lav under en for kort periode for at det skal eksistere grobunn for mugg- og råtesopp.

Variant 3 har store problem med høyt RF i monitorposisjon 1 om vinteren. Disse problemene løses ved bruk av smart dampsperre. Som presentert i 3.1.4- Uteluftas fuktinnhold er RF i uteluften høyere under vinteren. I tillegg er fuktstrømmen utover rettet. Det er derfor det oppstår høy relativ fuktighet i monitorposisjon 1 for variant 3. For variant 16 løses dette ved bruk av smart dampsperre. Sperren regulerer motstand for vandampdiffusjon, og slipper igjennom mer fuktighet når fuktigheten er høy. Fuktigheten kan dermed transporteres ut til uteklima. Sperren blir såpass åpen at verdiene i monitorposisjon 1 for denne varianten er veldig lik verdiene for monitorposisjon 1 for variant 2. Variant 2 har ingen dampsperre, og har meget god uttørking. Dette viser at bruken av AirGuard smart dampsperre gir meget gode uttørkingsforhold.

I variant 3 kommer det frem at det har kondensert og ligger fritt vann i yttersjiktet i konstruksjonen. På grunn at dette vil det ta lengre tid å tørke ut konstruksjonen, og i denne perioden ligger stor sannsynlighet for muggdannelse. Kondensasjonen oppstår i en periode som i henhold til Tabell 11 har utadrettet fuktstrøm. I denne perioden med variant 3 er fuktigheten fanget, men ved en fuktregulerende dampsperre vil den åpne seg og fuktigheten diffundere utover.

**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 36. Resultatene varierer etter inneklime. Maksimal relativ fuktighet, fra høy til lav inneklime, ligger på 75%, 79% og 85%. Det er bare et inneklime som har fuktighetsverdier over 80%. For 8 °C og RF=60%

foreligger det en samlet periode i underkant av to måneder der RF er over 80%. Verdiene er stabile fra år til år.

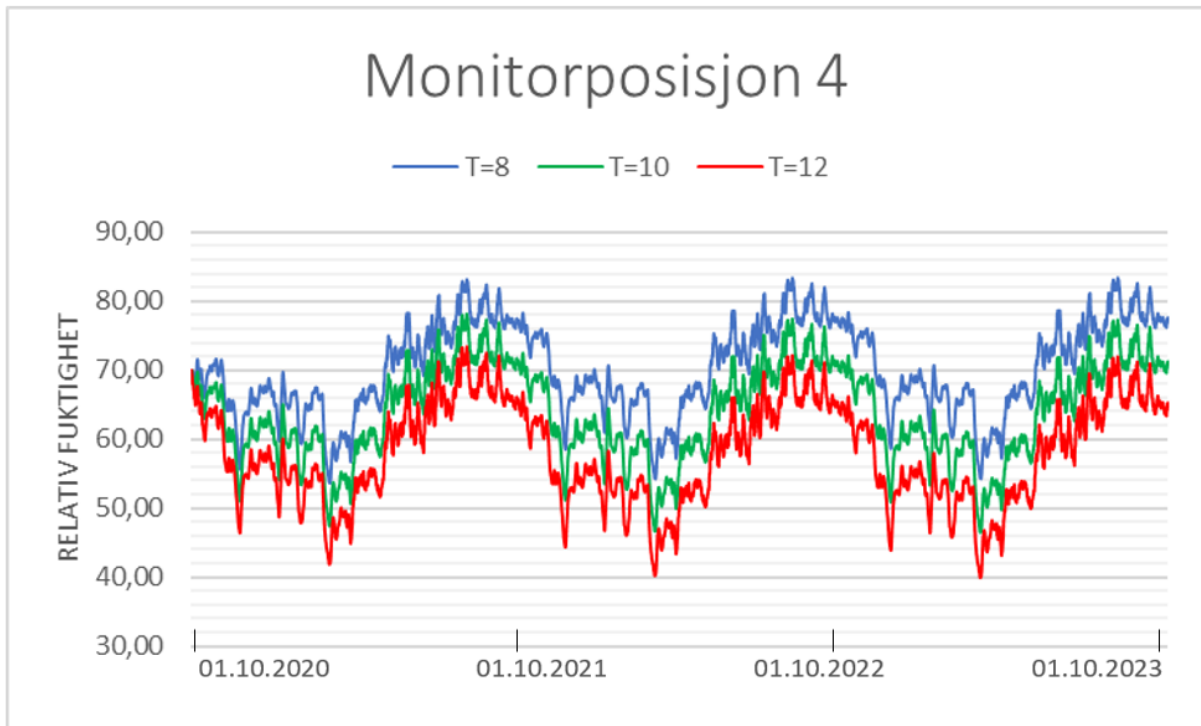


**Figur 36- RF for monitorposisjon 3 for variant 16 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 er avhengig av inneklima. RF er aldri så høyt at det eksisterer risiko for muggdannelse for to av inneklimaene. For et inneklima med 8 °C og RF=60% indikeres det noe sannsynlighet for muggdannelse da temperaturen ligger fra 9 °C til 12 °C i den periode der RF er over 80%.

En sammenligning med variant 3 viser forverrende verdier ved bruk av smart dampspærre i monitorposisjon 3, for et inneklima med 8 °C og RF=60%. Den smarte dampspærren har mindre motstand for vandampdiffusjon sammenlignet med en PE-folie under sommeren. Da vil den slippe igjennom mer fuktighet og resultere i høy RF under sommeren.

**Resultatene** fra monitorposisjon 4 vises i Figur 37. Resultatene viser en maksimalverdi for RF tilsvarende 83%, for et inneklima med 8 °C og RF=60%. Maksimalverdien er stabil fra år til år. For de to andre inneklimaene går RF aldri over 80%.



**Figur 37- RF for monitorposisjon 4 for variant 16 i Trondheim over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 4 er lik uavhengig av inneklima. Fuktighetsnivået er aldri så høyt at det eksisterer risiko for muggdannelse, for to av tre inneklima. For det tredje inneklima, 8 °C og RF=60 er det høyt nok fuktighetsnivå for mugg -og råtesopp, men varigheten av perioden er altfor lav til at det skal være en betydelig risiko.

**Oppsummert** foreligger det stor effekt av bruk av smart dampspærre. Varianten regulerer fuktinnholdet i konstruksjonen på en meget god måte. Varianten har høy utvendig motstand for vandampdiffusjon under sommeren når fuktstrømmen er innadrettet. I løpet av vinteren er fuktstrømmen utadrettet, og RF i uteluften høy. Da vil AirGuard smart dampspærre redusere motstand for vandampdiffusjon og tillate høyere utadrettet uttørking. Varianten er definitivt å anbefale. Det anbefales likevel å holde en temperatur over 10 °C med et duggpunkt på 1 °C. Om temperatur og duggpunkt senkes vil det foreligge noe sannsynlighet for muggdannelse om fuktilskudd fra lekkasjer og konveksjon medtas.

## 6.3 Oslo

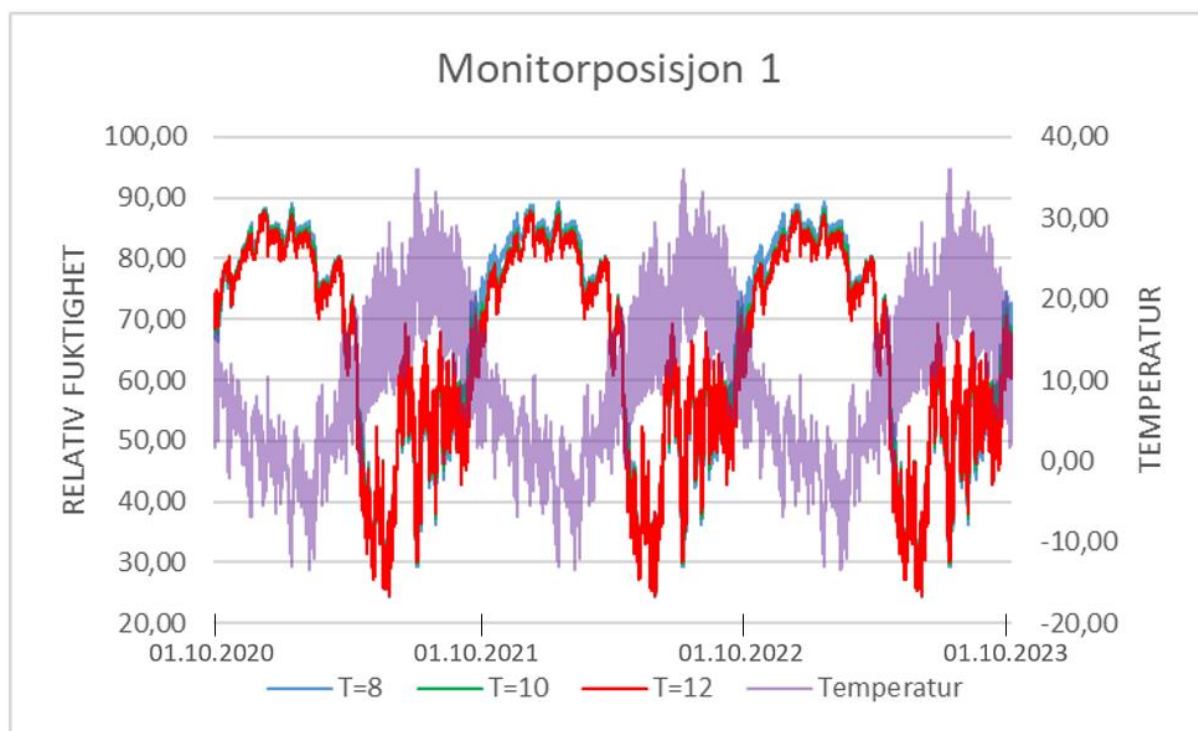
Resultat fra Oslo presenteres gjennom en sammenslått figur der verdier fra samtlige inneklima er inkludert. Figuren inneholder verdier av relativ fuktighet gjennom tre år, der simuleringstarten er satt 01.10.2020.

Kapitelet vil ikke inkludere like mange figurer som kapitelet om Trondheim. Monitorposisjoner som ikke er interessante vil ikke bli drøftet. Relativ fuktighet for monitorposisjon 1,3 og 4 for samtlige beliggenheten for varianter er vedlagt i vedlegg A.

### 6.3.1 Variant 1- ISO, DS og MA

Variant 1 er bygd opp av utvendig kledning, luftesjikt, isolasjon, dampspærre og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 1 vises i Figur 38. Som det kommer frem fra figuren varierer RF over simuleringsperioden. Resultatene fra de tre inneklimateene er omtrentlig like. Det foreligger en liten økning ved kaldt inneklimate. Maksimal RF for blå linje blir vurdert til 89%. De to resterende ligger omtrent 1-3% lavere. Det er ikke notert noe økning eller reduksjon fra sesong til sesong. RF ligger over 80% rundt fire og en halv måned. Under denne perioden er temperaturen fra 10 °C til -10 °C.



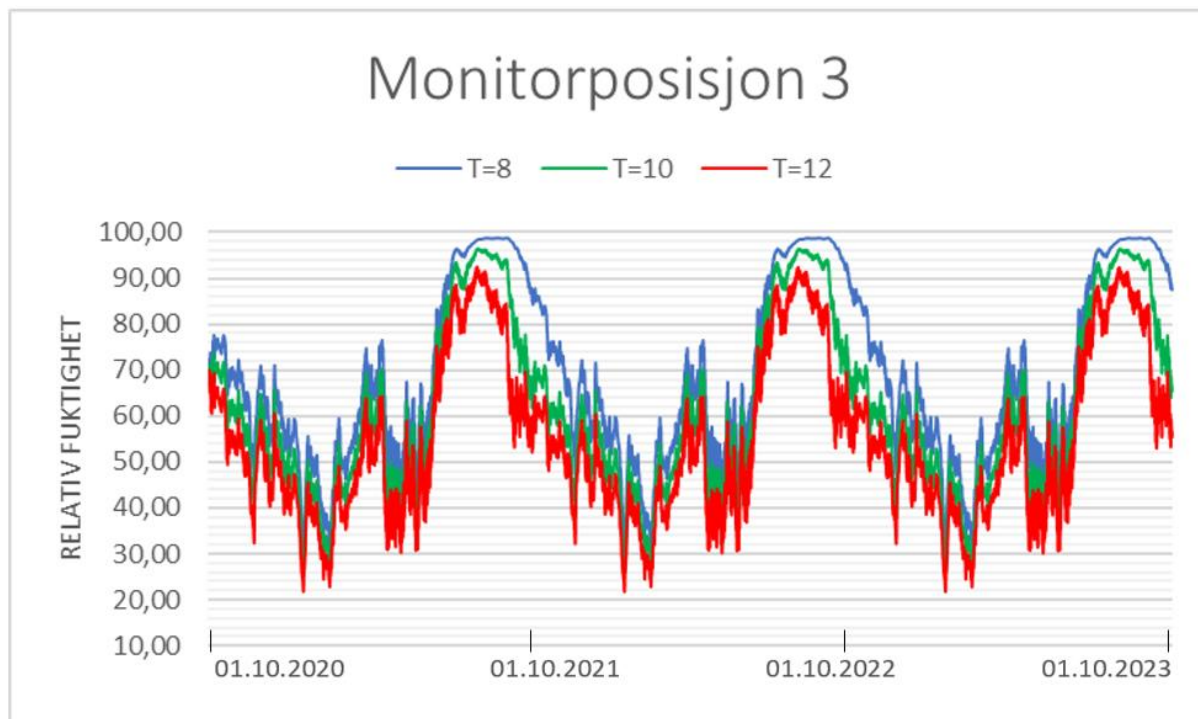
**Figur 38- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 1 i Oslo over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 1 for variant 1 viser høy relativ fuktighet over en lengre periode. Under denne perioden er temperaturen lav, og en vurdering i henhold til kritisk fuktkriterier i Figur 3 er liten sannsynlighet for muggdannelse. Fuktighetsnivå og temperatur er for lav under en for kort periode for at det skal eksistere grobunn for mugg- og råtesopp.

Sammenlignet med Trondheim gir klimaet i Oslo lavere verdier for relativ fuktighet i monitorposisjon 1. Uteklimate har klimadata lagt frem i 6.1.1. Likevel om det foreligger en reduksjon i relativ fuktig sammenlignet med Trondheim er RF godt over 80% og ligger over 80% i fire og en halv måned. Dette har en sammenheng med den høye varmemotstanden til konstruksjonen. Monitorposisjon 1 er helt i ytterkant av konstruksjonen. Posisjonen vil ikke bli påvirket av varmetransport fra inneklimateet grunnet høy varmemotstand. Den ytre delen vil altså være kaldere sammenlignet med en konstruksjon med lavere varmemotstand. Dette fører til en høyere relativ fuktighet. Ved å ha en såpass høy varmemotstand vil det således føre til høyere relativ fuktighet og større sannsynlighet for kondensasjon i ytre del av konstruksjonen.

**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 39. Figuren viser høy relativ fuktighet. Maksimal relativ fuktighet fra høy til lav inneklimateperatur ligger på 92%, 96% og 99%. Verdiene er stabile fra år til år. Perioden der RF er over 80%, fra høy til lav inneklimateperatur ligger på to og en halv måned, tre måneder, og overkant av fire

måneder. Temperaturvariasjonen for hvert inneklime i monitorposisjon 3 følger Tabell 14- Temperaturvariasjon for massivtre.



**Figur 39- RF for monitorposisjon 3 for variant 1 i Oslo over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 avhenger av inneklime. For et inneklime tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til kritiske fuktverdier. Bakgrunnen for dette er en høy relativ fuktighet over ti uker der temperaturen er fra 14-16 °C. For et inneklime lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til svært kritiske fuktverdier. Ved dette inneklime vil det foreligge en høy relativ fuktighet over 12 uker der temperaturen er mellom 12-14 °C. I tillegg er maksimal RF 96% og svært nære metning. Til slutt er et inneklime tilsvarende 8 °C og RF=60% vurderer til svært kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 16 uker der temperaturen er fra 10-12 °C. I tillegg ligger maksimal relativ fuktighet svært nære metning. Det vil dermed foreligge stor sannsynlighet for kondensasjon og muggdannelse. Med tanke på at konveksjon er utelatt vil det med høy sannsynlighet eksistere mer fuktighet i monitorposisjon 3, enn hva Figur 39 indikerer.

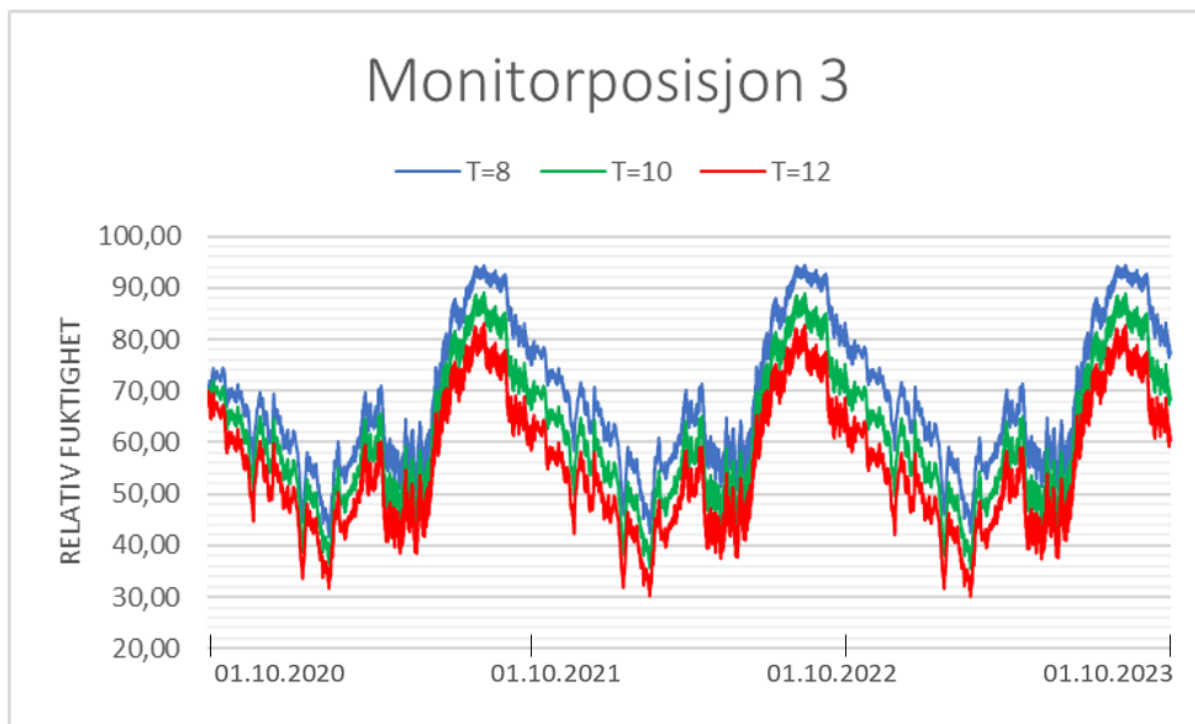
Det er om sommeren den kritiske perioden oppstår. Under denne perioden er det innover rettet fuktstrøm. Fuktighetsakkumuleringen oppstår på grunn at den høye motstanden for vandampdiffusjon til PE-folien (70m). På den måten har ikke fuktigheten nå innadrettet uttørkingsmulighet. For et inneklime med 8 °C og RF=60% vil RF være over 80% til langt ut i oktober.

**Oppsummert** foreligger det stor sannsynlighet for muggdannelse i monitorposisjon 3. Det er høy relativ fuktighet over en lengre periode med høy temperatur. For denne varianten vil det med stor sannsynlighet kondensere fritt vann i monitorposisjon 3. Varianten er ikke å anbefale.

### 6.3.2 Variant 2- ISO og MA

Variant 2 er bygd opp av utvendig kledning, luftesjikt, isolasjon og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 40. Som figuren viser varierer relativ fuktighet for forskjellige inneklima. Maksimalt relativ fuktighet fra høy til lav innetemperatur er 82%, 88% og 94%. Perioden RF er over 80% fra høy til lav innetemperatur ligger rundt to uker, overkant av to måneder og tre måneder. Verdiene er stabile fra år til år. Temperaturen varierer etter inneklima.



**Figur 40- RF for monitorposisjon 3 for variant 2 i Oslo over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 varierer etter inneklima. For et inneklima tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til meget gunstige fukttekniske forhold. Relativ fuktighet er så vidt over 80% i løpet av en sesong. Det foreligger ingen risiko for muggdannelse i en så kort periode. For et inneklima lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til noe kritiske fuktverdier. Ved dette inneklima vil det foreligge en høy relativ fuktighet over åtte uker der temperaturen er mellom 11-14 °C. Til slutt er et inneklima tilsvarende 8 °C og RF=60% vurderer til kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 12 uker der temperaturen er fra 8-12 °C.

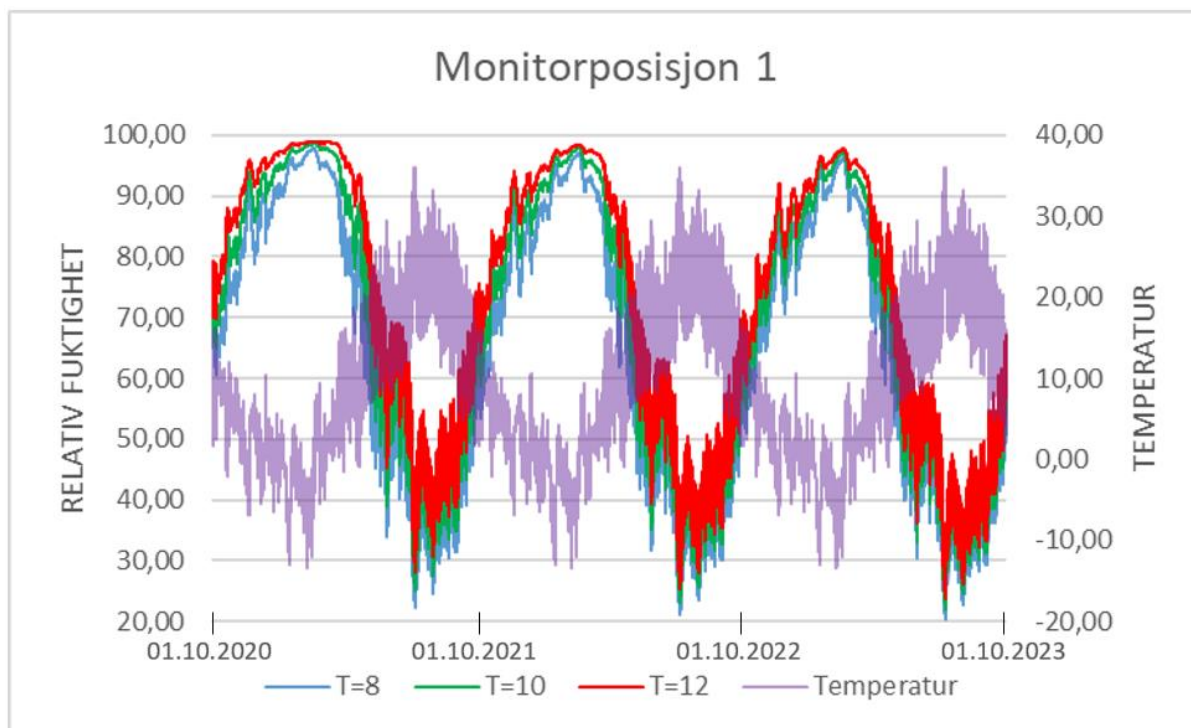
**Oppsummert** varierer anbefaling av varianten etter inneklima. For et inneklima lik 12 °C og RF=50% vil det foreligge ingen risiko for muggdannelse etter resultatene. Mens for et inneklima lik 8 °C og RF=60% vil det eksistere kritiske fuktforhold i monitorposisjon 3 og 4. Varianten kan anbefales om det styres mot et inneklima med høy temperatur. Temperaturen må minst være over 10 °C, og helst opp mot 12 °C.

### 6.3.3 Variant 3- DS, ISO og MA

Variant 3 er bygd opp av utvendig kledning, luftesjikt, dampspærre, isolasjon og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 1 vises i Figur 41. Som figuren viser er maksimal relativ fuktighet opp mot 98%. Variasjonen ligger i perioden der RF er over 80%. Fra høy til lav innetemperatur er perioden seks måneder, underkant av seks måneder og fire og en halv

måned. Under disse periodene varierer temperaturen fra -10 °C til 10 °C. Det foreligger en knapp reduksjon i fuktighetsnivå over simuleringsperioden.



**Figur 41- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 3 i Oslo over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 1 omtrentlig lik for samtlige inneklime. Målt relativ fuktighet i monitorposisjon 1 ligger på 98%, men ifølge 6.1.4 Virkelige fuktighetsverdier vil det eksistere kondensasjon likevel.

Ved disse simuleringene er fukttilskudd gjennom konveksjon utelatt. Det betyr at dette tilskuddet gjøre at oppstår enda mer kondensasjon av fritt vann i monitorposisjon 1. I perioden det er fare for kondensasjon ligger temperaturen fra -10 °C til 5 °C. Ut fra Figur 3 er det kritiske fuktverdier og fare for muggdannelse i denne perioden.

Resultatene for variant 3 fra Oslo og Trondheim er relativt like. Bakgrunnen til dette er presentert i kapittel 6.1.1. Perioden for innadrettet fuktstrøm er noe lengre for Oslo sammenlignet med Trondheim, men likevel vil ikke dette påvirke resultatet merkverdig.

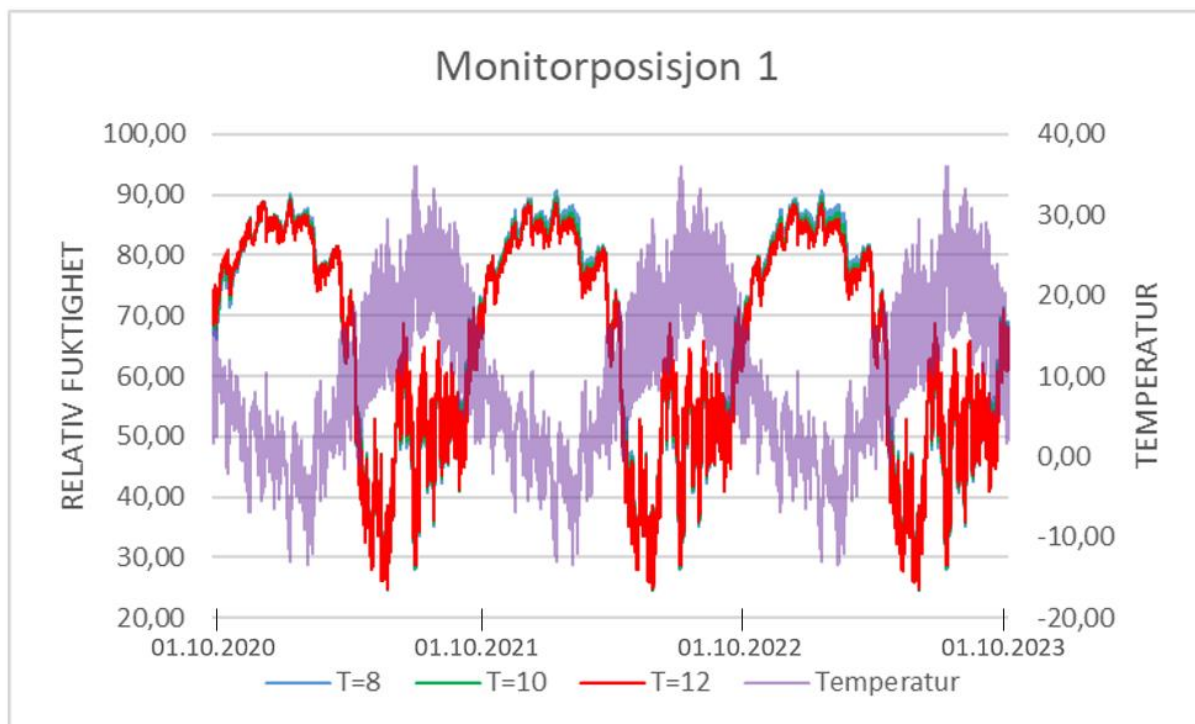
**Oppsummert** er variant 3 vurdert til ugunstig. Det er for høy relativ fuktighet over for lang periode, der temperaturen vekselvis er for høy. Det er antatt høy risiko for kondensasjon av fritt vann i monitorposisjon 1. Resultatene er noe bedre for et inneklime med 8 °C og RF=60%, men det eksisterer fortsatt kritiske verdier. Varianten er ikke å anbefale.

### 6.3.4 Variant 15- ISO, SDS og MA

Variant 15 er bygget opp av utvendig kledning, luftesjikt, isolasjon, smart dampsperre og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 1 vises i Figur 42. Som det sees fra figuren er verdiene for relativ fuktighet nesten identiske for de tre ulike inneklime. Maksimal relativ fuktighet stiger opp til 90%, og ligger over 80% tre og en halv måned. Fuktighetsnivået er stabilt over simuleringsperioden. I denne perioden er temperaturen mellom 8 °C og 10 °C.

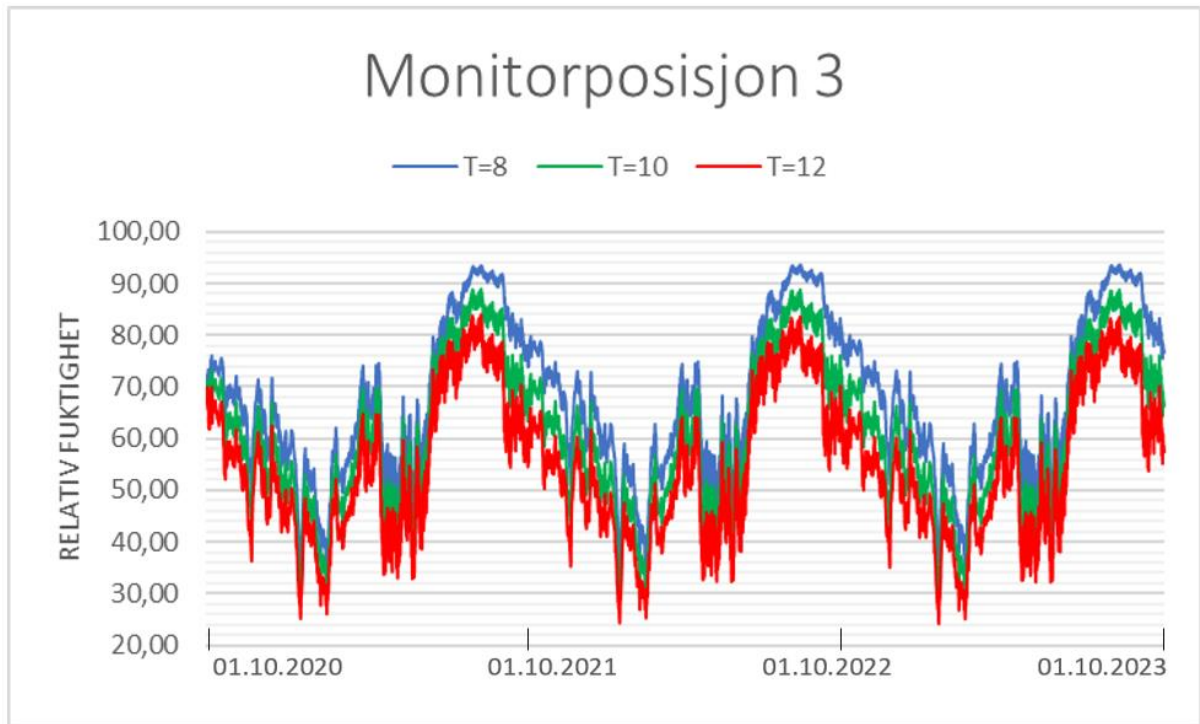




**Figur 42- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 15 i Oslo over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 1 viser høy relativ fuktighet over en lengre periode. Under denne perioden er temperaturen lav, og en vurdering i henhold til kritisk fuktkriterier i Figur 3 er liten sannsynlighet for muggdannelse. Fuktighetsnivå og temperatur er for lav under en for kort periode for at det skal eksistere grobunn for mugg- og råtesopp. Til sammenligning er resultatene for monitorposisjon 1 for variant 1 omtrentlig identiske. Det foreligger dermed ingen endring ved bruk av smart dampsperre for monitorposisjon 1.

**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 43. Resultatet fra de forskjellige variantene varierer. Maksimal relativ fuktighet, fra høy til lav innetemperatur ligger henholdsvis på, 84%, 88% og 92%. Perioden RF er over 80% ligger på, fra høy til lav innetemperatur, underkant av en måned, overkant av to måneder og tre og en halv måned. Fuktighetsnivået er stabilt fra år til år.

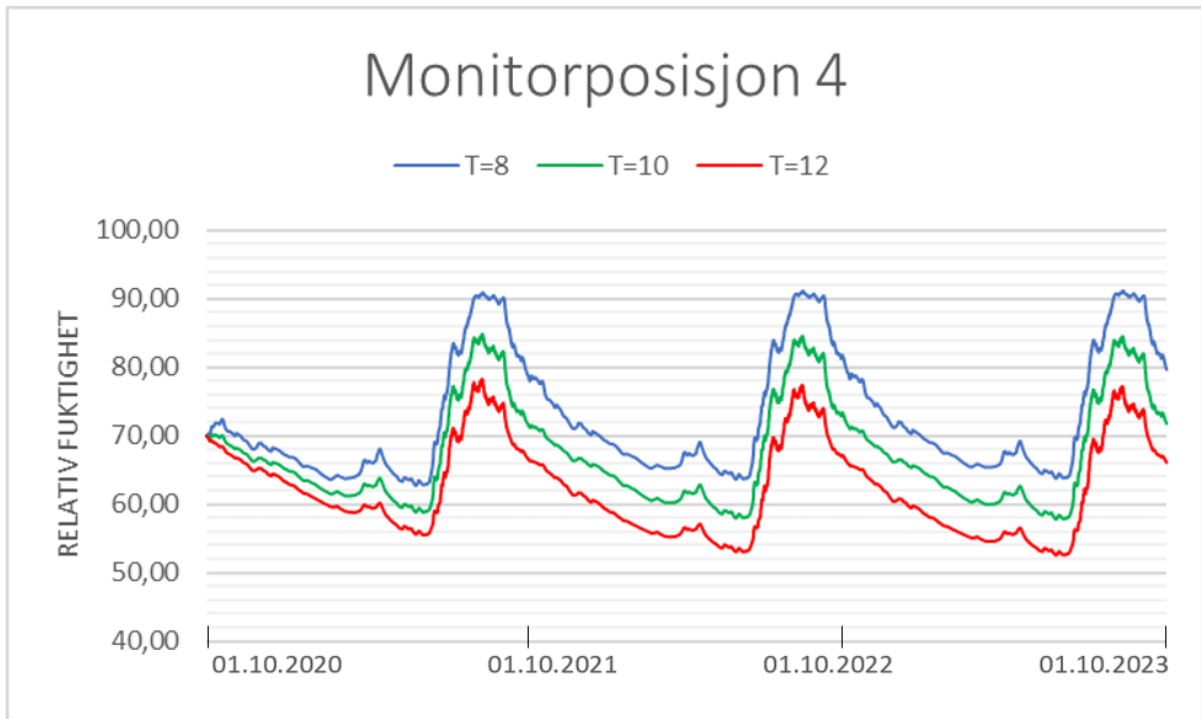


**Figur 43- RF for monitorposisjon 3 for variant 15 i Oslo over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 avhenger av inneklima. For et inneklima tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til meget gunstige fuktverdier. Det er tre uker der RF er over 80%. Perioden og relativfuktighet, uavhengig av temperatur, er for lav til at det skal være sannsynlighet for muggdannelse. For et inneklima lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til noe kritiske fuktverdier. Ved dette inneklima vil det foreligge en høy relativ fuktighet over ni uker der temperaturen er mellom 12-15 °C. Til slutt er et inneklima tilsvarende 8 °C og RF=60% vurderer til kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 15 uker der temperaturen er fra 9-13 °C. I tillegg ligger maksimal relativ fuktighet et godt stykke over 90%. Det vil dermed foreligge en sannsynlig for kondensasjon om fuktilskudd fra konveksjon medtas.

Det er om sommeren den kritiske perioden oppstår. Under denne perioden er det innover rettet fuktstrøm. I denne perioden vil den smarte dampspærren regulere motstand for vandampdiffusjon i henhold til Tabell 7, og bli meget dampåpen. Det er derfor verdiene for monitorposisjon 3 for variant 15 er lavere enn verdiene for monitorposisjon 3 for variant 1. Fordelen med dette er en høyere transport av fuktighet når monitorposisjon 3 er fuktig. Ulempen er høyere fuktighetsnivå i massivtreet og monitorposisjon 4.

**Resultat** fra monitorposisjon 4 vises i Figur 44. Figuren viser varierende resultat avhengig av inneklima. Maksimal relativ fuktighet varierer, og ligger på en verdi, fra høy til lav innetemperatur på, 76%, 84% og 91%. Perioden der RF er over 80% er på null uker, en og en halv måned og tre måneder. Det er ingen endring i verdiene fra år til år. Temperaturen ligger rundt det som er presentert i Tabell 14.



**Figur 44- RF for monitorposisjon 4 for variant 15 i Oslo over tre år**

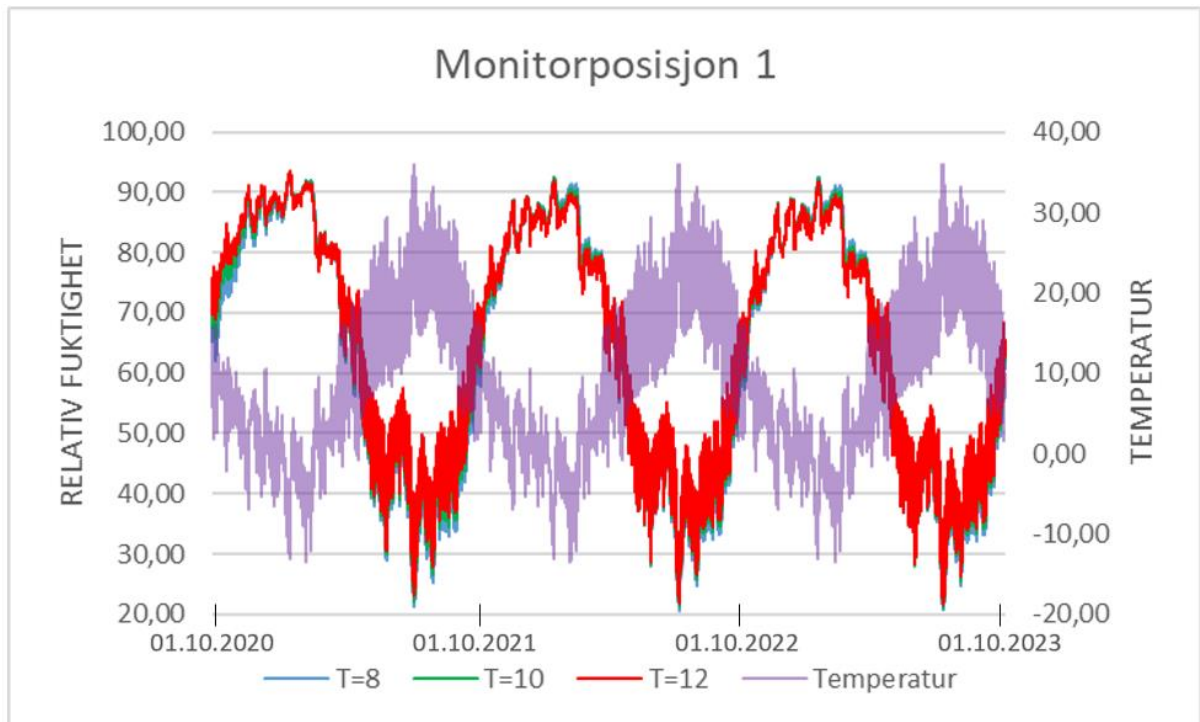
**Vurdering** for monitorposisjon 4 varierer etter inneklimate. Vurderingen er relativt lik som for monitorposisjon 3. Toppunktene er redusert med tanke på monitorposisjon 3, mens bunnivået er ulikt. Vurderingen gjort for monitorposisjon 3 er gjeldende for monitorposisjon 4.

**Oppsummert** sees det en klar effekt av bruk av smart dampspærre. Sperren regulerer fuktigheten i konstruksjonen og gir den høyere innadrettet uttørking. Ulempen med dette er når den transporterer for mye fuktighet inn til massivtreet. Det er der grobunnen for muggdannelse er størst, og der man helst ikke vil ha et høyt fuktighetsnivå. Variant 15 kan definitivt anbefales ved bruk av høye innetemperaturer. Om temperaturen synker under 10 °C vil det foreligge kritiske fukttekniske forhold i monitorposisjon 3 og 4.

### 6.3.5 Variant 16- SDS, ISO og MA

Variant 16 består av utvendig kledning, luftesjikt, smart dampspærre, isolasjon og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 1 sees i Figur 45. Som det kommer frem fra figuren er verdiene for relativ fuktighet nesten identiske. Maksimal relativ fuktighet stiger opp til 92%, og ligger over 80% tre og en halv måned. Fuktighetsnivået avtar etter første året, deretter er det stabilt over de to resterende årene. I denne perioden er temperaturen mellom 8 °C og 10 °C.

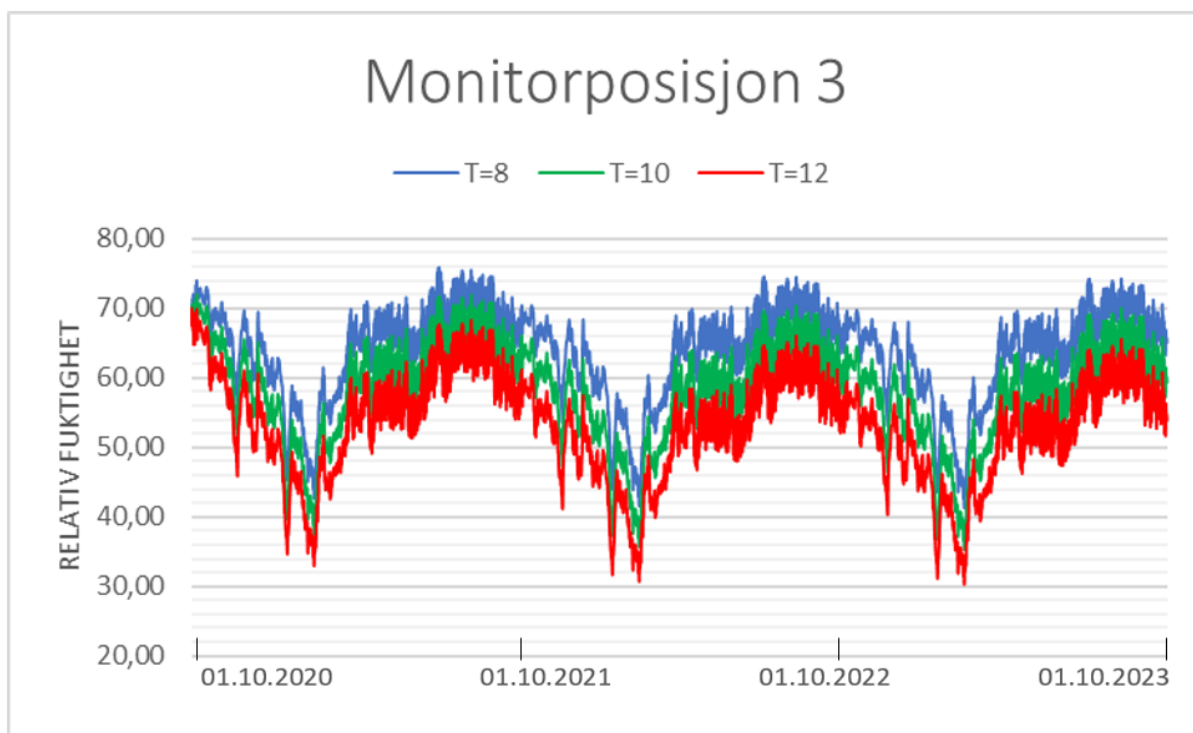


**Figur 45- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 16 i Oslo over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 1 for variant 1 viser høy relativ fuktighet over en lengre periode. Under denne perioden er temperaturen lav, og en vurdering i henhold til kritisk fuktkriterier i Figur 3 er liten sannsynlighet for muggdannelse. Fuktighetsnivå og temperatur er for lav under en for kort periode for at det skal eksistere grobunn for mugg- og råtesopp.

Variant 3 for Oslo klima har store problem med høyt fuktighetsnivå i monitorposisjon 1 om vinteren. Disse problemene løses ved bruk av smart dampspærre. Om vinteren er fuktighetsnivået i uteluften høyere. I tillegg er fuktstrømmen utover rettet. Det er derfor det oppstår høy fuktighet i monitorposisjon 1 for variant 3. For variant 16 løses dette ved en regulering av motstand for vandampdiffusjon. Fuktigheten kan dermed transporteres ut til uteklima.

**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 46. Resultatene varierer etter inneklime. Maksimal relativ fuktighet, fra høy til lav innetemperatur, ligger på 67%, 71% og 75%. Verdiene er noe avtagende hvert år.



**Figur 46- RF for monitorposisjon 3 for variant 16 i Oslo over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 er uavhengig av inneklimate. Fuktighetsnivået er aldri så høyt at det eksisterer risiko for muggdannelse. Likevel bemerkes det en betydelig forskjell mellom inneklimate.

**Oppsummert** viser varianten meget gunstige resultater. Fordelen med å bruke smart dampspærre er betydelig. Varianten er definitivt å anbefale uavhengig av de tre inneklimateene.

## 6.4 Bergen

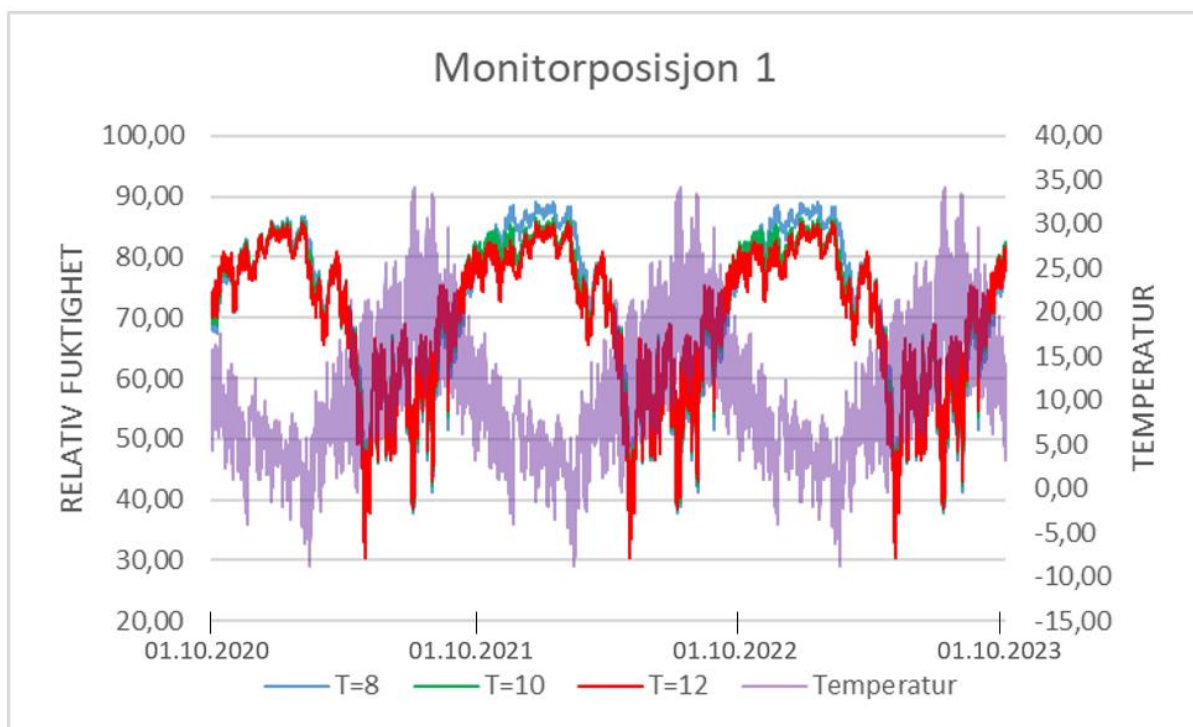
Resultat fra Bergen presenteres gjennom en figur der verdier fra samtlige inneklimate er inkludert. Figuren inneholder verdier av relativ fuktighet gjennom tre år, der simuleringstarten er satt 01.10.2020.

Kapitelet vil ikke inkludere like mange figurer som kapitelet om Trondheim. De figurene som ikke er interessante kan sees i vedlegg A.

### 6.4.1 Variant 1- ISO, DS og MA

Variant 1 er bygd opp av utvendig kledning, luftesjikt, isolasjon, dampspærre og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 1 vises i Figur 47. Resultatene fra de tre inneklimateene er omtrentlig like. Det forekommer en liten økning ved kaldt inneklimate. Maksimal RF for blå linje blir vurdert til 88%. De to resterende ligger omtrent 1-5% lavere. RF er økende fra første året til andre året. Perioden RF ligger over 80% er rundt fem måneder. Under denne perioden er temperaturen fra 12 °C til -8 °C.



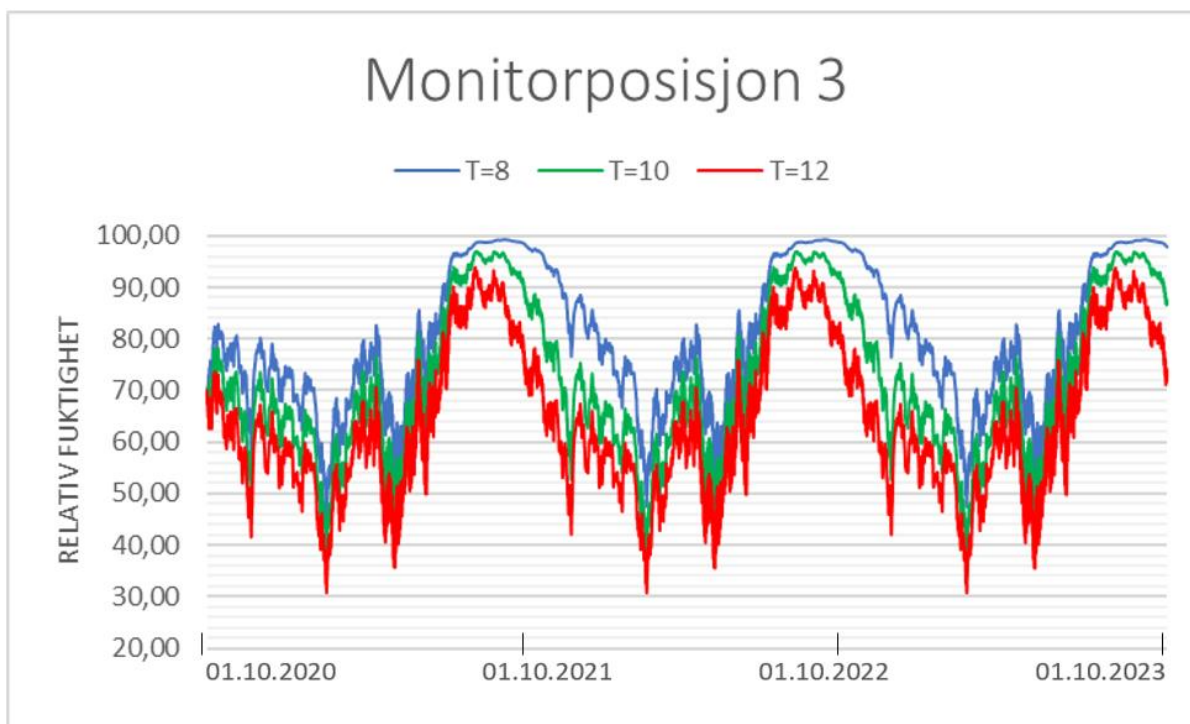
**Figur 47- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 1 i Bergen over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 1 for variant 1 er vurderer til gunstige forhold. Det er under vinteren den relative fuktigheten er høy, og nettopp da klimaet er kaldest. Det er stor utadrettet uttørking.

Som presentert i Tabell 1- Transportmekanismer som er inkludert eller utelatt i WUFI (Geving, 2016b) er ikke konveksjon medtatt i simuleringprogrammet. Drivkraften bak konveksjon kan for eksempel være temperaturforskjeller. Ved et sjikt med høy temperaturforskjell uten konveksjonssperre kan man anta at konveksjonen øker. Generelt kan man si at konveksjon øker med isolasjonstykkelsen. Man kan derfor anta en høyere relativ fuktighet enn hva som er indikert i Figur 47.

Resultatet fra Bergen viser lavere relativ fuktighet i monitorposisjon 1. Denne henger sammen med en mye lavere relativ fuktighet i uteluften. Som det fremkommer fra resultatene er det stor forskjell i RF avhengig hvor ishallen er plassert.

**Resultatet** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 48. Figuren viser meget høy relativ fuktighet avhengig av inneklime. Maksimal relativ fuktighet fra høy til lav innetemperatur er 93%, 97% og 99%. Perioden med RF over 80% fra høy til lav innetemperatur ligger på tre og en halv måned, overkant av fire måneder og underkant av sju måneder. Verdiene viser ingen tegn til økning eller reduksjon.



**Figur 48- RF for monitorposisjon 3 for variant 1 i Bergen over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 avhenger av inneklima. For et inneklima tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til kritiske fuktverdier. Bakgrunnen for dette er en høy relativ fuktighet over tolv uker der temperaturen er fra 14-16 °C.

For et inneklima lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til svært kritiske fuktverdier. Ved dette inneklima vil det foreligge en høy relativ fuktighet over 16 uker der temperaturen er mellom 12-15 °C. I tillegg er maksimal RF 97% og svært nære metning. Det vil derfor med høy sannsynlighet kondensere fritt vann i en lengre periode.

Til slutt er et inneklima tilsvarende 8 °C og RF=60% vurderer til svært kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 27 uker der temperaturen er fra 7-12 °C. I tillegg ligger maksimal relativ fuktighet svært nære metning. Det vil dermed foreligge stor sannsynlig for kondensasjon og muggdannelse.

Det er om sommeren den kritiske perioden oppstår. Under denne perioden er det innover rettet fuktstrøm. Fuktighetsakkumuleringen oppstår på grunn at den høye motstanden for vandampdiffusjon til PE-folien (70m). På den måten har ikke fuktigheten nå innadrettet uttørkingsmulighet. I tillegg er massivtreskjiven så kald at RF når 100% og skiller ut fritt vann gjennom kondensasjon.

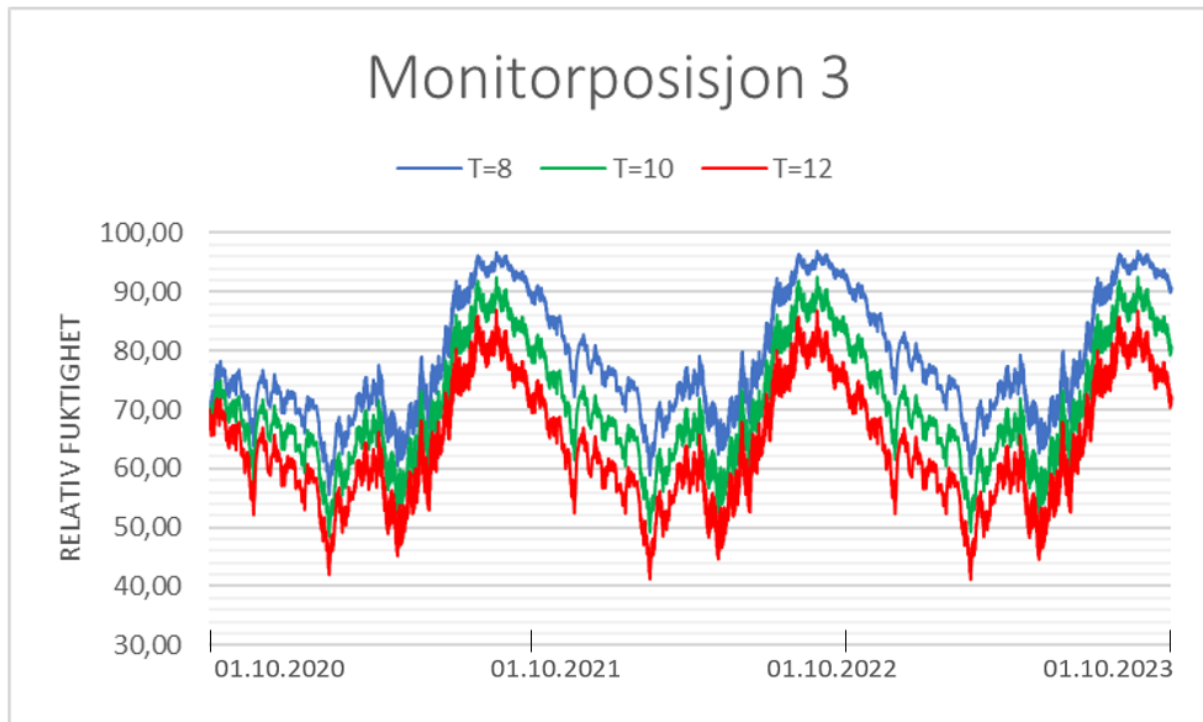
**Oppsummert** foreligger det stor sannsynlighet for muggdannelse i monitorposisjon 3. Det er høy relativ fuktighet over en lengre periode med høy temperatur. Kritiske verdier avhenger av inneklima, men ingen av variantene viser gunstige resultater. Varianten er ikke å anbefale.

#### **6.4.2 Variant 2- ISO og MA**

Variant 2 er bygd opp av utvendig kledning, luftesjikt, isolasjon og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 49. Som figuren viser varierer relativ fuktighet for de forskjellige inneklima. Maksimal relativ fuktighet fra høy til lav

innetemperatur er 86%, 92% og 96%. Perioden RF er over 80% fra høy til lav innetemperatur ligger rundt en og en halv måned, tre og en halv måned og overkant av fem måneder. Verdiene er stabile fra år til år. Temperaturen varierer etter inneklime og følger Tabell 14.



**Figur 49- RF for monitorposisjon 3 for variant 2 i Bergen over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 varierer etter inneklime. For et inneklime tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til gunstige fukttekniske forhold. Relativ fuktighet går over 80% fem uker i løpet av en sesong. Det foreligger ingen risiko for muggdannelse i en så kort periode ved 15 °C.

For et inneklime lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til kritiske fuktverdier. Ved dette inneklime vil det foreligge en høy relativ fuktighet over 14 uker der temperaturen er mellom 10-13 °C.

Til slutt er et inneklime tilsvarende 8 °C og RF=60% vurderer til svært kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 20 uker der temperaturen er fra 7-12 °C.

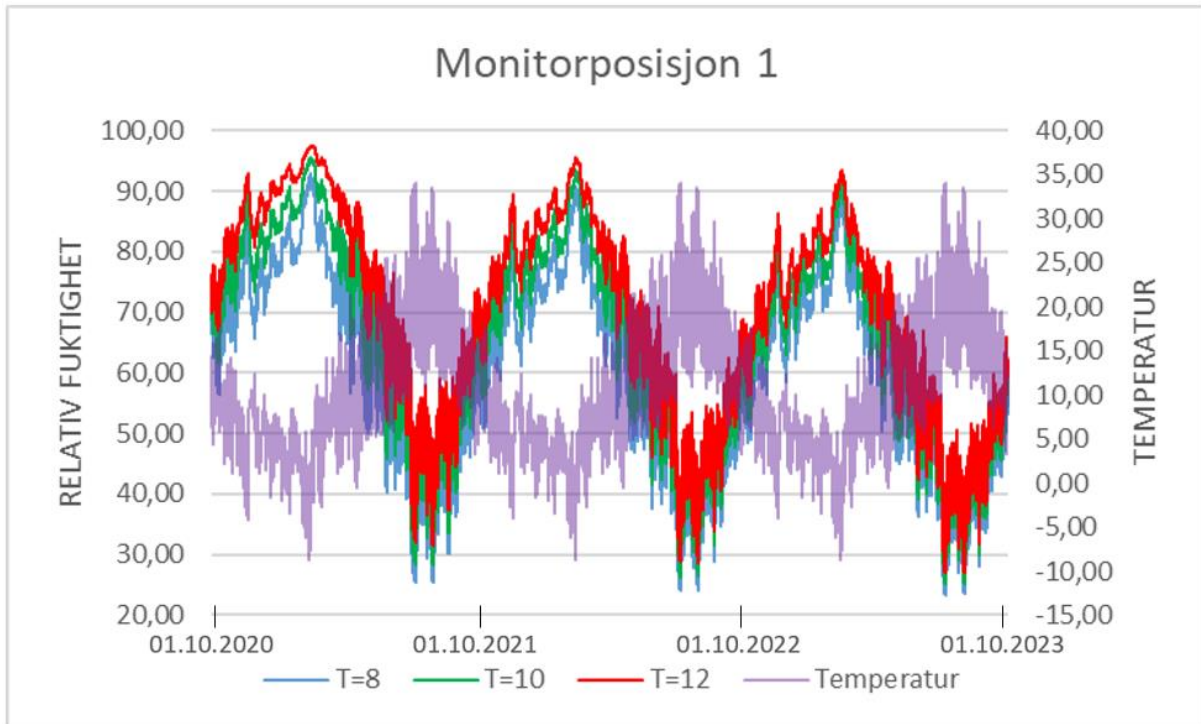
**Oppsummert** er anbefalingen av varianten avhengig av inneklime. For et inneklime lik 12 °C og RF=50% vil det foreligge marginal risiko for muggdannelse. Mens for et inneklime lik 8 °C og RF=60% vil det eksistere svært kritiske fuktforhold i monitorposisjon 3 og 4. Varianten kan anbefales om det styres mot et inneklime med høy temperatur. Temperaturen må minst være over 10 °C, og helst opp mot 12 °C for at konstruksjonen kan anbefales.

### 6.4.3 Variant 3- DS, ISO og MA

Variant 3 er bygd opp av utvendig kledning, luftesjikt, dampspærre, isolasjon og massivtre.



**Resultat** fra monitorposisjon 1 vises i Figur 50. Som figuren viser er det noe forskjell mellom maksimal relativ fuktighet for de ulike variantene i sesong 1. Videre stabiliserer verdiene seg og ligger omtrentlig likt for sesong 3. I sesong 1 er maksimal relativ fuktighet, fra høy til lav innetemperatur, 97%, 95% og 93%. Perioden der RF er over 80% ligger på, fra høy til lav innetemperatur, overkant av seks måneder, underkant av seks måneder og overkant av to måneder i første vintersesong. Temperaturen under disse månedene varierer fra -10 °C til 10 °C.



**Figur 50- RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 3 i Bergen over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 1 avhenger av inneklimate. For et inneklimate tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til noe kritiske forhold. Relativ fuktighet er over 80% 26 uker i løpet av en sesong. Temperaturen varierer mellom -8 °C og 15 °C. Stort sett ligger temperaturen på et akseptabelt nivå, men det er en periode første vinteren der temperatur og RF er høy samtidig. Det er på senvinteren denne perioden inntreffer. For tredje vintersesong er RF lavere i samme periode og medfører ikke noen problem. Det kan spekuleres i om resultatene hadde vært annerledes om det er satt enn annen startfuktighet i simuleringprogrammet.

For et inneklimate lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til gunstige fuktverdier. Ved dette inneklimate vil det foreligge en høy relativ fuktighet over 21 uker der temperaturen er mellom -8 °C og 10 °C. Fordelen er at RF avtar kjapt når temperaturen går opp.

Til slutt er et inneklimate tilsvarende 8 °C og RF=60% vurdert til svært gunstige fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over sju uker der temperaturen er fra -8 °C til 10 °C.

Det som denne varianten og akkurat denne monitorposisjonen som har størst forskjell i resultatene sammenlignet med de andre beliggenhetene. Bakgrunnen til forskjellen er uteklimate. Der varigheten av innadrettet fuktransport og nivået for relativ fuktighet i uteluften som er utslagsgivende. Dette er presentert i detalj i kapittel 6.1.1 Retning for

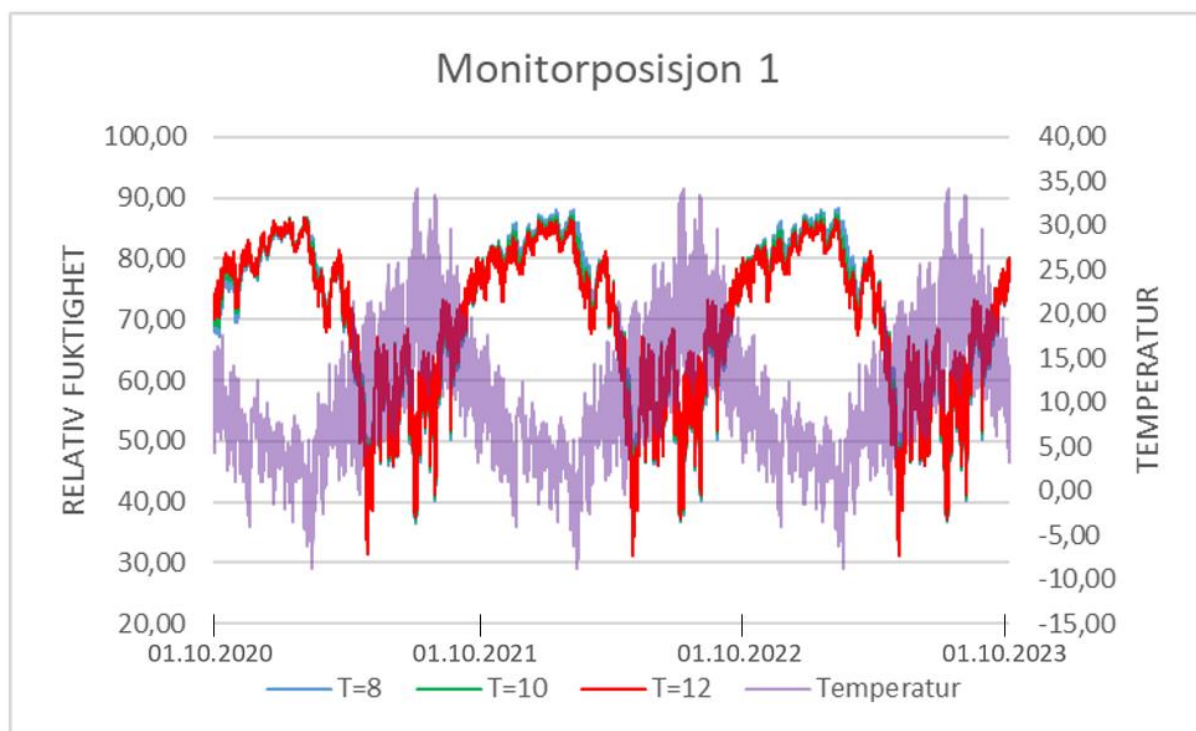
fuktstrøm. For Bergen er det innadrettet fukttransport store deler av året. Dette gjør det hensiktsmessig å plassere dampsperreren på yttersiden av konstruksjonen. Slik stoppes fuktighet å diffundere innover i konstruksjonen for å skape høy RF og eventuelt kondensere. Igjen kommer det frem at det er om vinteren det er høy relativ fuktighet i monitorposisjon 1. Det er da det er utadrettet fuktstrøm. Som det kommer frem fra figuren er da fordelaktig å gå for et inneklima med lav temperatur og absolutt fuktighet. Variant 3 for Bergen bygger på mye av de samme prinsippene ordinære hus har med tanke på plassert av dampsperre. I ordinære hus, går majoriteten av damptransport en vei. Det samme gjør damptransporten for variant 3 i Bergen med et inneklima lik 8 °C og RF=60%. Forskjellen er bare hvilken retning fuktstrømmen går, og på hvilken side av konstruksjonen dampsperreren er plassert.

**Oppsummert** avhenger vurderingen av inneklima. Det er monitorposisjon 1 som er utslagsgivende for variant 3. Monitorposisjon 1 er uavhengig av innetemperatur siden det er så høy varmemotstand mellom inneklimaet og monitorposisjonen. Det er differansen i fuktinnhold i inneluften som utgjør forskjellen i resultatene. Varianten kan definitivt anbefales om det styres mot et inneklima med lavt fuktinnhold.

#### 6.4.4 Variant 15- ISO, SDS og MA

Variant 15 er bygget opp av utvendig kledning, luftesjikt, isolasjon, smart dampsperre og massivtre.

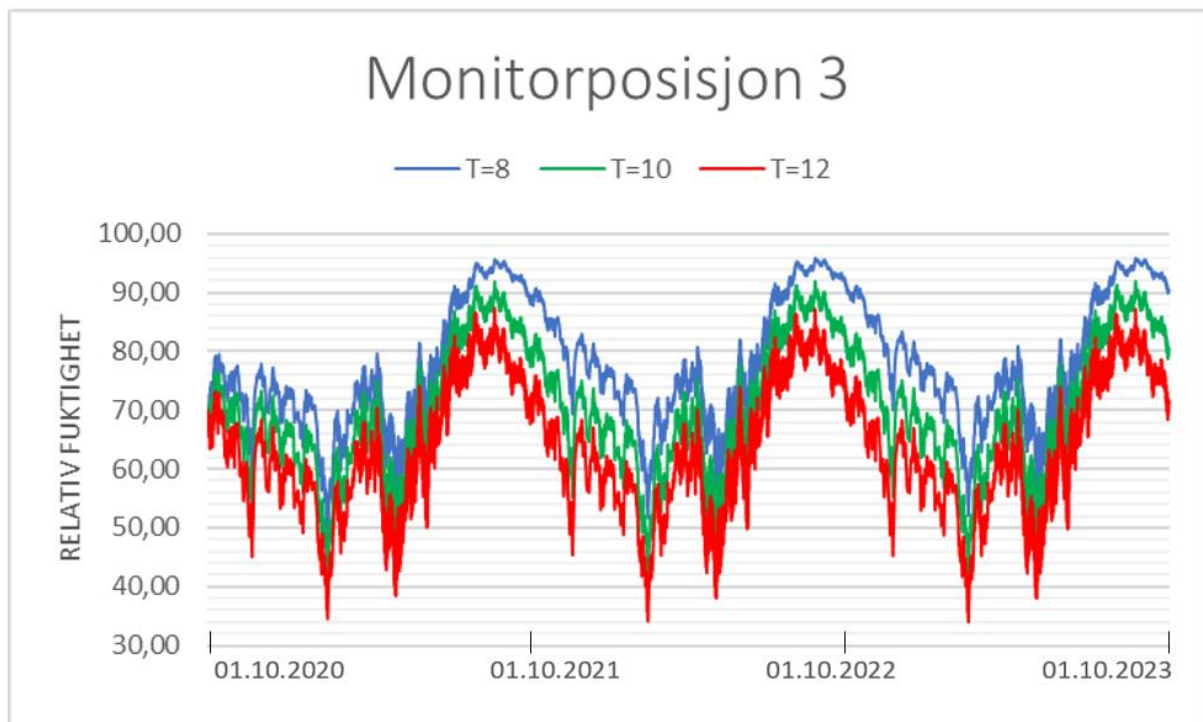
**Resultat** fra monitorposisjon 1 vises i Figur 51. Som det sees fra figuren er verdiene for relativ fuktighet nesten identiske. Maksimal relativ fuktighet stiger opp til 87%, og ligger over 80% seks måneder. Fuktighetsnivået øker noe første sesongen, men er deretter stabilt over simuleringsperioden. I denne perioden er temperaturen mellom -8 °C og 12 °C.



**Figur 51-** RF og temperatur for monitorposisjon 1 for variant 15 i Bergen over tre år

**Vurdering** av monitorposisjon 1 viser en middels høy relativ fuktighet over en lengre periode. Under denne perioden er temperaturen lav, og en vurdering i henhold til kritisk fukt-kriterier i Figur 3 er det liten sannsynlighet for muggdannelse. Fuktighetsnivå og temperatur er for lav under en for kort periode for at det skal eksistere grobunn for mugg- og råtesopp. Til sammenligning er resultatene for monitorposisjon 1 for variant 1 omtrentlig identiske. Det foreligger dermed ingen endring ved bruk av smart dampspærre for monitorposisjon 1.

**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 52. Resultatet fra de forskjellige variantene varierer. Maksimal relativ fuktighet, fra høy til lav innetemperatur ligger henholdsvis på, 86%, 92% og 96%. Perioden RF er over 80% ligger på, fra høy til lav innetemperatur, en måned, tre og en halv måned og fire og en halv måned. Fuktighetsnivået er stabilt fra år til år.



**Figur 52- RF for monitorposisjon 3 for variant 15 i Bergen over tre år**

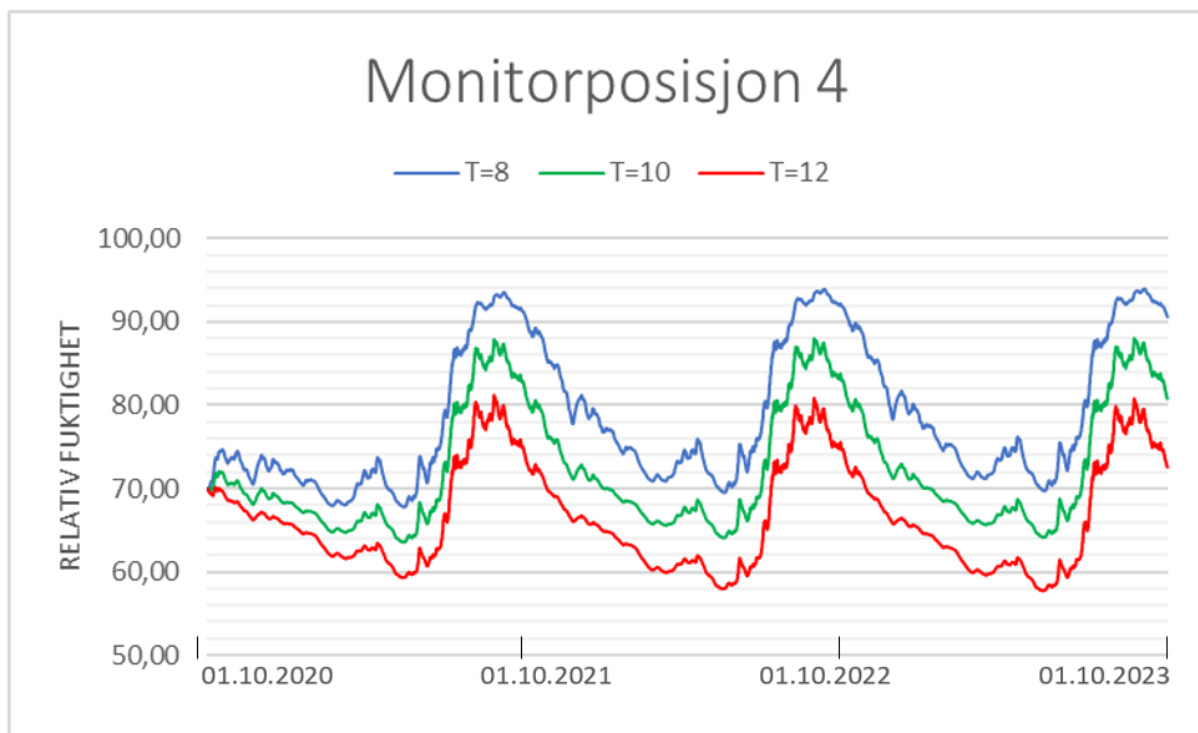
**Vurdering** av monitorposisjon 3 avhenger av inneklimate. For et inneklimate tilsvarende 12 °C og RF=50% blir det vurdert til gunstige fuktverdier. Bakgrunnen for dette er en høy relativ fuktighet over sju uker. Maksimal relativ fuktighet er 86%. Perioden og relativfuktighet, uavhengig av temperatur, er for lav til at det skal være sannsynlighet for muggdannelse.

For et inneklimate lik 10 °C og RF=55% blir det vurdert til noe kritiske fuktverdier. Ved dette inneklimate vil det foreligge en høy relativ fuktighet over 14 uker der temperaturen er mellom 12-15 °C. Til slutt er et inneklimate tilsvarende 8 °C og RF=60% vurderer til svært kritiske fuktverdier. Grunnen til denne vurderingen er høy relativ fuktighet over 23 uker der temperaturen er fra 7-13 °C. I tillegg ligger maksimal relativ fuktighet på 96%. Det vil dermed foreligge stor sannsynlighet for kondensasjon og muggdannelse ved de gitte premissene.

Det er om sommeren den kritiske perioden oppstår. Under denne perioden er det innover rettet fuktstrøm. I denne perioden vil den smarte dampspærren regulere motstand for

vanndampdiffusjon i henhold til Tabell 7, og bli meget dampåpen. Det er derfor verdiene for monitorposisjon 3 for variant 15 er lavere enn verdiene for monitorposisjon 3 for variant 1. Fordelen med dette er en høyere transport av fuktighet når monitorposisjon 3 er fuktig. Ulempen er høyere fuktighetsnivå i massivtreet og monitorposisjon 4.

**Resultat** fra monitorposisjon 4 vises i Figur 53. Figuren viser varierende resultat avhengig av inneklima. Maksimal relativ fuktighet varierer, og ligger på en verdi, fra høy til lav inne temperatur på, 80%, 87% og 94%. Perioden der RF er over 80% er på en uke, to måneder og underkant av fem måneder. Det er ingen endring i verdiene fra år til år.



**Figur 53- RF for monitorposisjon 4 for variant 15 i Bergen over tre år**

**Vurdering** for monitorposisjon 4 varierer etter inneklima. Vurderingen er relativt lik som for monitorposisjon 3. Vurderingen gjort for monitorposisjon 3 er gjeldende for monitorposisjon 4.

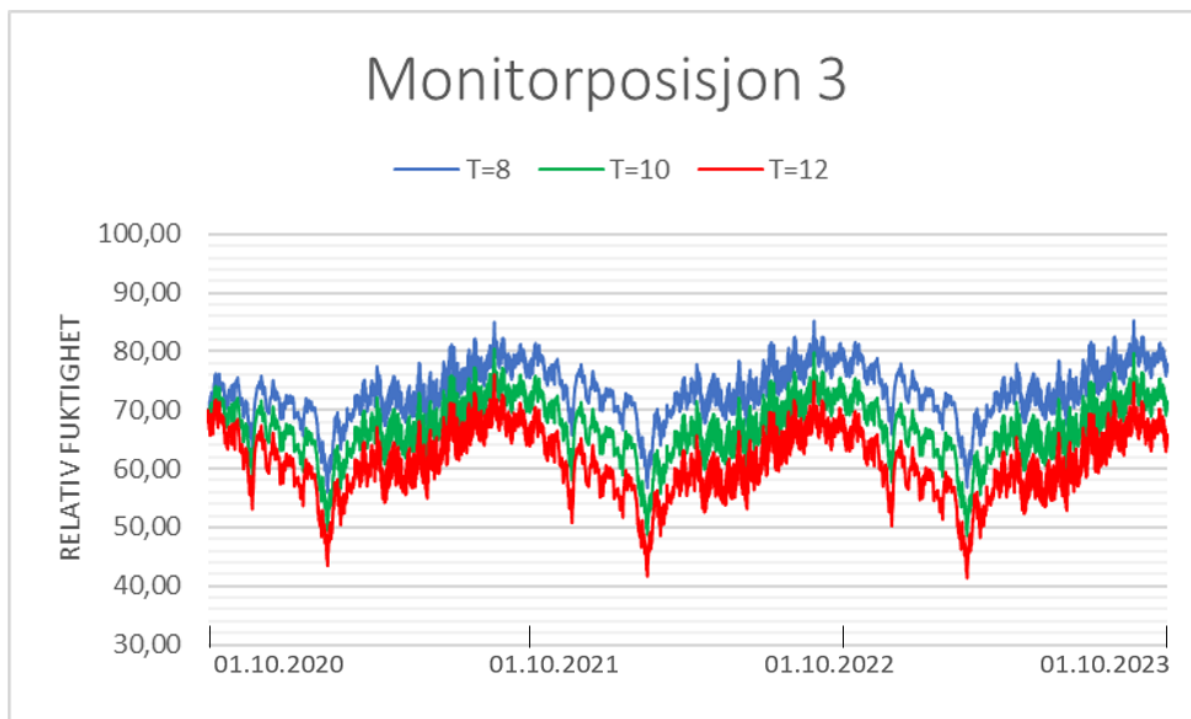
**Oppsummert** sees det en klar effekt av bruk av smart dampspærre. Spærren regulerer fuktigheten i konstruksjonen og gir den høyere innadrettet uttørring. Ulempen med dette er når den transporterer for mye fuktighet inn til massivtreet. Det er der grobunnen for muggdannelse er størst, og der man helst ikke vil ha et høyt fuktighetsnivå. Variant 15 kan anbefales ved bruk av høye inne temperaturer. Om temperaturen nærmer seg 10 °C vil det foreligge kritiske fukttekniske forhold i monitorposisjon 3 og 4, og dermed være ugunstig.

#### **6.4.5 Variant 16- SDS, ISO og MA**

Variant 16 består av utvendig kledning, luftesjikt, smart dampspærre, isolasjon og massivtre.

**Resultat** fra monitorposisjon 3 vises i Figur 54. Resultatene varierer etter inneklima. Maksimal relativ fuktighet, fra høy til lav inne temperatur, ligger på 74%, 78% og 83%.

Verdiene er stabile år til år. For et inneklima med 8 °C og RF=60% ligger RF periodevis over 80% RF. Periodene er på rundt en uke, og tilsvarer en samlet periode på sju uker.



**Figur 54- RF for monitorposisjon 3 for variant 16 i Bergen over tre år**

**Vurdering** av monitorposisjon 3 varierer noe etter inneklima. Fuktighetsnivået for de to høyeste inneklimateperaturene er aldri så høyt at det eksisterer risiko for muggdannelse. For et inneklima lik 8 °C og RF=60% er verdiene periodevis over 80%, men aldri i en så lang periode at det eksisterer sannsynlighet for muggdannelse. Det kan likevel spekuleres i om fukttilskudd fra konveksjon kan gi noe sannsynlighet for muggdannelse.

**Oppsummert** viser varianten meget gunstige resultater. Fordelen med å bruke smart dampspærre er betydelig. Varianten er definitivt å anbefale. Det er likevel anbefalt å styre unna et inneklima med lav inneklimateperatur, da dette inneklimateet viser noe verre resultater.

## 6.5 Anbefaling og oppsummering

I Tabell 17, Tabell 18 og Tabell 19 sees den overordnede vurderingen av variantene avhengig av inneklima og beliggenhet. Vurderingen er lagt frem ved hjelp av fargekoder. Hvilken fargekode som indikerer hvilken vurdering sees her.



Bakgrunn for vurdering er gjort på følgende premisser:

**Gunstig**- Det er ingen indikasjon for muggdannelse.

**Lite kritisk**- Det er liten risiko for muggdannelse.

**Noe kritisk**- Det er verdier som er under kritisk muggvekstnivå, men som kan med fukttilskudd fra lekkasjer og konveksjon gi kritiske verdier.

**Kritisk**- Det er kritiske verdier. Verdiene alene overskrider kritiske fuktverdier satt av Figur 3- Kritisk muggvekstnivå

**Svært kritisk**- Det er kritiske verdier som overskrider nivået satt i Figur 3, samtidig som det eksisterer stor sannsynlighet for kondensasjon av fritt vann.

**Tabell 17- Vurdering av varianter i Trondheim**

Variant	Anbefaling avhengig av inneklima		
	12 °C RF=50%	10 °C RF=55%	8 °C RF=60%
1- ISO, DS og MA	Orange	Rød	Rød
2- ISO og MA	Limegrønn	Gul	Rød
3- DS, ISO og MA	Rød	Orange	Orange
15- ISO, SDS og MA	Limegrønn	Orange	Rød
16- SDS, ISO og MA	Grønn	Grønn	Gul

**Tabell 18- Vurdering av varianter i Oslo**

Variant	Anbefaling avhengig av inneklima		
	12 °C RF=50%	10 °C RF=55%	8 °C RF=60%
1- ISO, DS og MA	Orange	Rød	Rød
2- ISO og MA	Grønn	Gul	Orange
3- DS, ISO og MA	Rød	Rød	Orange
15- ISO, SDS og MA	Limegrønn	Gul	Orange
16- SDS, ISO og MA	Grønn	Grønn	Grønn

**Tabell 19- Vurdering av varianter i Bergen**

Variant	Anbefaling avhengig av inneklima		
	12 °C RF=50%	10 °C RF=55%	8 °C RF=60%
1- ISO, DS og MA	Orange	Rød	Rød
2- ISO og MA	Limegrønn	Orange	Rød
3- DS, ISO og MA	Gul	Limegrønn	Grønn
15- ISO, SDS og MA	Limegrønn	Orange	Rød
16- SDS, ISO og MA	Grønn	Grønn	Limegrønn

**Variante 1** er ikke å anbefale. Varianten er bygd opp med innvendig dampsperre. Konstruksjonen er bygd opp av forutsetningen at fuktstrømmen hovedsakelig er

utadrettet. Dampspærren skal som ordinære konstruksjoner hindre skadelig høy RF og kondens inn i ytterkonstruksjonen. Kapittel 6.1.1 Retning for fuktstrøm viser at majoriteten av fuktstrømmen er innadrettet, spesielt for Bergen. I resultatkapitlet kommer det frem at det forekommer høy relativ fuktighet under store deler av sommerhalvåret i konstruksjonen. I tillegg eksisterer det høy risiko for kondensasjon av fritt vann i varianten. Det sees en klar forverring ved lave innetemperaturer. Varianten har kritiske fukttekniske forhold og er dermed ansett som en ugunstig variant. Varianten er ikke å anbefale uansett inneklime eller geografisk beliggenhet.

**Variant 2** har varierende vurdering. Varianten er bygd opp uten dampspærre. Konstruksjonen har dermed ikke noe sjikt med høy vanndampmotstand. Massivtreet er det sjiktet med høyst vanndampmotstand. Konstruksjonen baserer seg på hypotesen at høy uttørkingsgrad skal hindre høyt fuktinnholdet i konstruksjonen. Variasjon i inneklimate har stor påvirkning på denne konstruksjonen. En reduksjon i innetemperatur vil forverre forholdene. For et inneklime lik 12 °C og RF=50% vil det foreligge liten risiko for muggdannelse etter resultatene. Mens for et inneklime lik 8 °C og RF=60% vil det eksistere kritiske fuktforhold i konstruksjonen. Varianten kan anbefales om det styres mot et inneklime lik 12 °C og RF=50%. Det er små geografiske forskjeller for denne konstruksjonen.

**Variant 3** har ulik vurdering etter geografisk beliggenhet og inneklime. Varianten er bygd opp med utvendig dampspærre. Konstruksjonen har helt andre premisser sammenlignet med variant 1 og 2. Med å flytte dampspærren på utvendig side oppnår man å stoppe innadrettet vanndampdiffusjon. På en slik måte skal konstruksjonen hindre vanndampdiffusjon inn om sommeren. For Bergen viser varianten akseptable verdier om inneklimate styres mot 8 °C og RF=60%. Det er mindre fuktighet i luften ved dette inneklimate og dermed er utadrettet fuktstrøm mindre. Dette er fordelaktig med tanke på energitap. Som presentert i kapittel 4.1.1 Energibruk bruker kjøling og oppvarming hele 69% av energibruken til en ishall. Ved å drifte en ishall med lav temperatur oppnår man mindre oppvarming og mindre kjøling for isflaten. For Oslo og Trondheim er varianten uaktuell uansett inneklime.

**Variant 15** har ulike resultater avhengig av geografisk beliggenhet og inneklime. Varianten er bygd opp av noe de samme prinsippene som variant 1. Prinsippet bak konstruksjonen er å stenge for utadrettet diffusjon, men redusere motstand for vanndampdiffusjon når den relative fuktigheten blir høy, og dermed gi større innadrettet uttørring. På en slik måte kan fuktinnholdet i konstruksjonen reguleres når relativ fuktighet er høy. Det sees en klar effekt av bruk av smart dampspærre. Spærren regulerer fuktigheten i konstruksjonen og gir den høyere innadrettet uttørring om sommeren når fuktstrømmen er innadrettet. Ulempen med dette er når det er for mye fuktighet i konstruksjonen. Da vil det transporteres for mye fuktighet inn til massivtreet. Det er der grobunnen for muggdannelse er størst, og der man helst ikke vil ha en høy RF. For Trondheim, Oslo og Bergen er variant 15 vurdert til gunstig om det styres mot et inneklime med 12 °C og RF=50%. Om det blir styrt mot et kaldere inneklime blir det relativ fuktighet for høy i konstruksjonen. Om temperaturen synker under 10 °C vil det foreligge kritiske fuktforhold for varianten.

**Variant 16** kan definitivt anbefales. Varianten er bygd opp av noe de samme prinsippene som variant 3, og skal hindre innadrettet vanndampdiffusjon om sommeren, men åpne for utadrettet uttørring når den relative fuktigheten inne i konstruksjonen er høy. Det foreligger stor effekt av bruk av smart dampspærre. Varianten regulerer

fuktforholdene i konstruksjonen på en meget god måte. Varianten har høy nok utvendig motstand for vanndampdiffusjon under sommeren når fuktstrømmen er innadrettet. I løpet av vinteren er fuktstrømmen utadrettet, og RF i uteluften høy. Da vil Isola AirGuard smart dampspærre redusere motstand for vanndampdiffusjon og tillate høyere utadrettet uttørking. For Trondheim anbefales det å holde en temperatur over 10 °C med et duggpunkt på minst 1 °C. For Oslo og Bergen kan varianten brukes med samtlige varianter av inn klima, men om fukttillskudd fra konveksjon og lekkasjer medtas bør inn klimaet minst være minst 10 °C og ha et duggpunkt på 1 °C.



## 7 Konklusjon

Studiens formål var å kartlegge hvilken ytterveggkonstruksjon som er gunstigst for ishaller ved bruk av massivtre som innvendig kledning.

Resultatene presentert i denne rapporten viser at geografisk beliggenhet har vesentlig betydning på valg av ytterveggsoppbygning. En konstruksjon som er gunstig en plass, trenger nødvendigvis ikke være gunstig en annen plass. Således må alltid geografisk beliggenhet hensyntas når det bestemmes for ulike varianter.

Variasjon av inneklima har vist seg å være meget utslagsgivende for enkelte varianter. Det vises stor variasjon i resultatene for ulike inneklima.

Ut fra resultatene i denne studien er variant 16 den ytterveggkonstruksjonen som er gunstigst for ishaller ved bruk av massivtre som innvendig kledning. Variant 16 består av utvendig kledning, luftesjikt, smart dampspærre, isolasjon og massivtre. Varianten har den klart beste vurderingen i samtlige beliggenheter. Varianten viser stor fleksibilitet med tanke på inneklima. Den er ikke avhengig av et bestemt inneklima, og har gode utadrettet uttørkingsforhold om vinteren, samtidig som den har tilstrekkelig motstand for innadrettet vanndampdiffusjon om sommeren.

## 8 Videre arbeid

I denne studien har det blitt gjort enkelte forutsetninger som ikke nødvendigvis gjenspeiler realiteten. Den mest essensielle forenklingen er at hallen driften gjennom hele året. Fra litteraturstudien kommer det frem at dette ikke er vanlig praksis. Under sommeren vil majoriteten av ishallene smelte vekk isen og ha en periode uten is. I denne perioden vil inneklimate endre seg. Fra denne studien kommer det frem at det er nettopp under sommerperioden enkelte varianter har sin kritiske periode. Studien kan heller ikke bevise hvordan gunstige varianter reagerer med et endret inneklimate. Videre arbeid vil være å se nærmere på hva som skjer med ulike varianter under perioden der det ikke er is i hallen. Arbeidet må kartlegge hvordan temperaturen endres, og hvilke fuktighetsnivå luften innehar under denne perioden. Dette vil være avhengig av flere faktorer, blant annet aktivitet i ishallen og hvordan den driftes.

Annet videre arbeid vil være å se på andre beliggenheter, varianter og oppbygning. Denne rapporten har bare sett på en konstruksjonsoppbygning med massivtre og REDAir isolasjon. Et annet perspektiv vil være å se på Sandwich-elementer, eller annen oppbygning.

Rapporten har kun sett på ytterveggkonstruksjon. Et annet perspektiv vil være å se på takkonstruksjoner, er oppbygningen som er gunstig for yttervegg også gunstige som takkonstruksjon?

En parameter som ikke er endret er varmemotstanden til konstruksjonen. Siden temperaturen i en ishall er vesentlig nærmere gjennomsnittstemperatur i Norge er det nødvendigvis ikke hensiktsmessig med en såpass høy varmemotstand til ytterkonstruksjonen. Sett fra et energiperspektiv er det muligens energisløsing å bruke store mengder isolasjon om ikke besparelse med tanke på oppvarming og kjøling over byggets levetid forsvarer dette. Fra et bygningsfysisk perspektiv endres konstruksjonens premisser om varmemotstanden endres. Temperaturer i ulike posisjoner forandres, og dermed den relative fuktigheten i samme posisjon. Dette vil muligens føre til at ugunstige varianter blir mer gunstige. Hvordan dette påvirker variantene i denne rapporten vites ikke, og er verdt å se mer på.

## 9 Referanser

- Aarstad, J., Treteknisk, Glasø, G., Treteknisk og Bunkholt Aasmund, T. (2011) *Fokus på tre*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf>.
- Agnalt, M. (2013) *Smarte dampsperrer i bindingsverksvegger: Innadrettet uttørring i høyiolerte konstruksjoner*, Institutt for bygg, anlegg og transport.
- Byggforskserien (2003a) 573.430 *Materialdata for vanndamptransport*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/606/materialdata\\_for\\_vanndamptransport](https://www.byggforsk.no/dokument/606/materialdata_for_vanndamptransport) (Hentet: 20.01 2019).
- Byggforskserien (2003b) 573.121 *Materialer til luft- og damptetting*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/598/materialer\\_til\\_luft\\_og\\_damptetting#i31](https://www.byggforsk.no/dokument/598/materialer_til_luft_og_damptetting#i31) (Hentet: 21.01 2019).
- Byggforskserien (2005) 701.401 *Muggsopp i bygninger. Forekomst og konsekvens for inneklimate*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/3231/muggsopp\\_i\\_bygninger\\_forekomst\\_og\\_konsekvenser\\_for\\_inneklimate](https://www.byggforsk.no/dokument/3231/muggsopp_i_bygninger_forekomst_og_konsekvenser_for_inneklimate) (Hentet: 11.02 2019).
- Byggforskserien (2007) 720.082 *Råte- og fargeskadesopp. Skadetyper og utbedring*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/656/raate\\_og\\_fargeskadesopp\\_skadetyper\\_og\\_utbedring](https://www.byggforsk.no/dokument/656/raate_og_fargeskadesopp_skadetyper_og_utbedring) (Hentet: 10.02 2019).
- Byggforskserien (2010) 700.110 *Byggskader. Oversikt*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/629/byggskader\\_oversikt](https://www.byggforsk.no/dokument/629/byggskader_oversikt) (Hentet: 20.01 2019).
- Byggforskserien (2015) 571.523 *Trevirke. Treslag og materialeegenskaper*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke\\_treslag\\_og\\_materialeegenskaper#i4](https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke_treslag_og_materialeegenskaper#i4) (Hentet: 28.01 2019).
- Byggforskserien (2018a) 474.533 *Byggfukt. Uttørring og forebyggende tiltak*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/227/byggfukt\\_uttoerking\\_og\\_forebyggende\\_tiltak](https://www.byggforsk.no/dokument/227/byggfukt_uttoerking_og_forebyggende_tiltak) (Hentet: 03.02 2019).
- Byggforskserien (2018b) 421.132 *Fukt i bygninger. Teorigrunnlag*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt\\_i\\_bygninger\\_teorigrunnlag#i3](https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag#i3) (Hentet: 04.02 2019).
- Edvardsen, K. I. og Ramstad, T. (2014) *Trehus*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- ENSO, S. (2018) *Teknisk brosjyre*. Tilgjengelig fra: <https://www.clt.info/wp-content/uploads/2017/09/Technical-brochure-CLT-NO.pdf> (Hentet: 05.05 2019).
- Fraunhofer (2014) *WUFI-Tutorial 2014- Handling of typical constructions in WUFI*. Tilgjengelig fra: [https://wufi.de/en/wp-content/uploads/sites/11/2014/09/Wufi1D\\_Handling\\_of\\_typical\\_constructions.pdf](https://wufi.de/en/wp-content/uploads/sites/11/2014/09/Wufi1D_Handling_of_typical_constructions.pdf) (Hentet: 05.06.2019 2019).
- Geving, S. og Thue, J. V. (2002) *Fukt i bygninger*. Norges byggforskningsinstitutt.
- Geving, S., Holme, J. og Uvsløkk, S. (2010) *Alternative dampsperrer med uttøringsmulighet mot innelufta*.
- Geving, S. (2012) *Smarte dampsperrer-et spennende nytt alternativ*. Tilgjengelig fra: [http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2012/09\\_Geving.pdf](http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2012/09_Geving.pdf) (Hentet: 11.02 2019).
- Geving, S. (2016a) *Beregningsverktøy for fukt-og varmetransport i bygningskomponenter*. Tilgjengelig fra: <http://www.wufi.no/> (Hentet: 19.02 2019).
- Geving, S. (2016b) *WUFI-1D 4.1 Pro-Norsk versjon*. Tilgjengelig fra: <http://www.wufi.no/Wufi1d.php3> (Hentet: 19.02 2019).

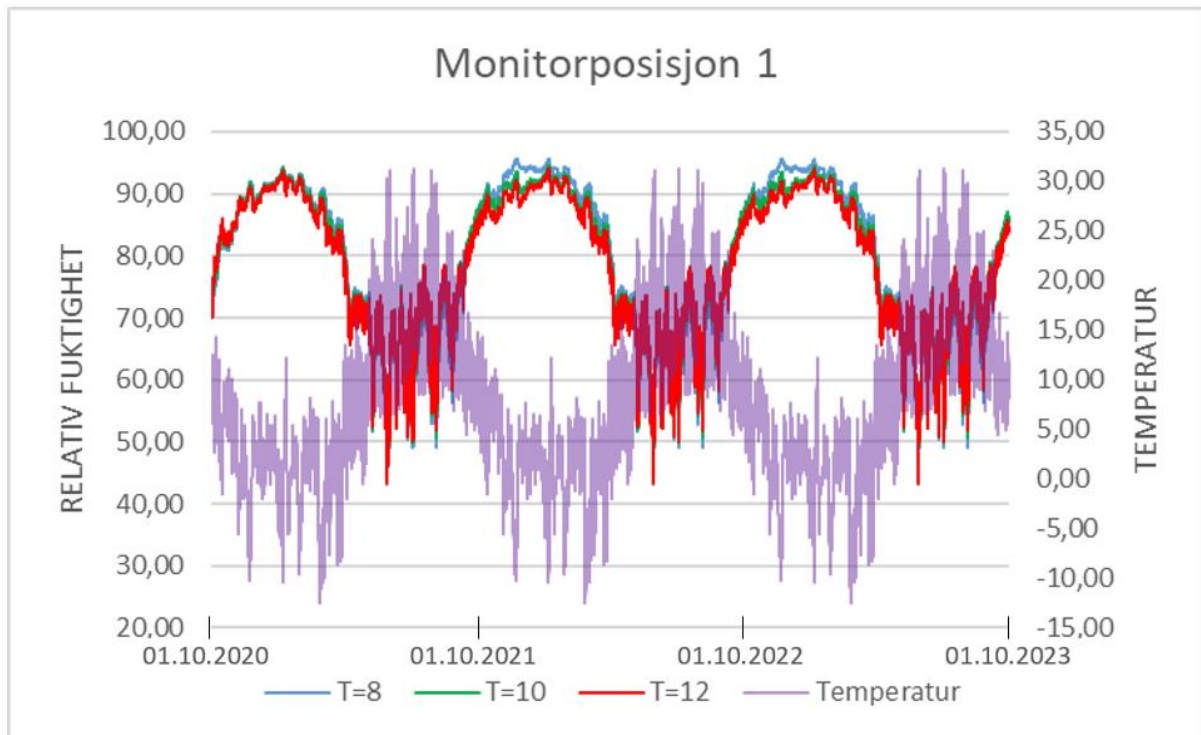
- Ishockeyforbund, N. (2017) *Ishaller i Norge*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.hockey.no/anlegg/ishaller-i-norge/> (Hentet: 23.04.2019 2019).
- Katavic, I. (2014) *Fuktbufring og latent varme i eksponerte treoverflater*, Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Nilsson, L.-O. J. R. T. (2009) Kunskapsläge och råd kring fuktsäker projektering och tillämpning av fuktkrav i BBR för träkonstruktioner: Lägesrapport 2009, Woodbuild E1, 3151.
- Proclima (2019) Maximal protection against structural damage and mould. Tilgjengelig fra: <https://www.proclima.com/systems/intello/how-it-works>.
- Rogstam, J. *et al.* (2017) NERIS-Del 1, Fuktproblematiken i ishallar-en introduktion.
- Rogstam, J. *et al.* (2018) NERIS Del 3: Fukttransport i ishallar-mekanismer och fysik.
- Thue, J. V. (2016) *Bygningsfysikk: grunnlag*. Fagbokforl.
- ToolBox, E. (2003) Mollier Diagram, *Mollier Diagram*. Tilgjengelig fra:  
[https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d\\_27.html](https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html)  
(Hentet: 01.02.2019).

# Vedlegg

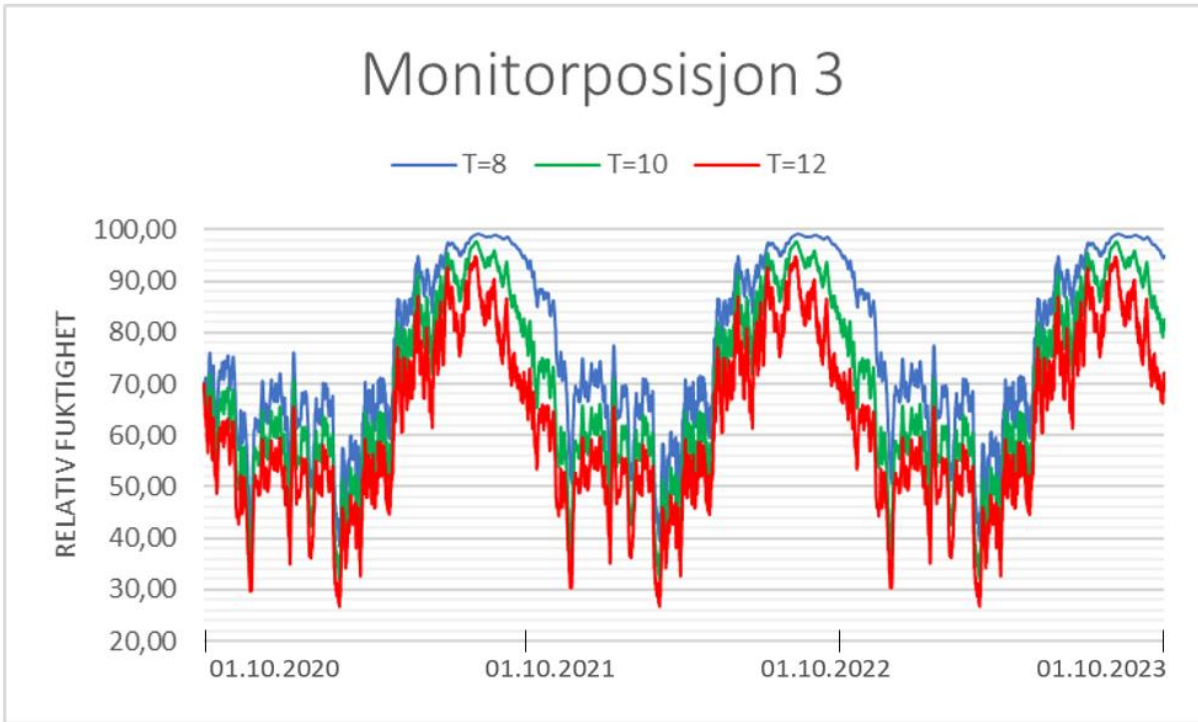
## A- RF for forskjellige monitorposisjoner

### A.1 RF for varianter i Trondheim

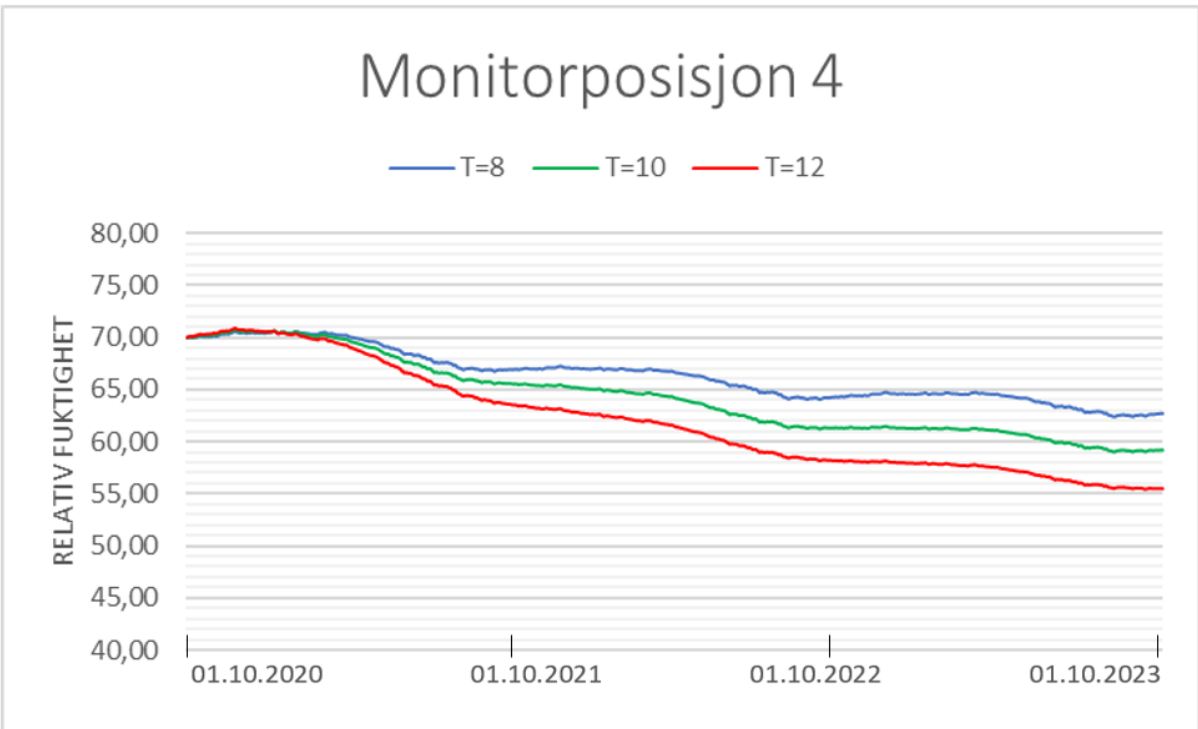
#### Variant 1



RF for monitorposisjon 1 for variant 1 i Trondheim over tre år

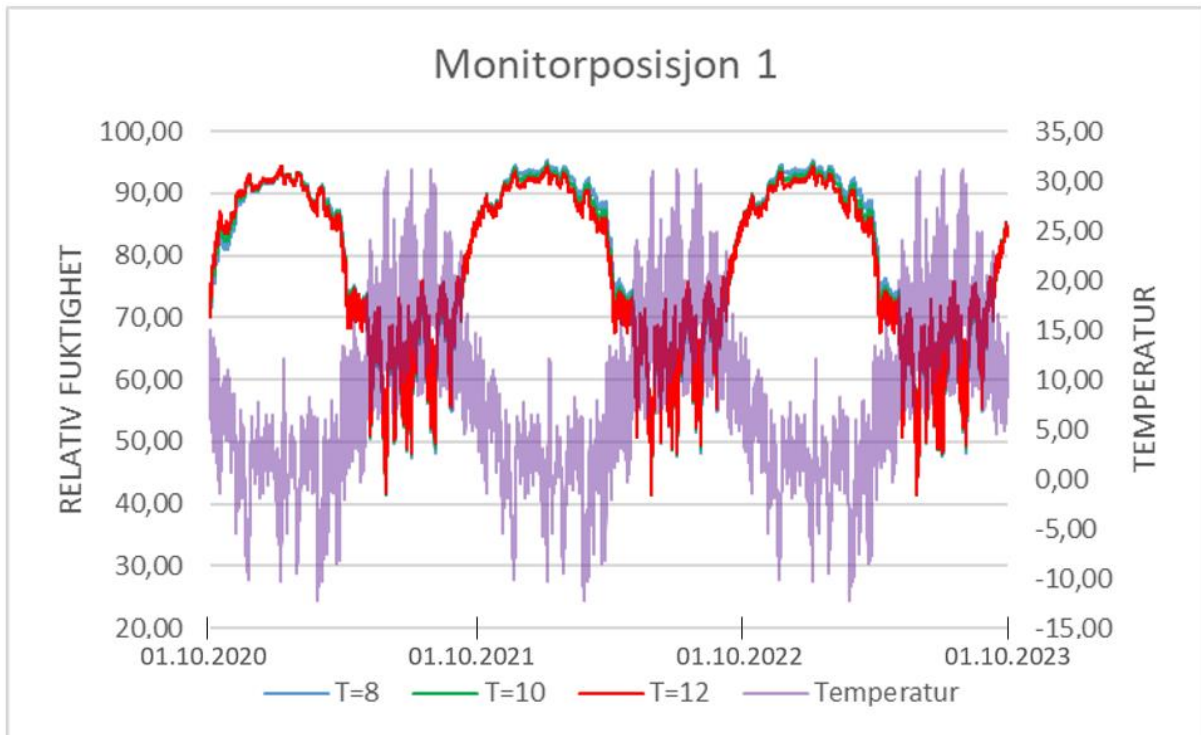


**RF for monitorposisjon 3 for variant 1 i Trondheim over tre år**

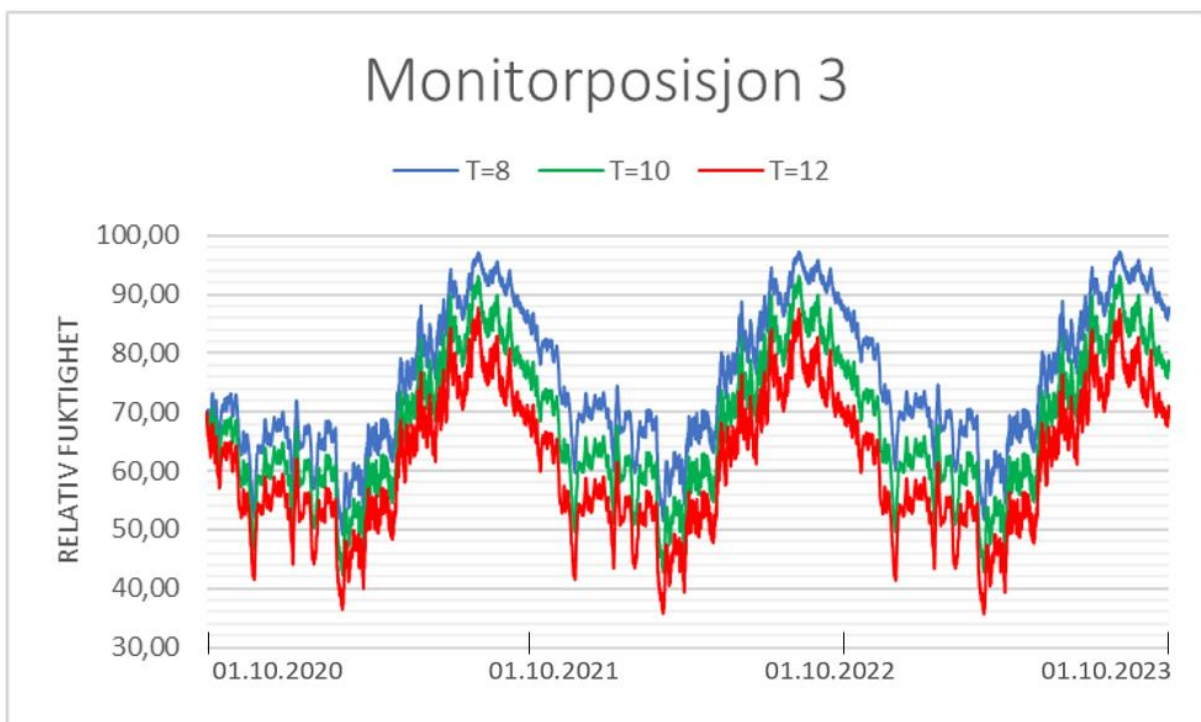


**RF for monitorposisjon 4 for variant 1 i Trondheim over tre år**

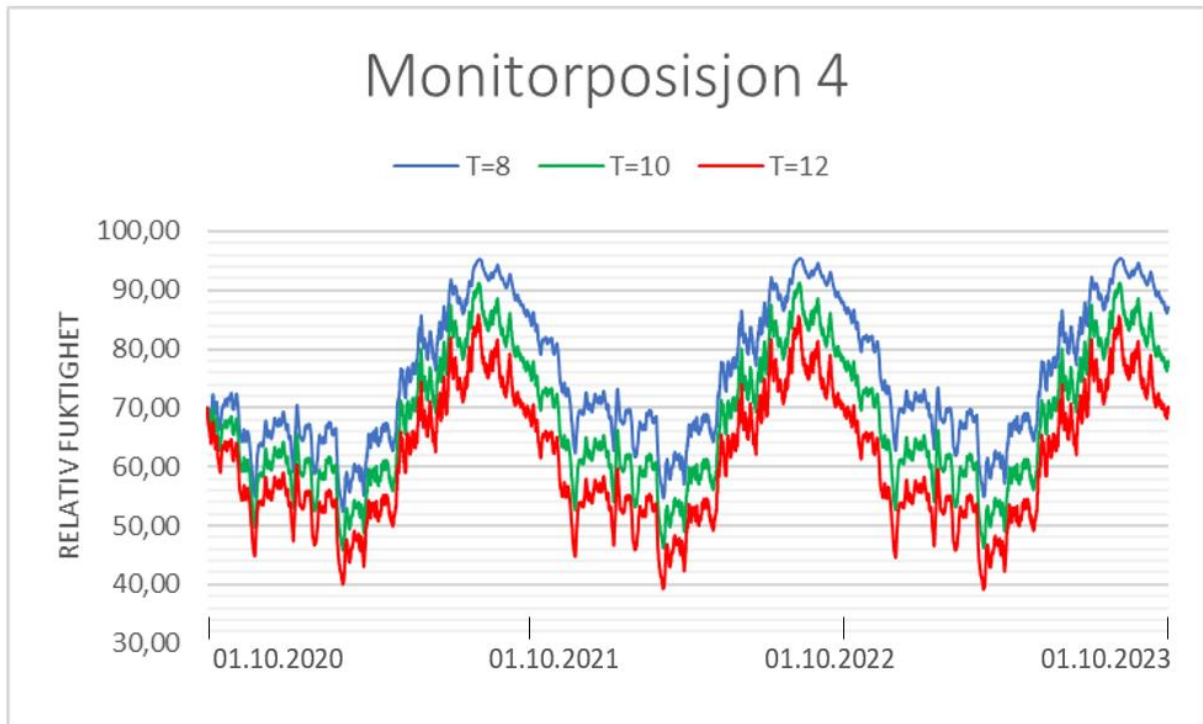
## Variant 2



## RF for monitorposisjon 1 for variant 2 i Trondheim over tre år

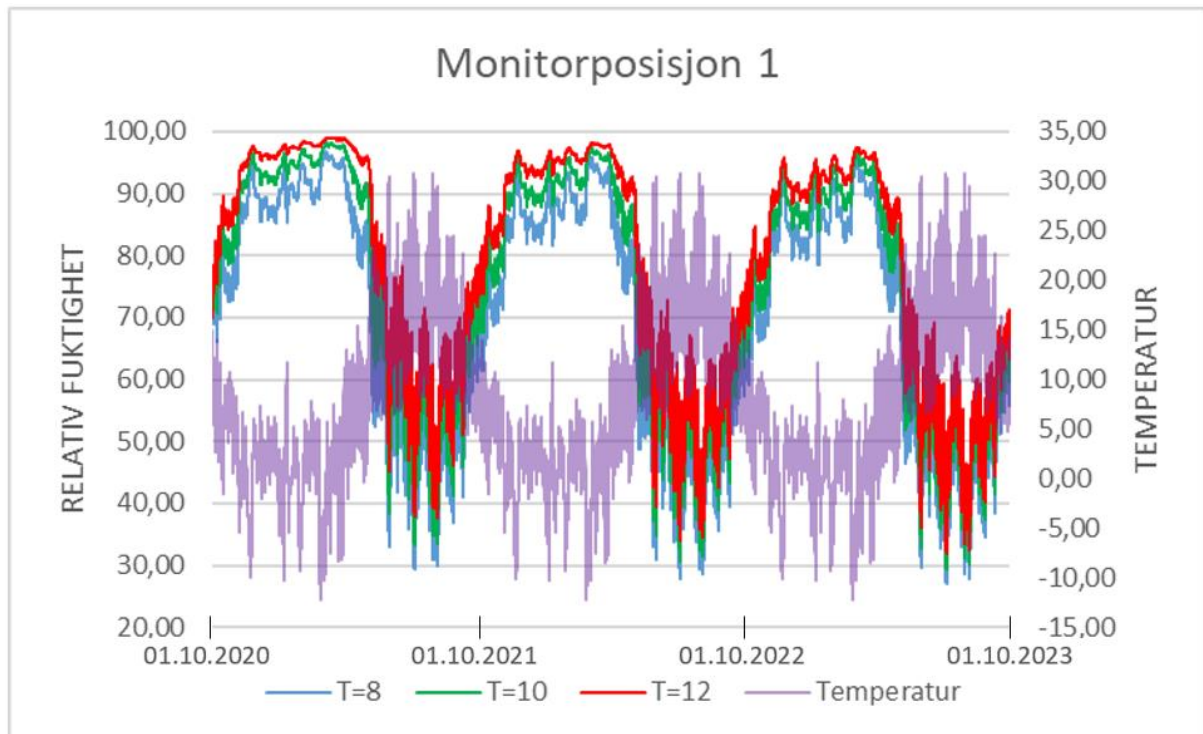


## RF for monitorposisjon 3 for variant 2 i Trondheim over tre år



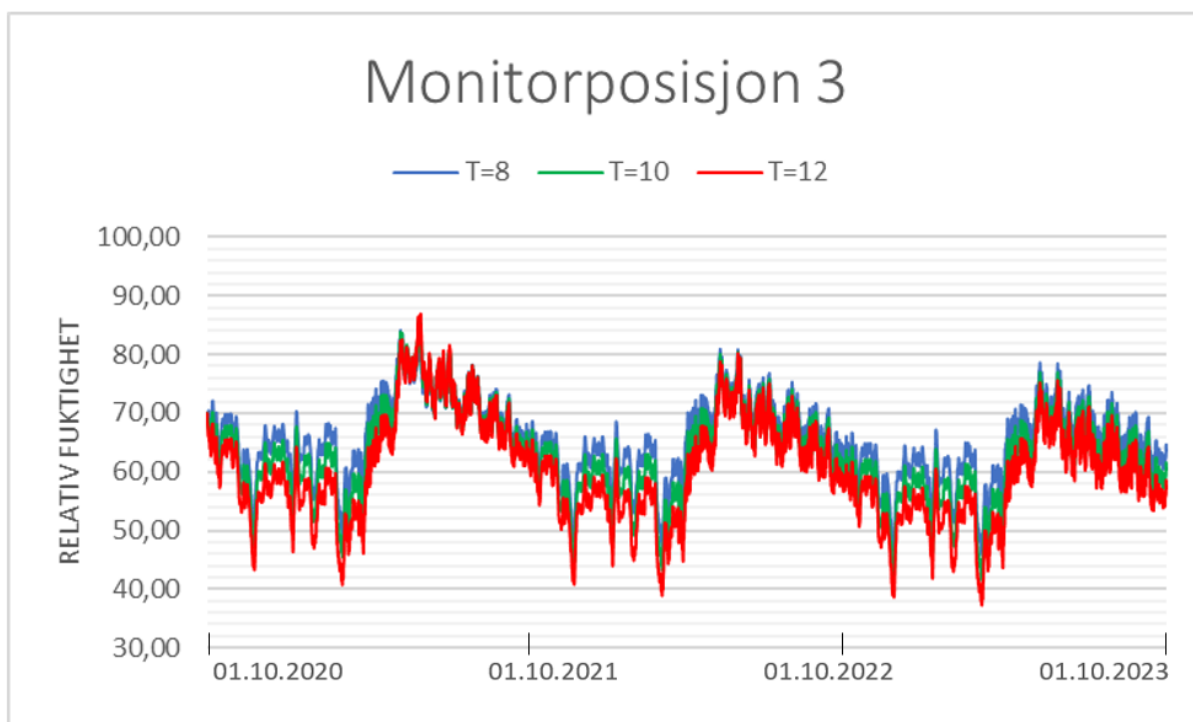
**RF for monitorposisjon 4 for variant 2 i Trondheim over tre år**

**Variant 3**

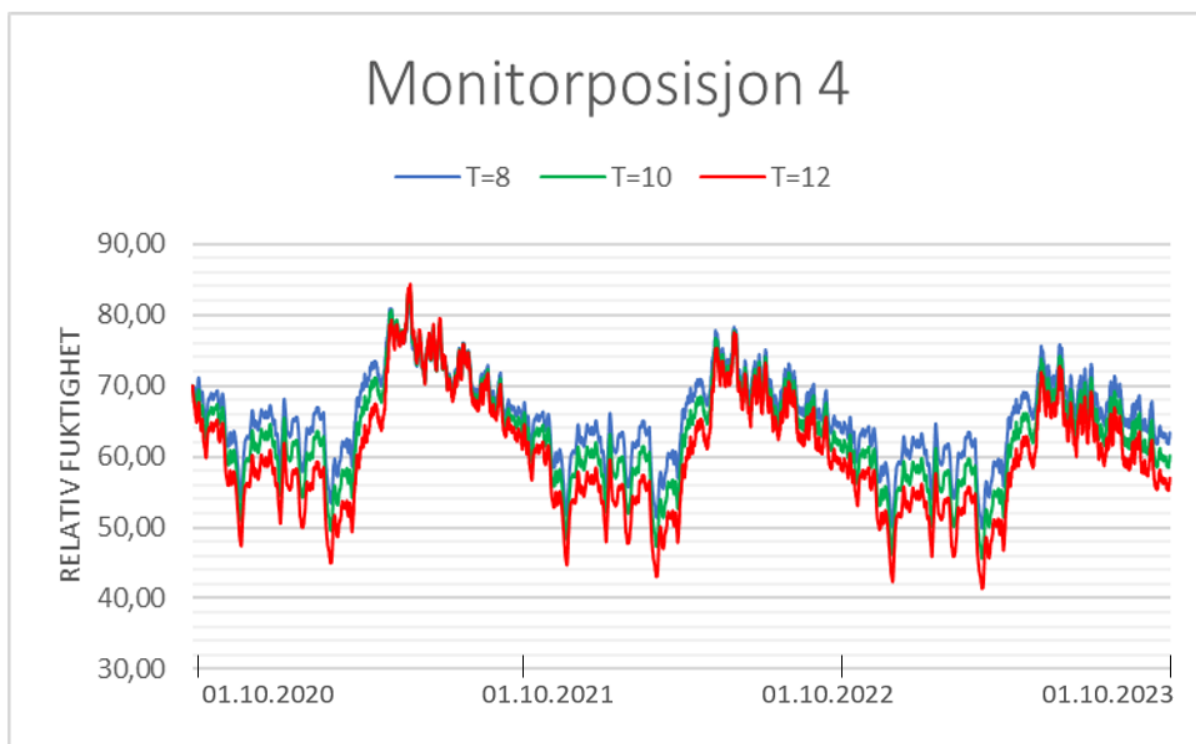


**RF for monitorposisjon 1 for variant 3 i Trondheim over tre år**



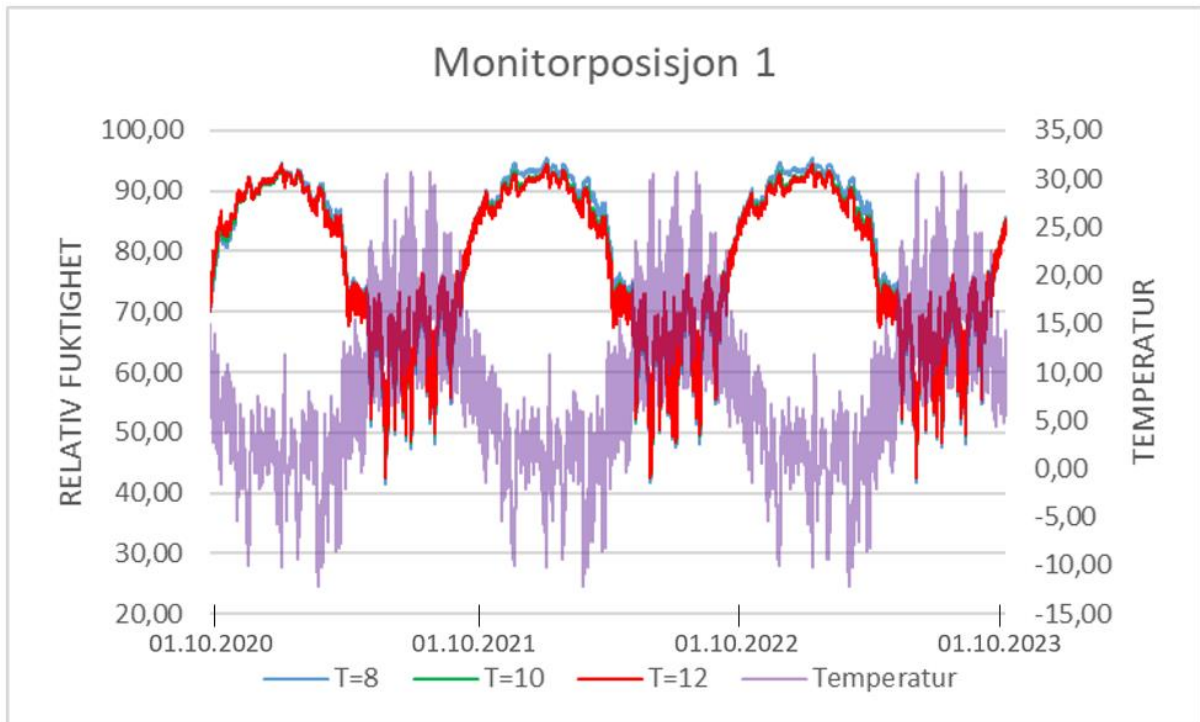


**RF for monitorposisjon 3 for variant 3 i Trondheim over tre år**

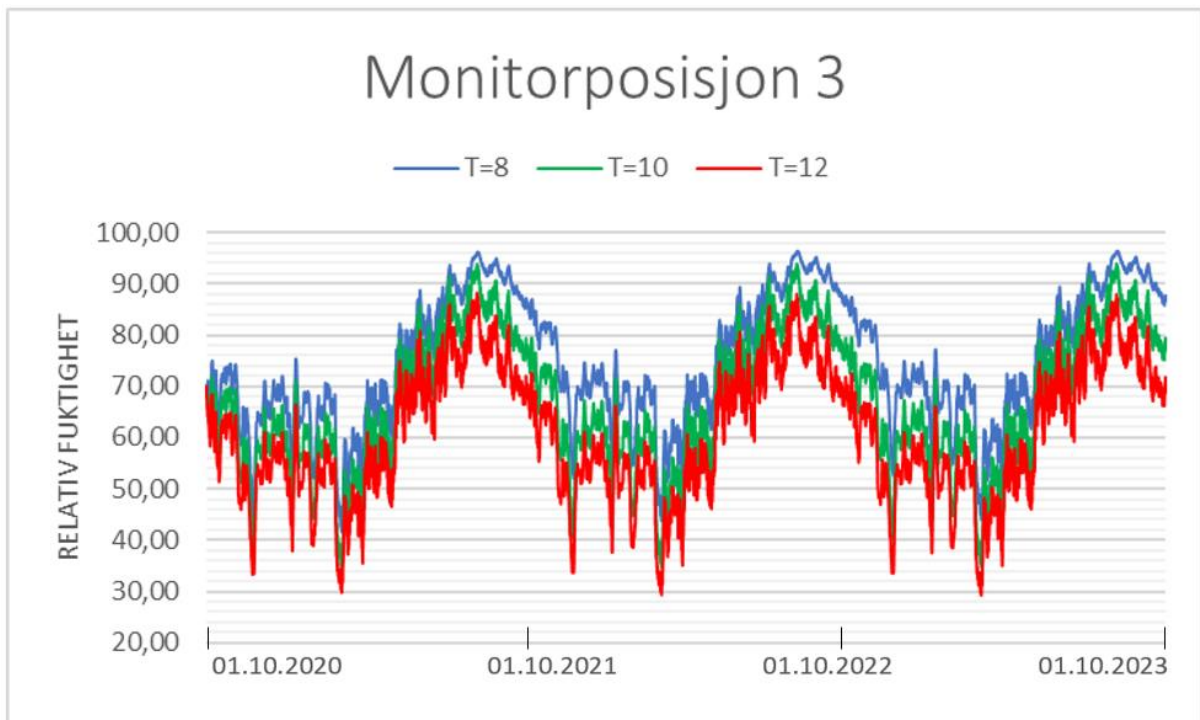


**RF for monitorposisjon 4 for variant 3 i Trondheim over tre år**

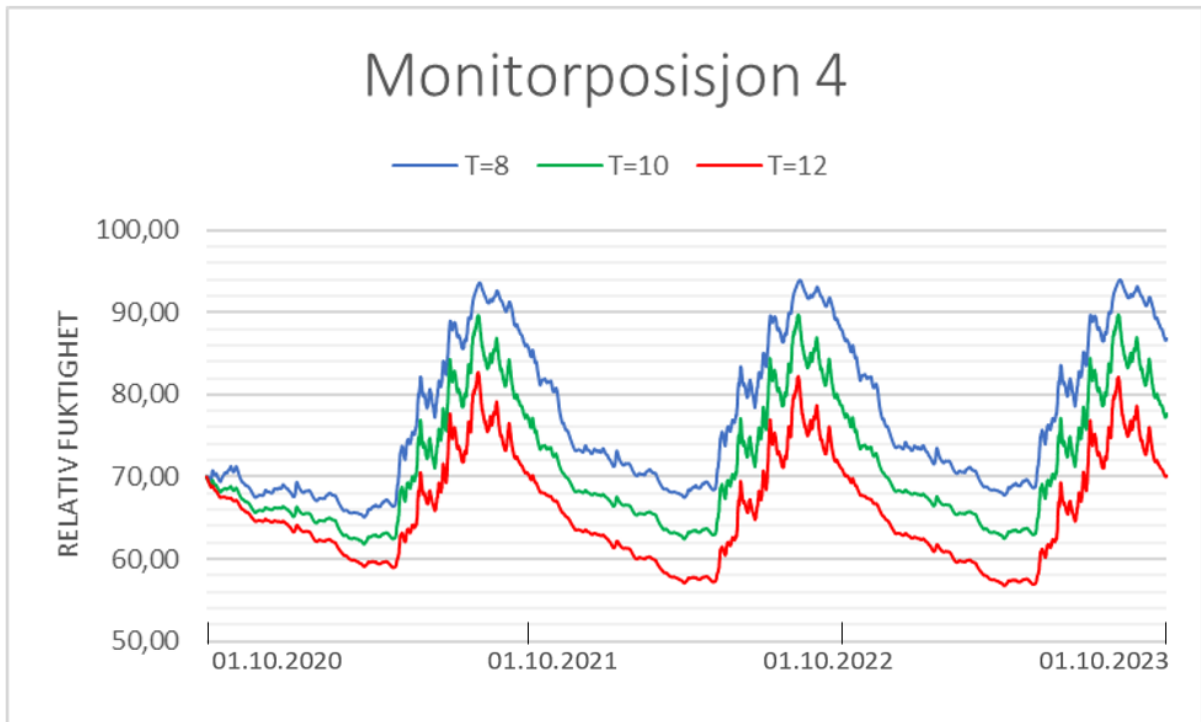
## Variant 15



## RF for monitorposisjon 1 for variant 15 i Trondheim over tre år

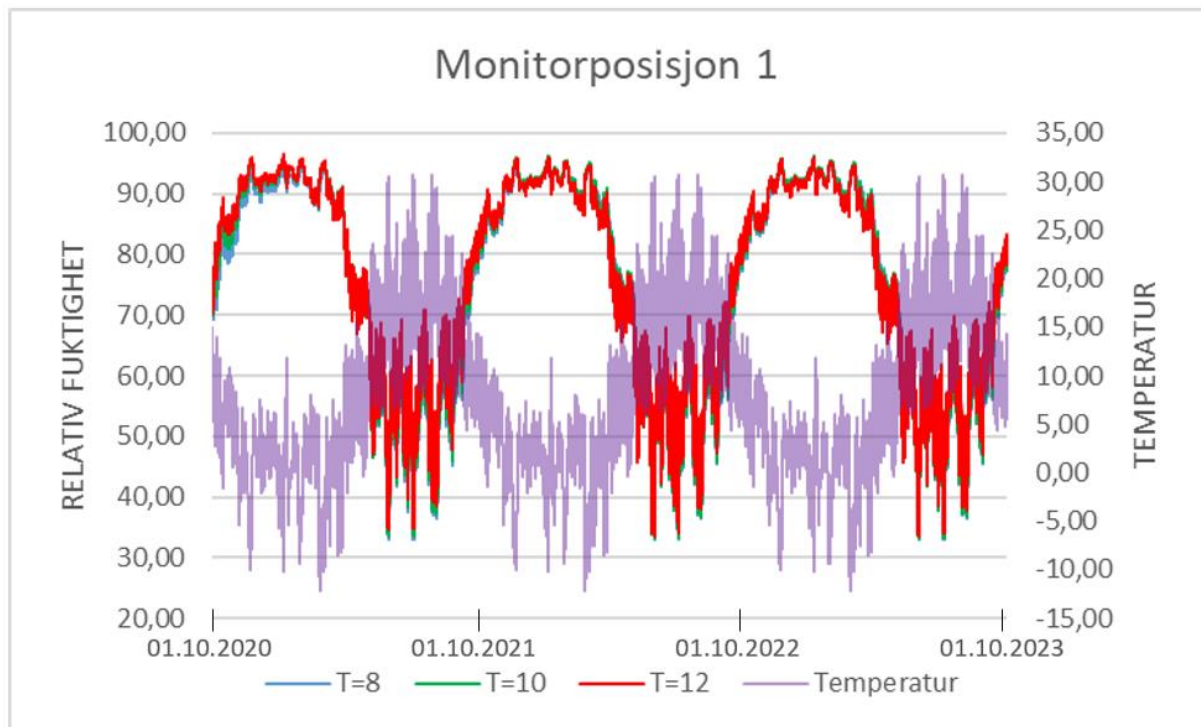


## RF for monitorposisjon 3 for variant 15 i Trondheim over tre år

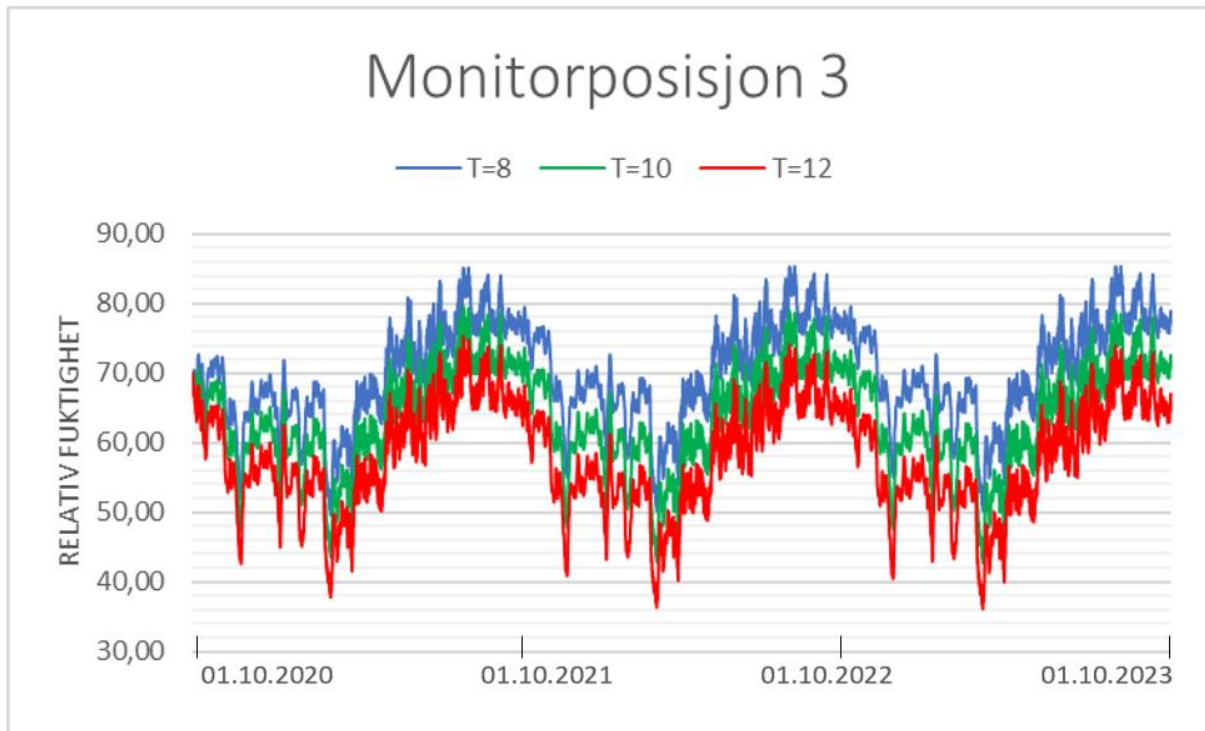


**RF for monitorposisjon 4 for variant 15 i Trondheim over tre år**

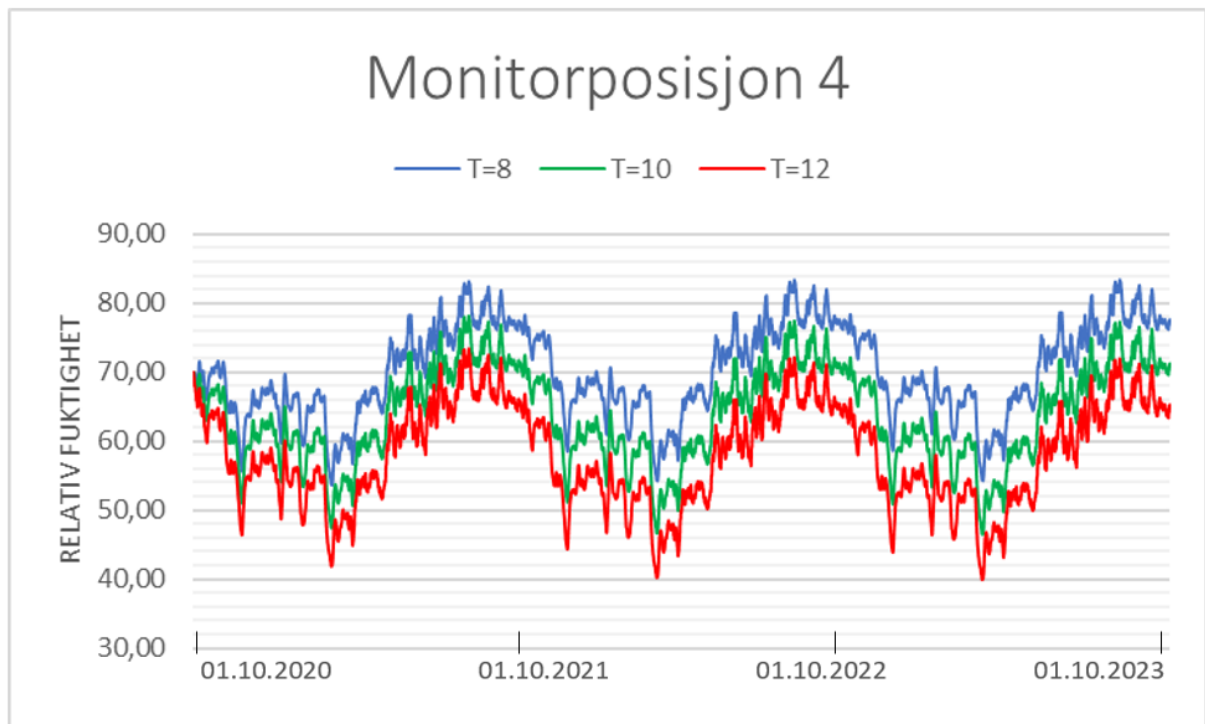
**Variant 16**



**RF for monitorposisjon 1 for variant 16 i Trondheim over tre år**



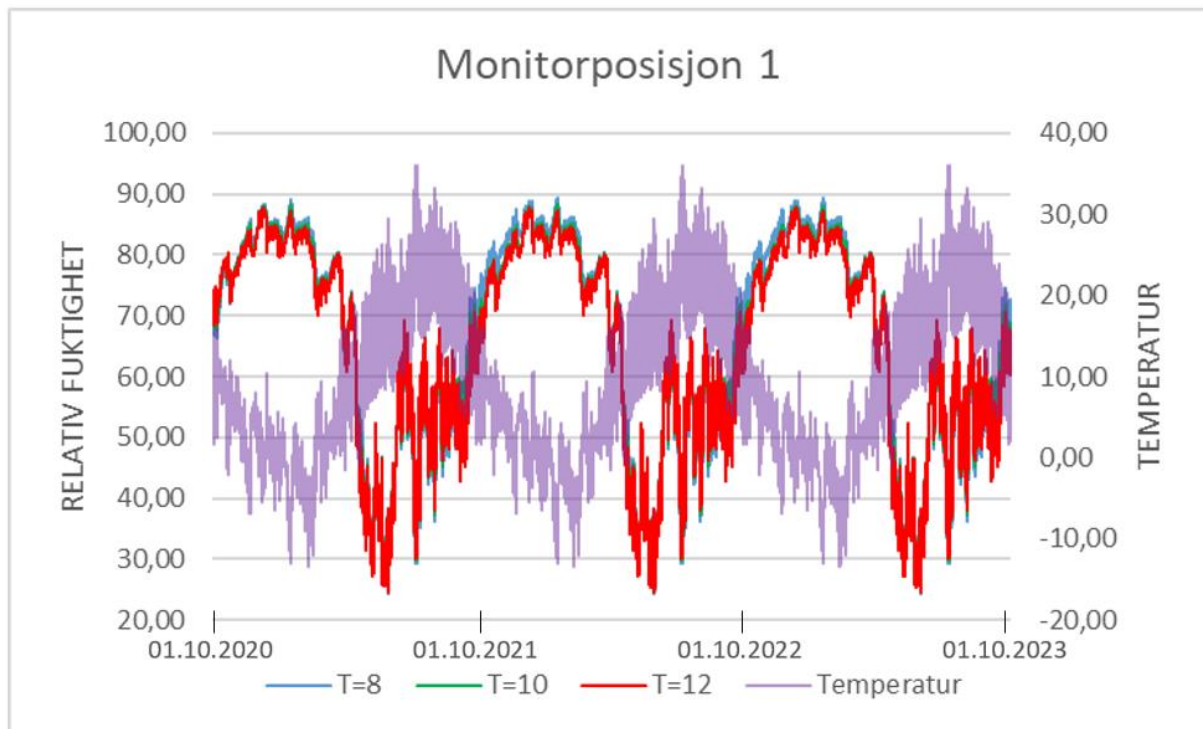
**RF for monitorposisjon 3 for variant 16 i Trondheim over tre år**



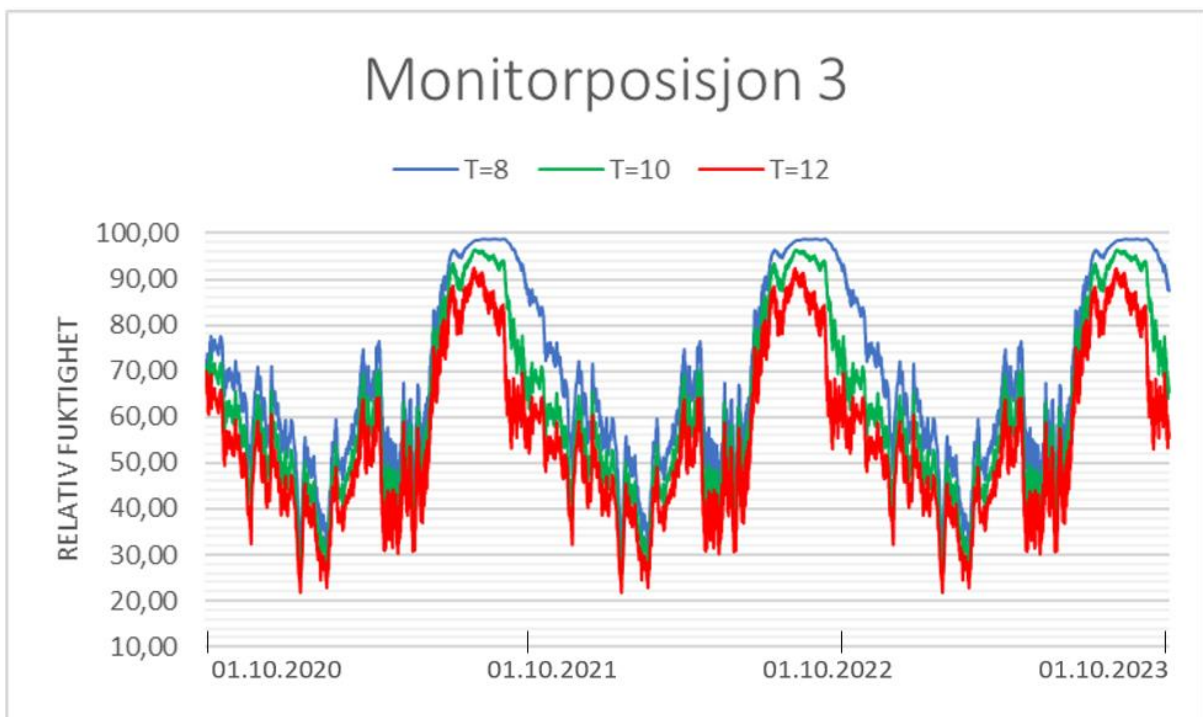
**RF for monitorposisjon 4 for variant 16 i Trondheim over tre år**

## A.2 RF for varianter i Oslo

### Variert 1

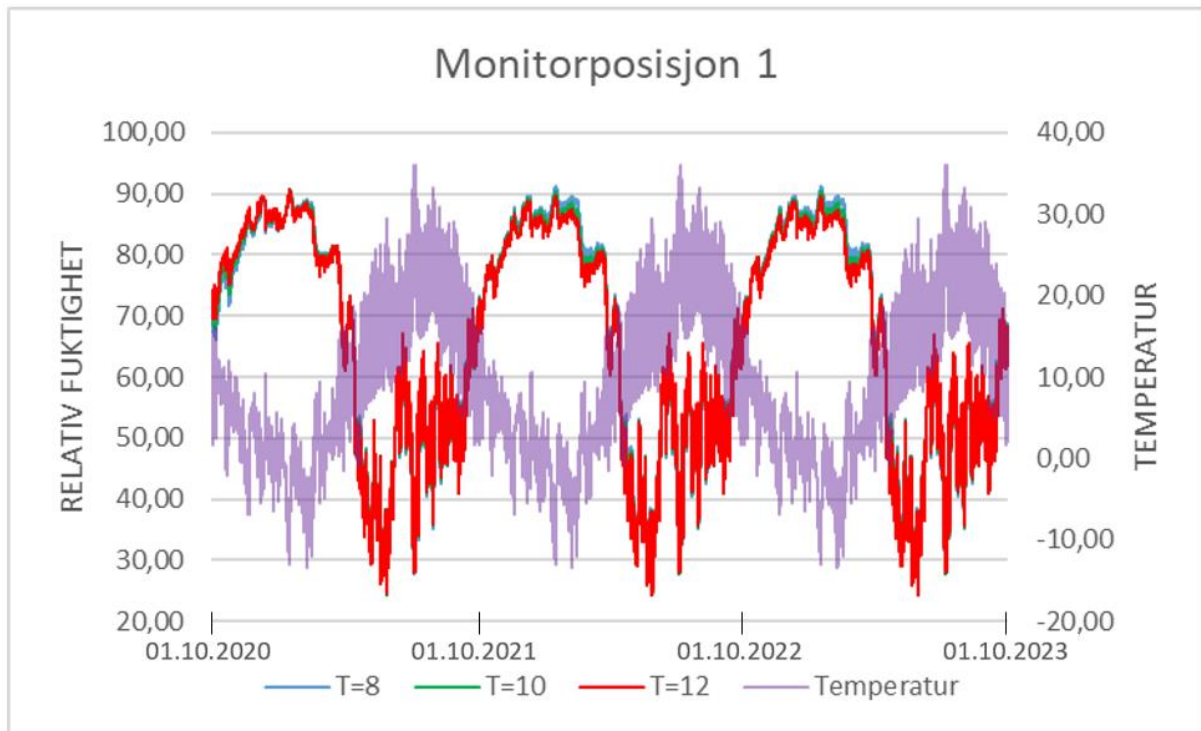


### RF for monitorposisjon 1 for variant 1 i Oslo over tre år

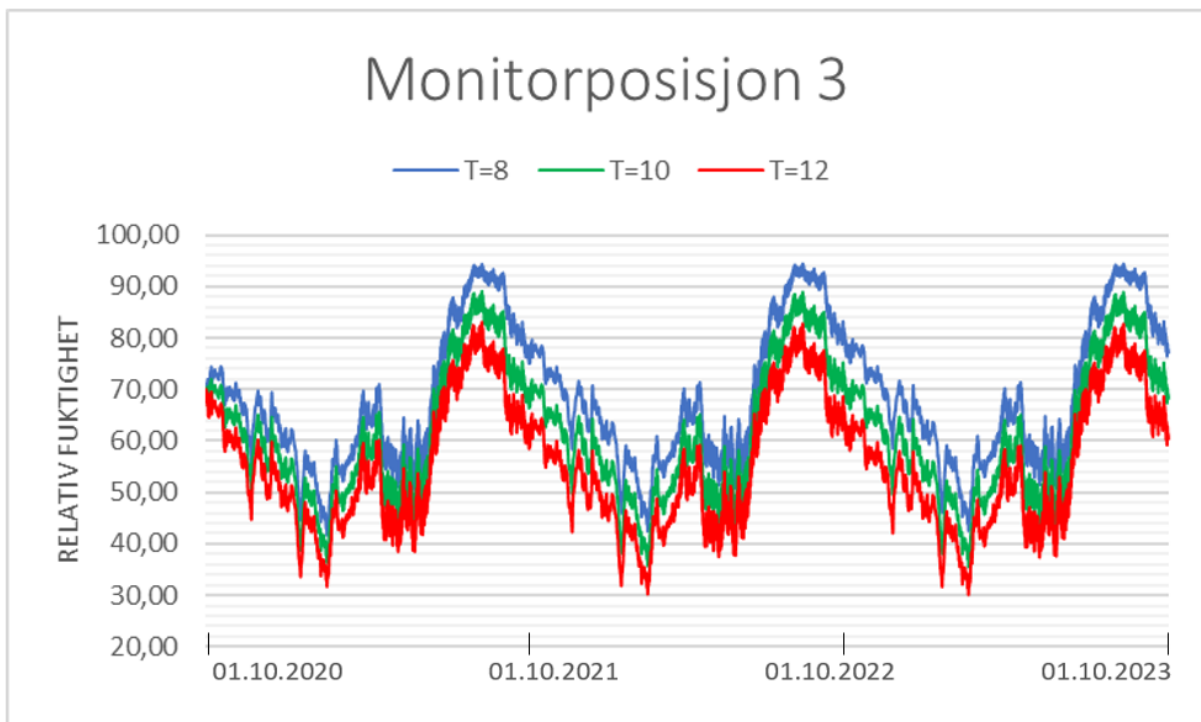


### RF for monitorposisjon 3 for variant 1 i Oslo over tre år

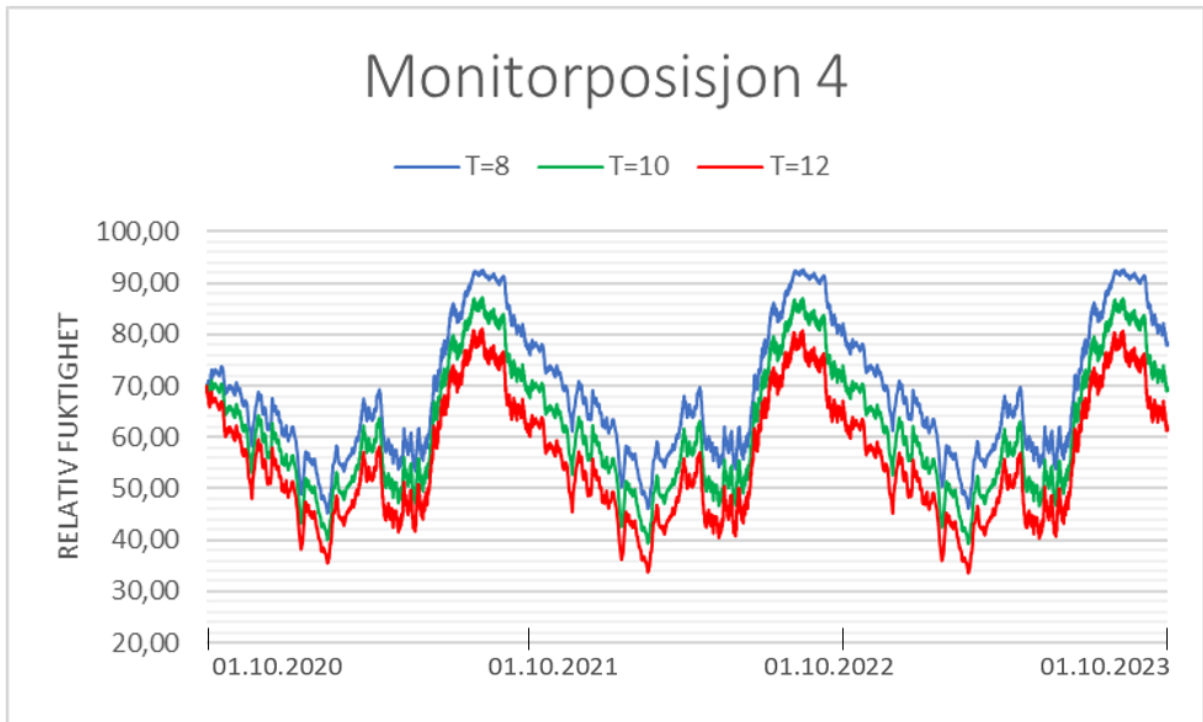
## Variant 2



RF for monitorposisjon 1 for variant 2 i Oslo over tre år

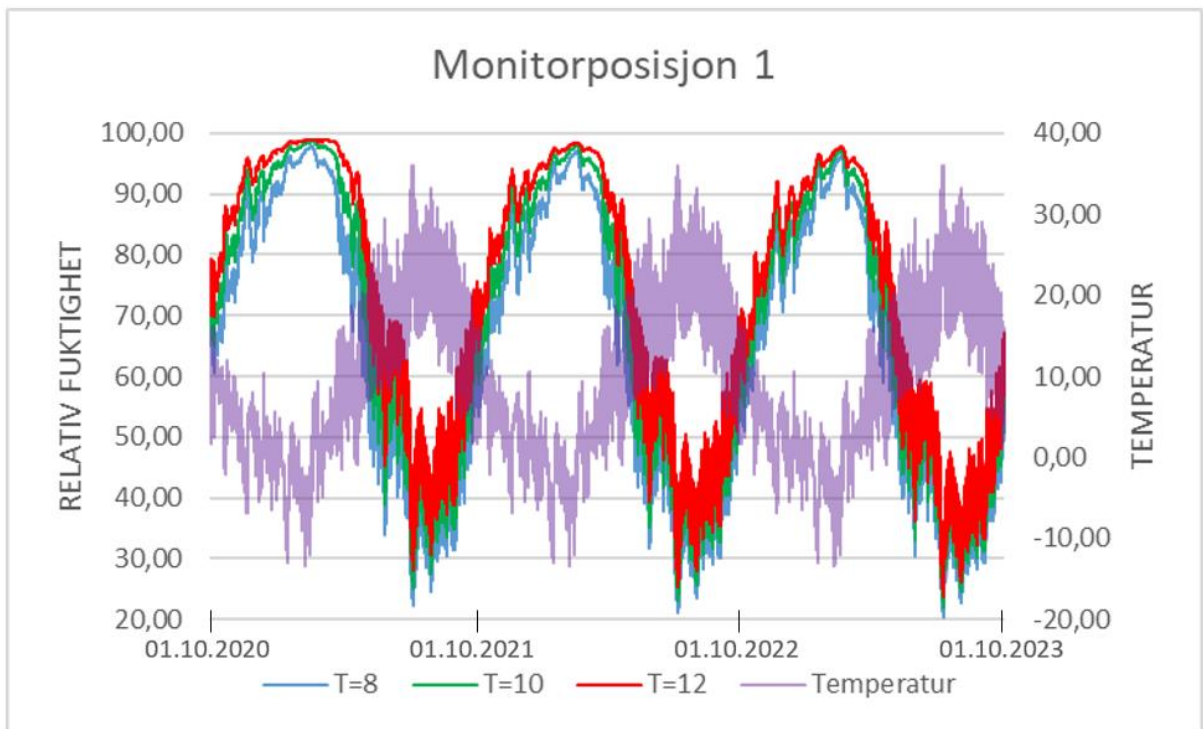


RF for monitorposisjon 3 for variant 2 i Oslo over tre år

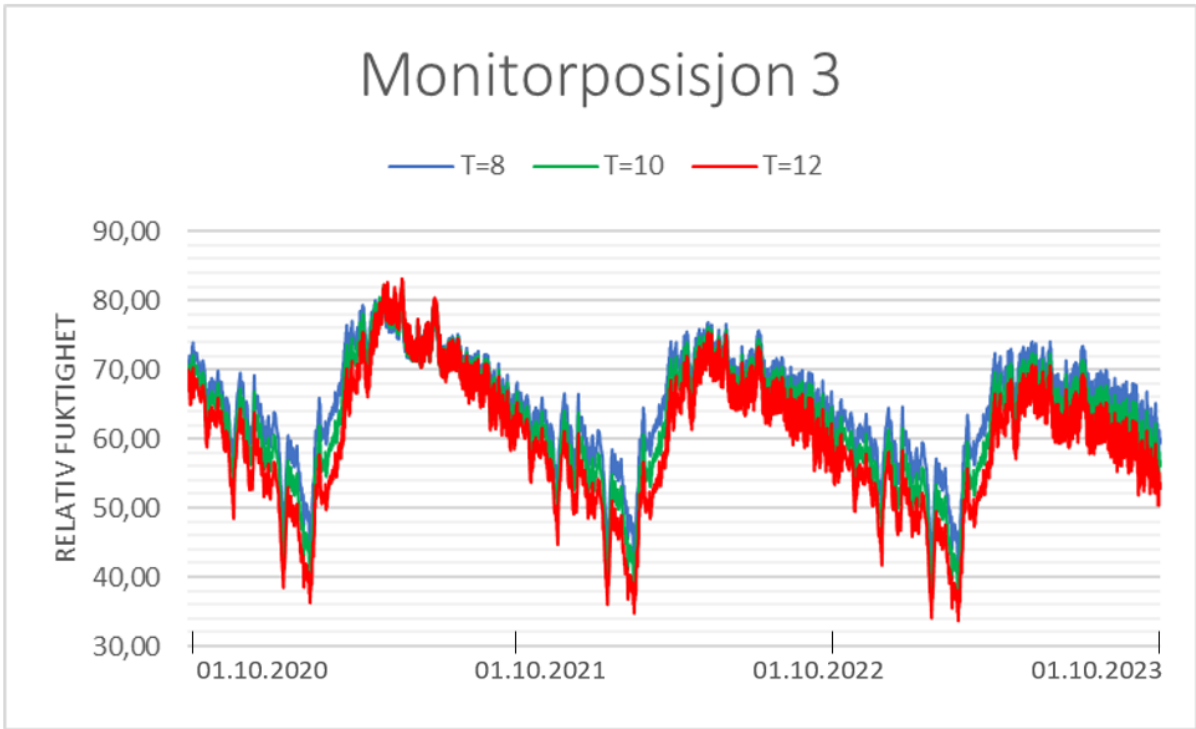


**RF for monitorposisjon 4 for variant 2 i Oslo over tre år**

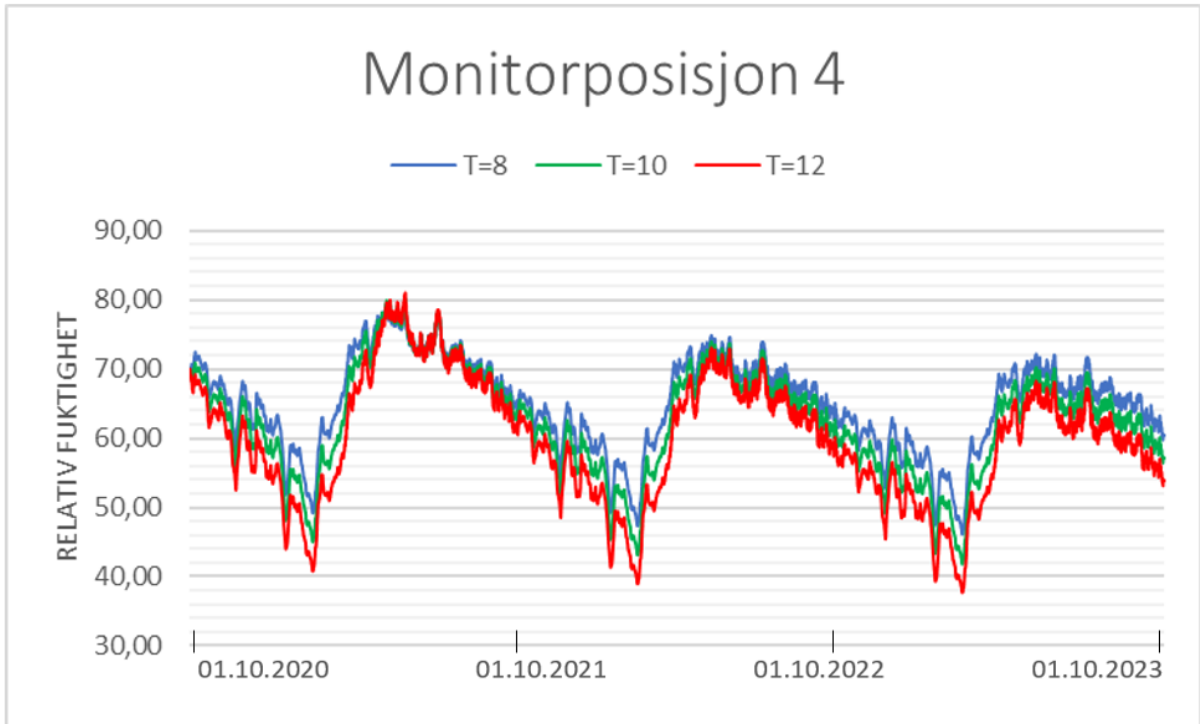
**Variant 3**



**RF for monitorposisjon 1 for variant 3 i Oslo over tre år**



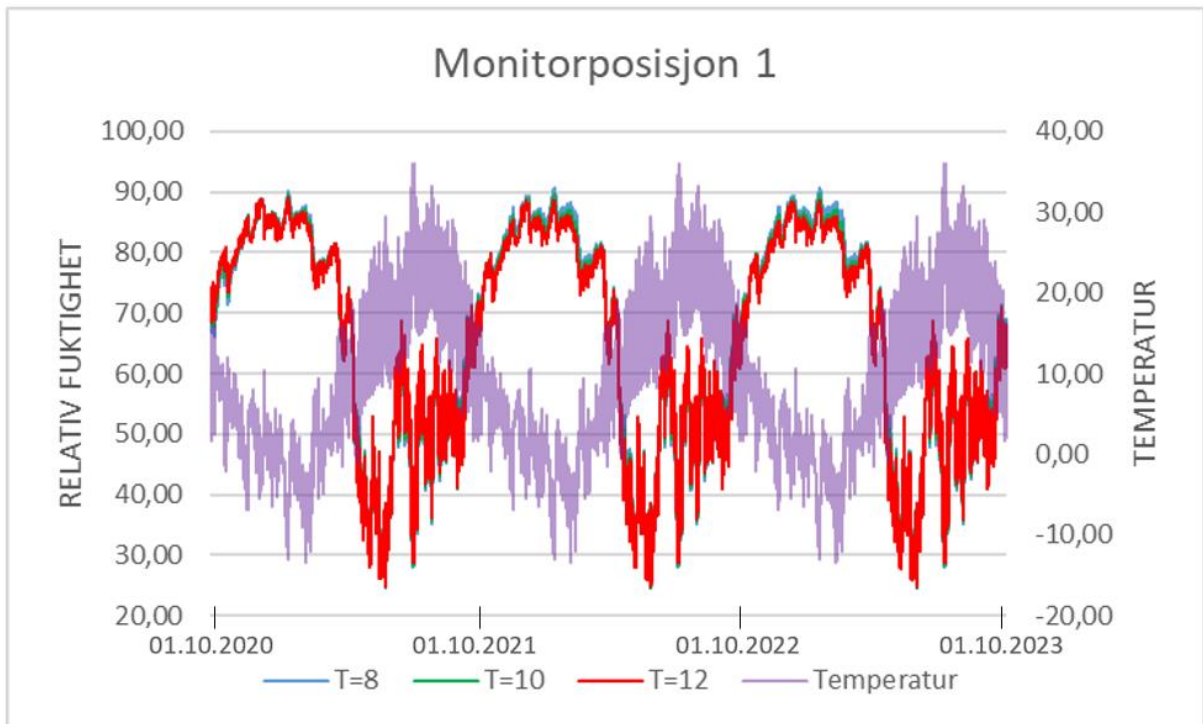
**RF for monitorposisjon 3 for variant 3 i Oslo over tre år**



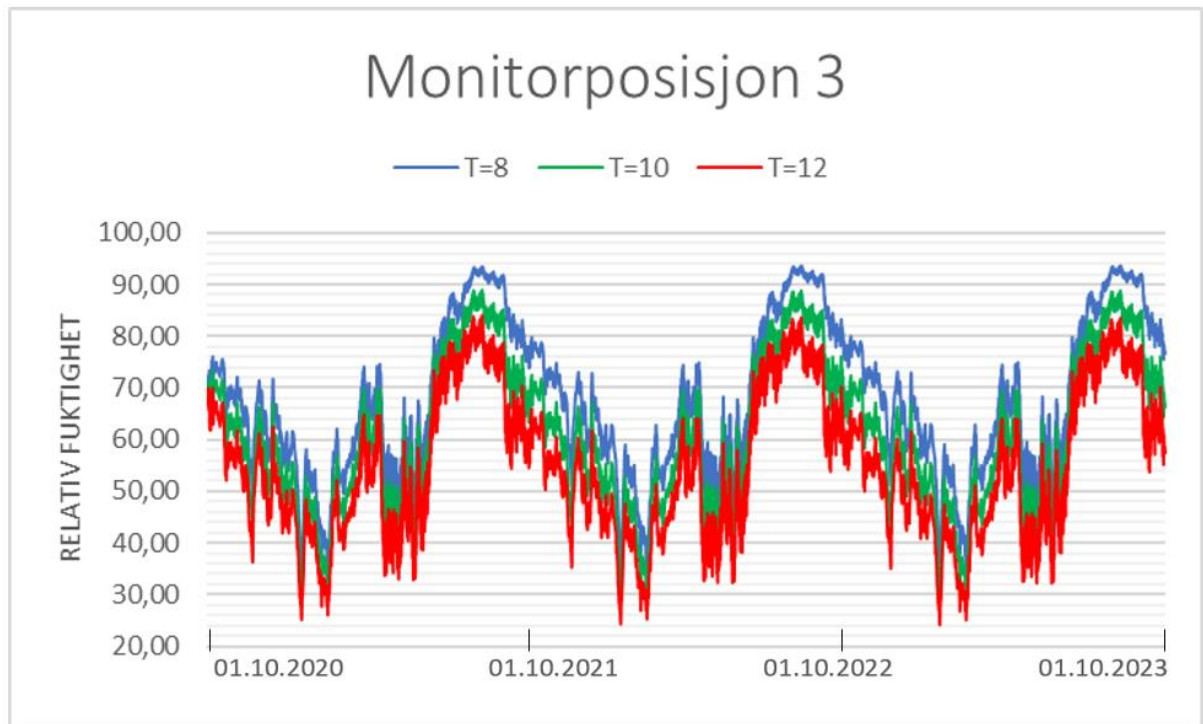
**RF for monitorposisjon 4 for variant 3 i Oslo over tre år**



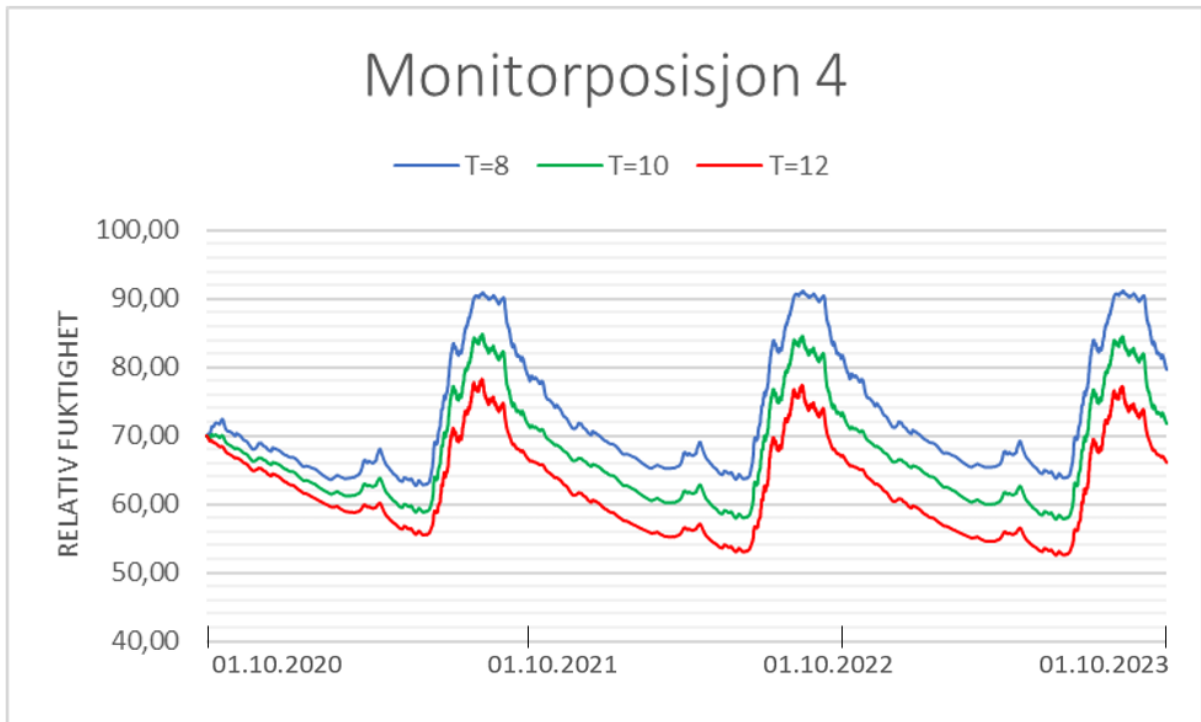
**Variant 15**



**RF for monitorposisjon 1 for variant 15 i Oslo over tre år**

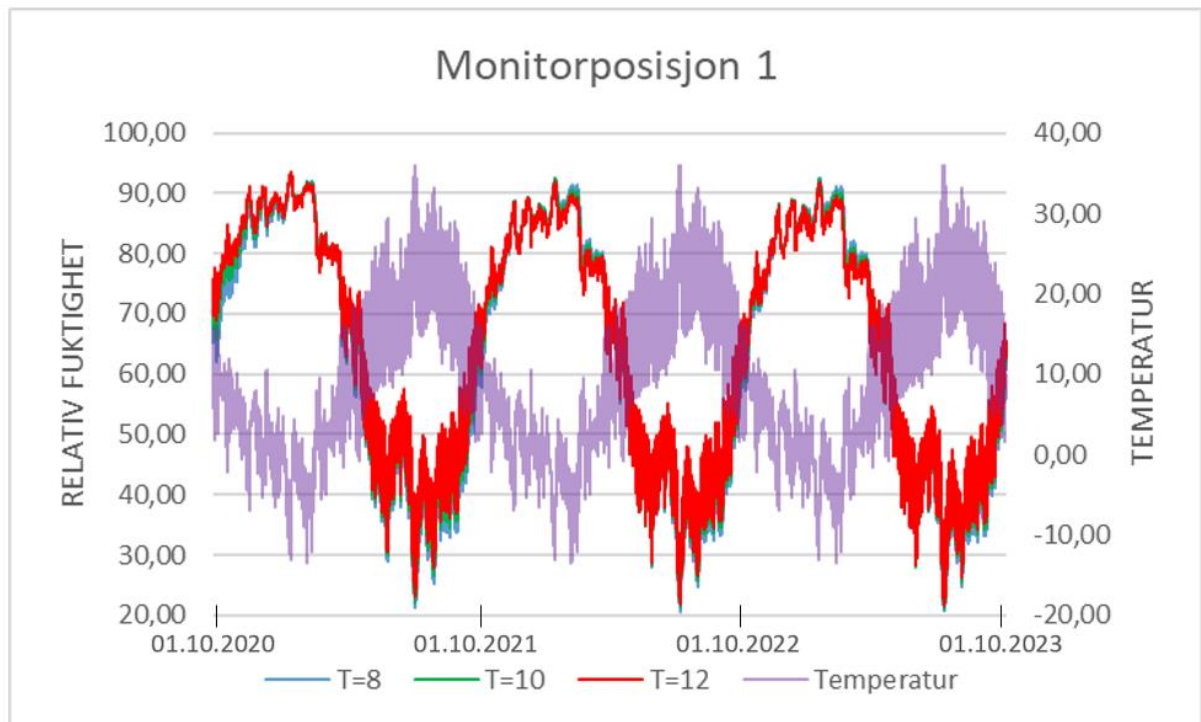


**RF for monitorposisjon 3 for variant 15 i Oslo over tre år**

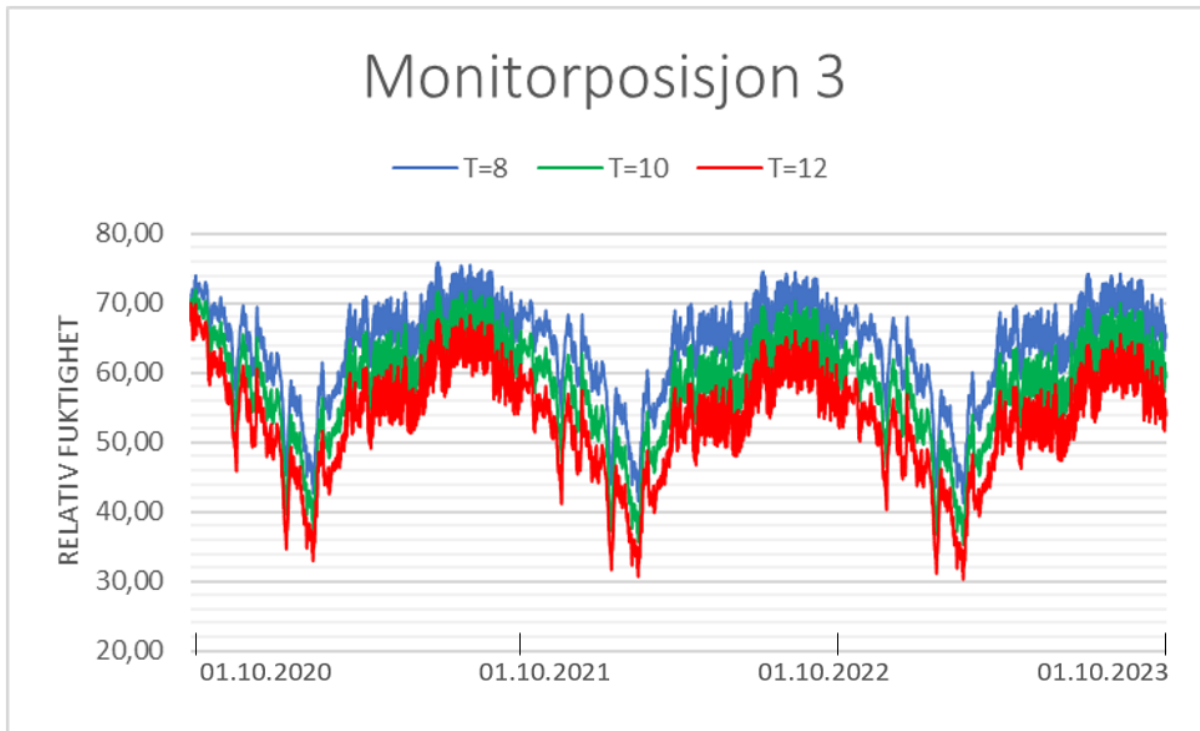


**RF for monitorposisjon 4 for variant 15 i Oslo over tre år**

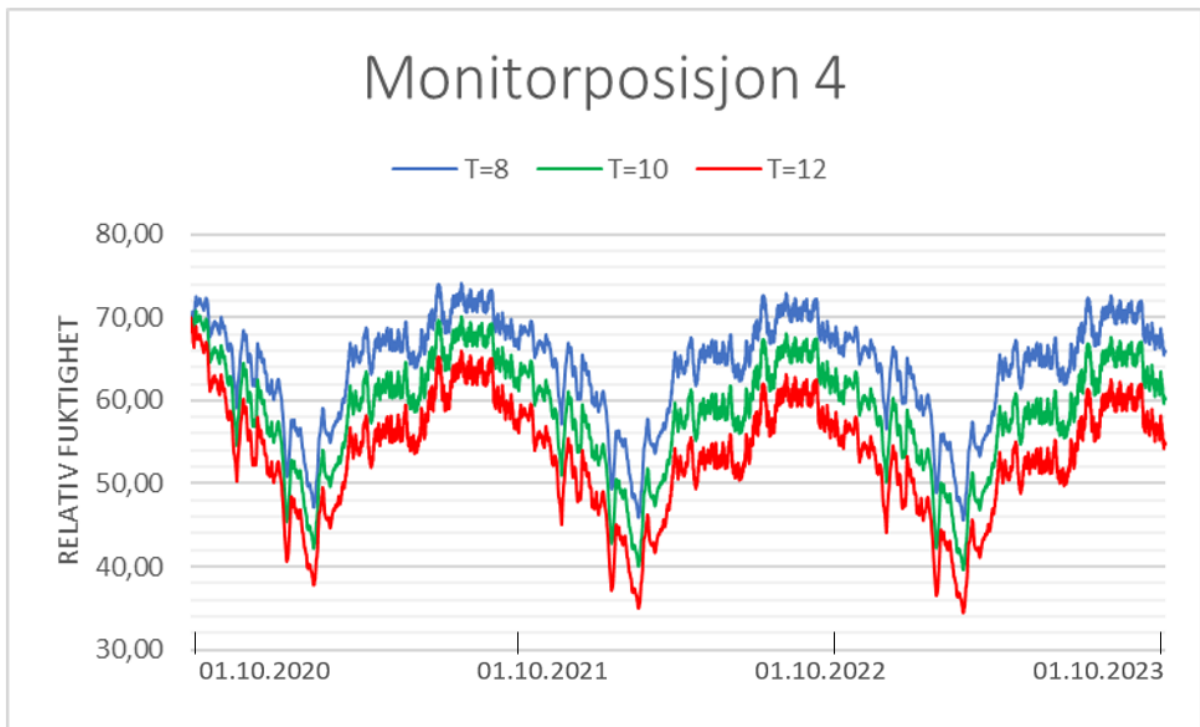
**Variant 16**



**RF for monitorposisjon 1 for variant 16 i Oslo over tre år**



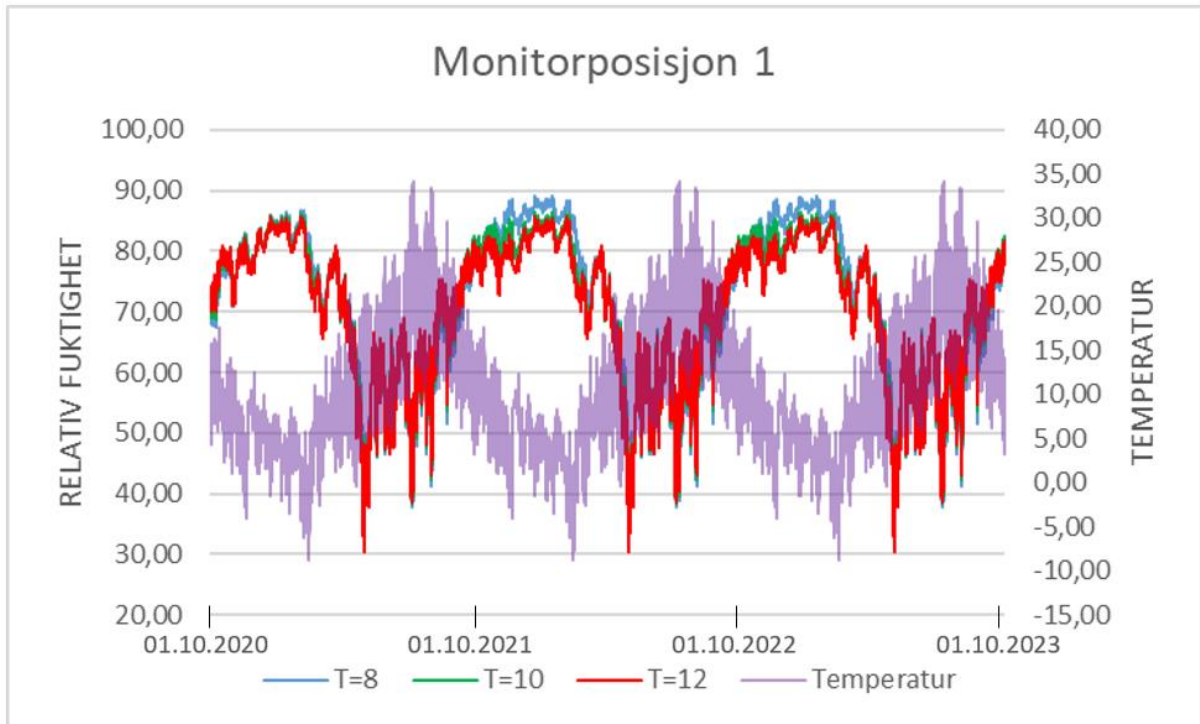
**RF for monitorposisjon 3 for variant 16 i Oslo over tre år**



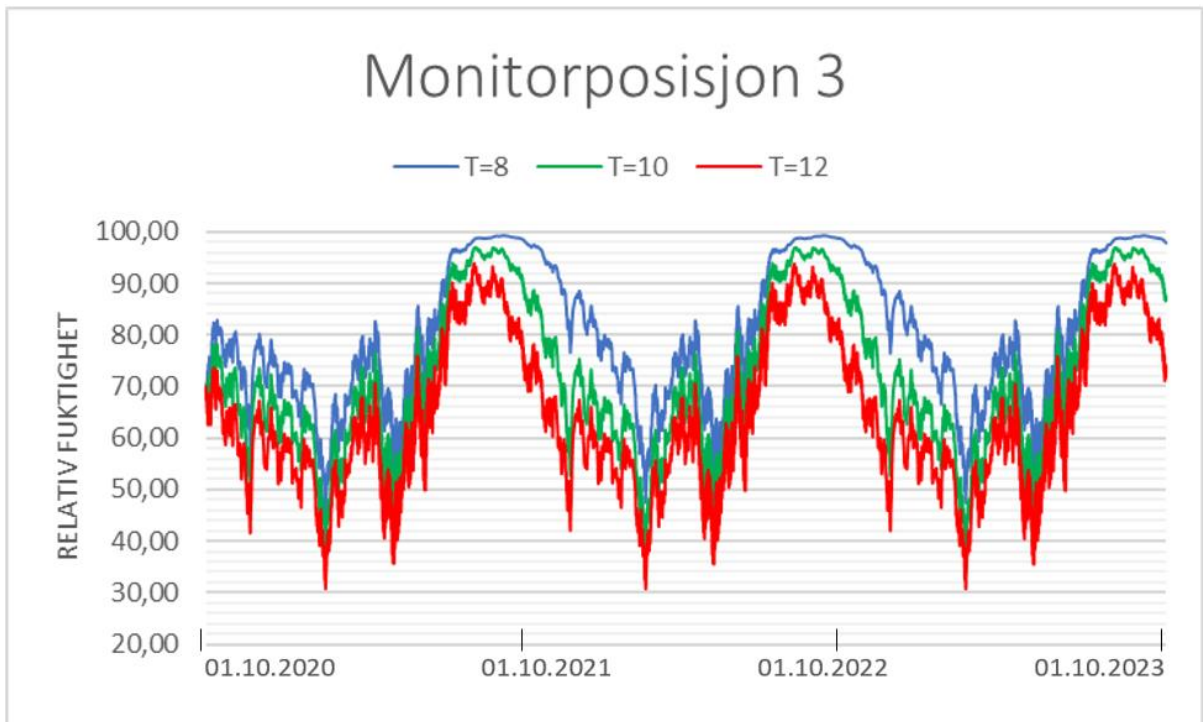
**RF for monitorposisjon 4 for variant 16 i Oslo over tre år**

### A.3 RF for varianter i Bergen

#### Variant 1

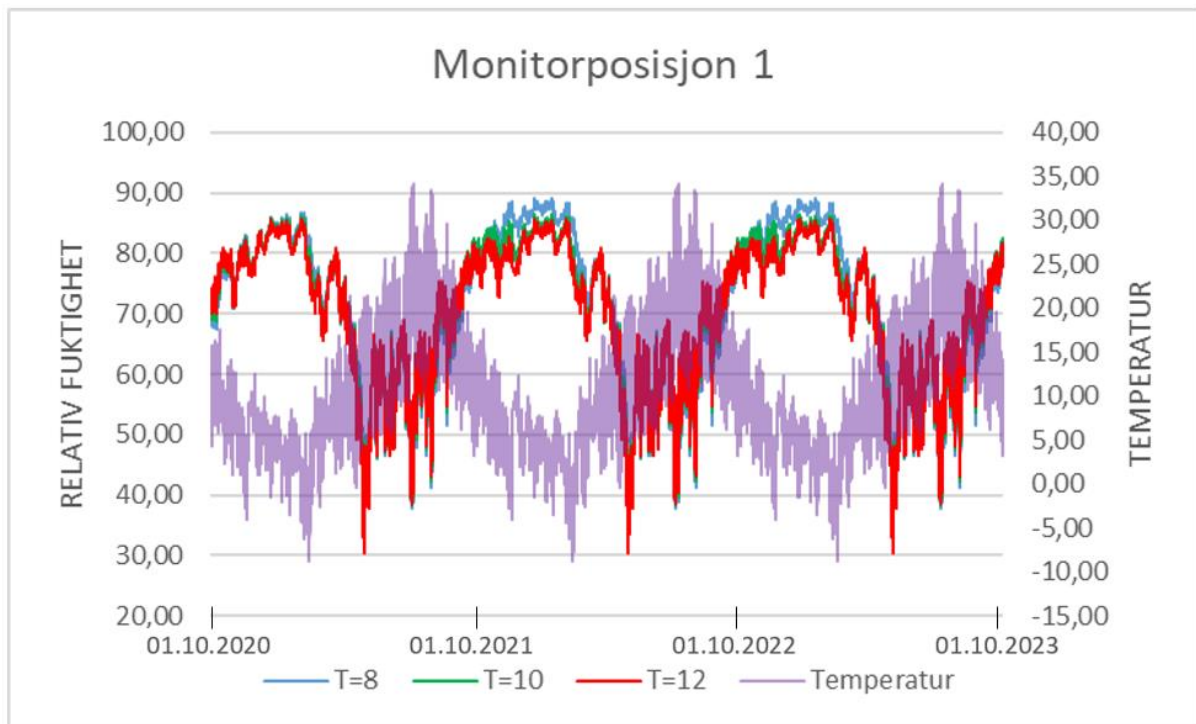


RF for monitorposisjon 1 for variant 1 i Bergen over tre år

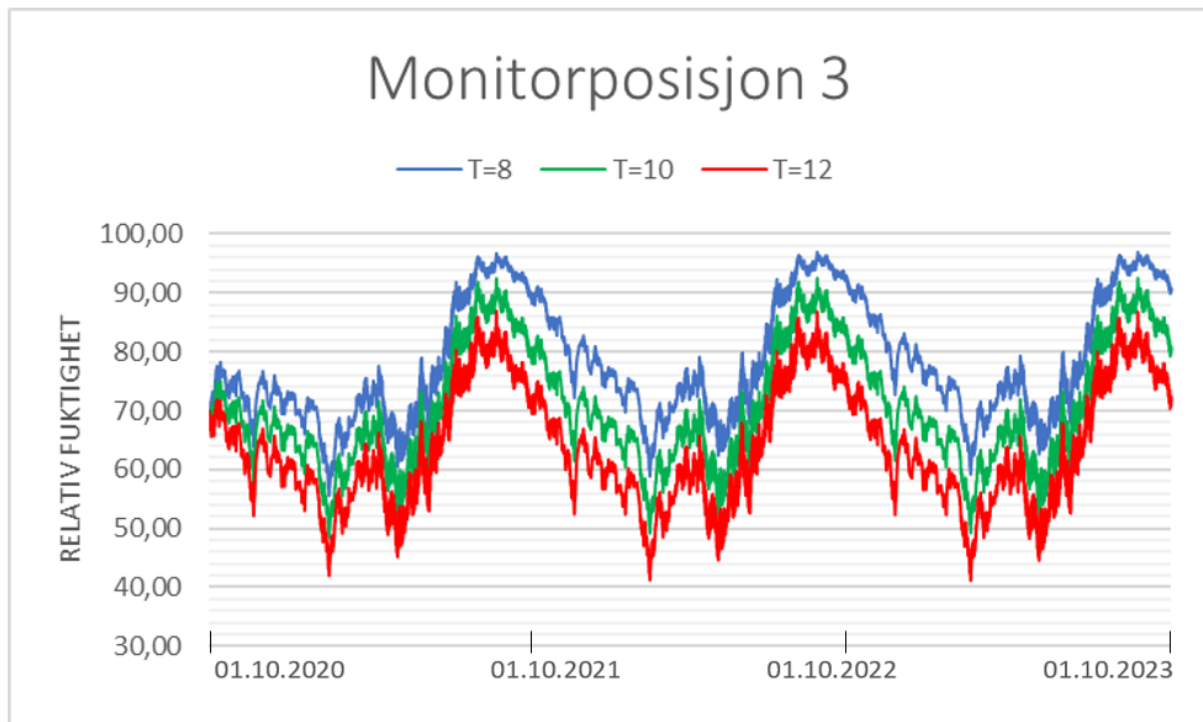


RF for monitorposisjon 3 for variant 1 i Bergen over tre år

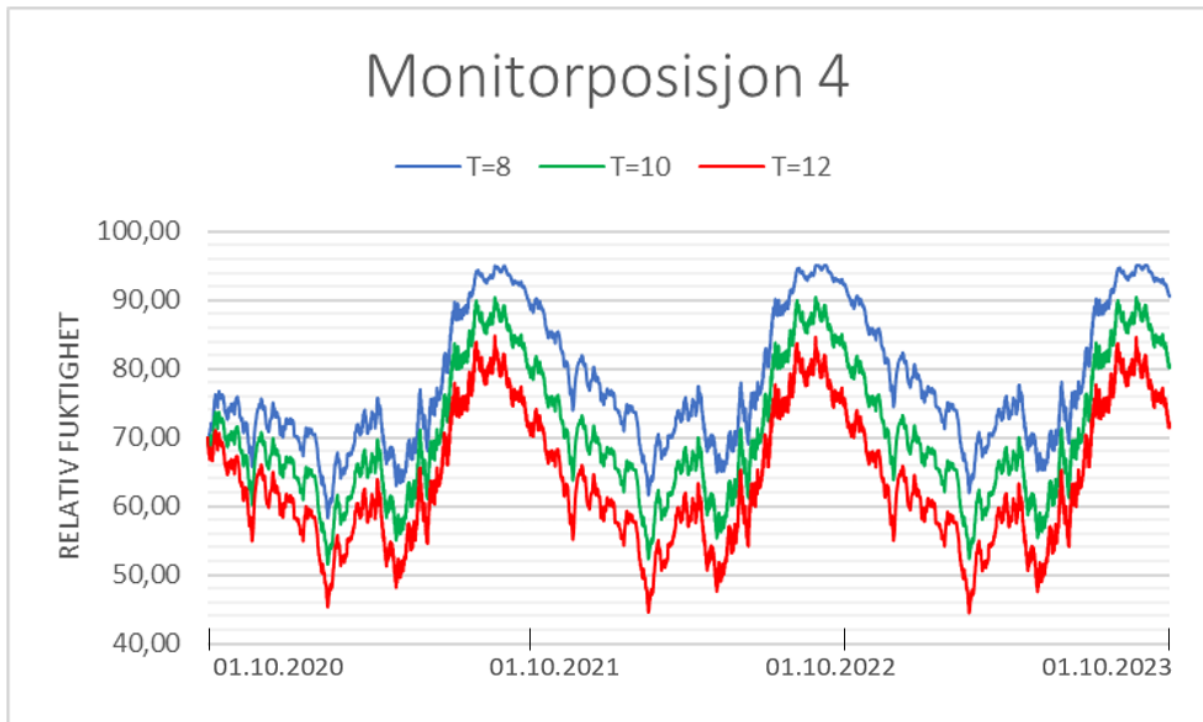
## Variant 2



RF for monitorposisjon 1 for variant 2 i Bergen over tre år

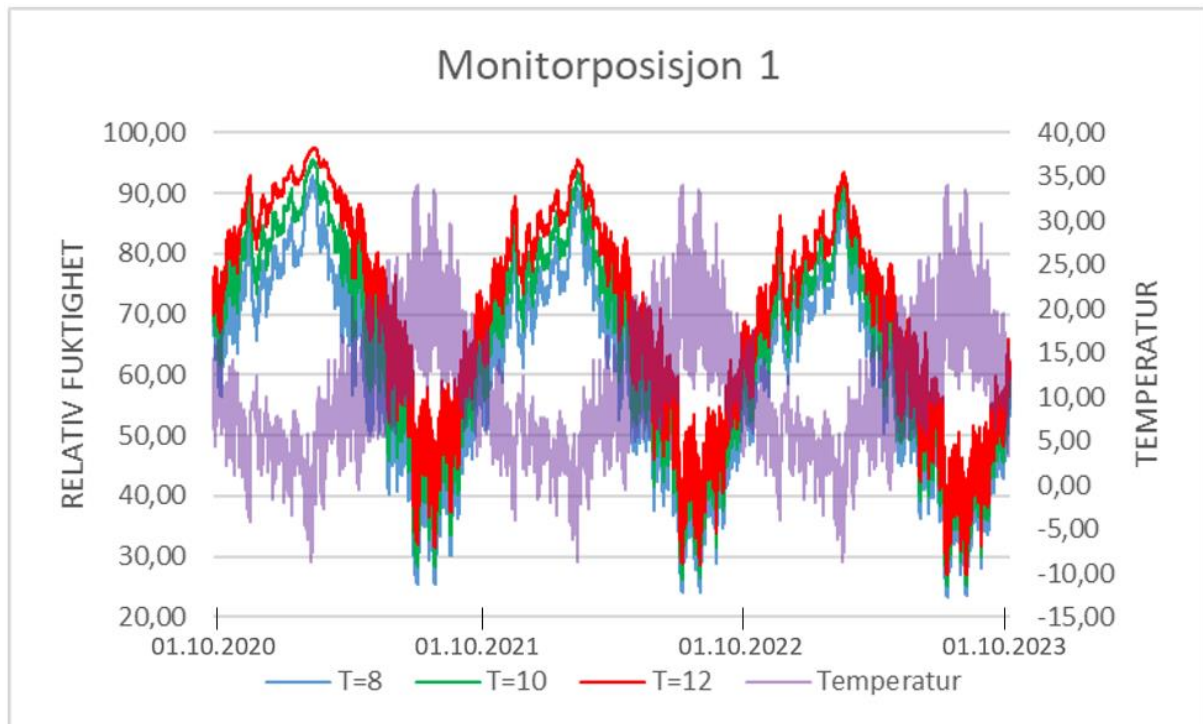


RF for monitorposisjon 3 for variant 2 i Bergen over tre år

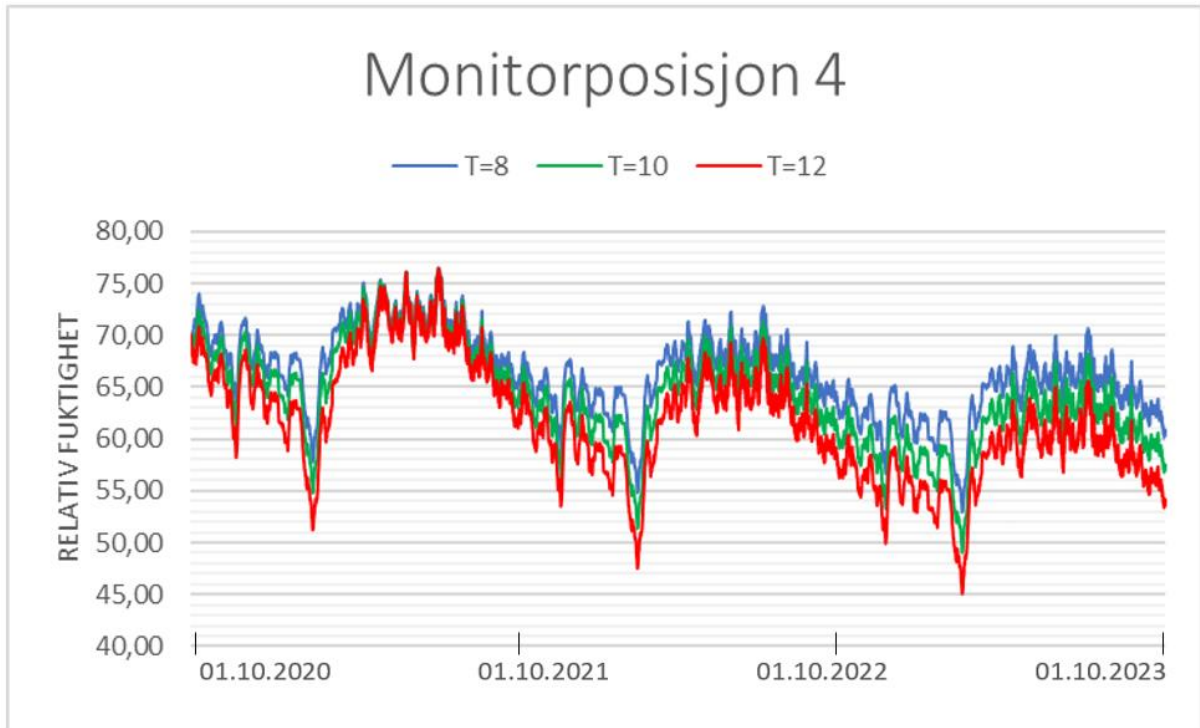


**RF for monitorposisjon 4 for variant 2 i Bergen over tre år**

**Variant 3**

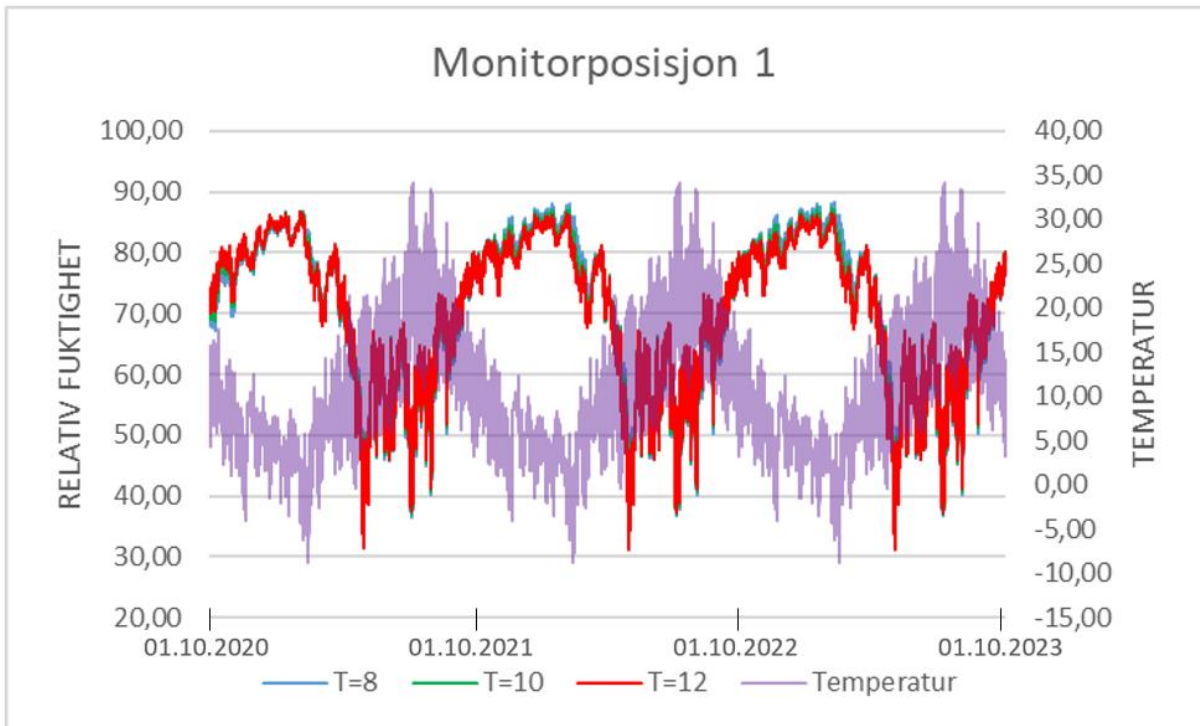


**RF for monitorposisjon 1 for variant 3 i Bergen over tre år**

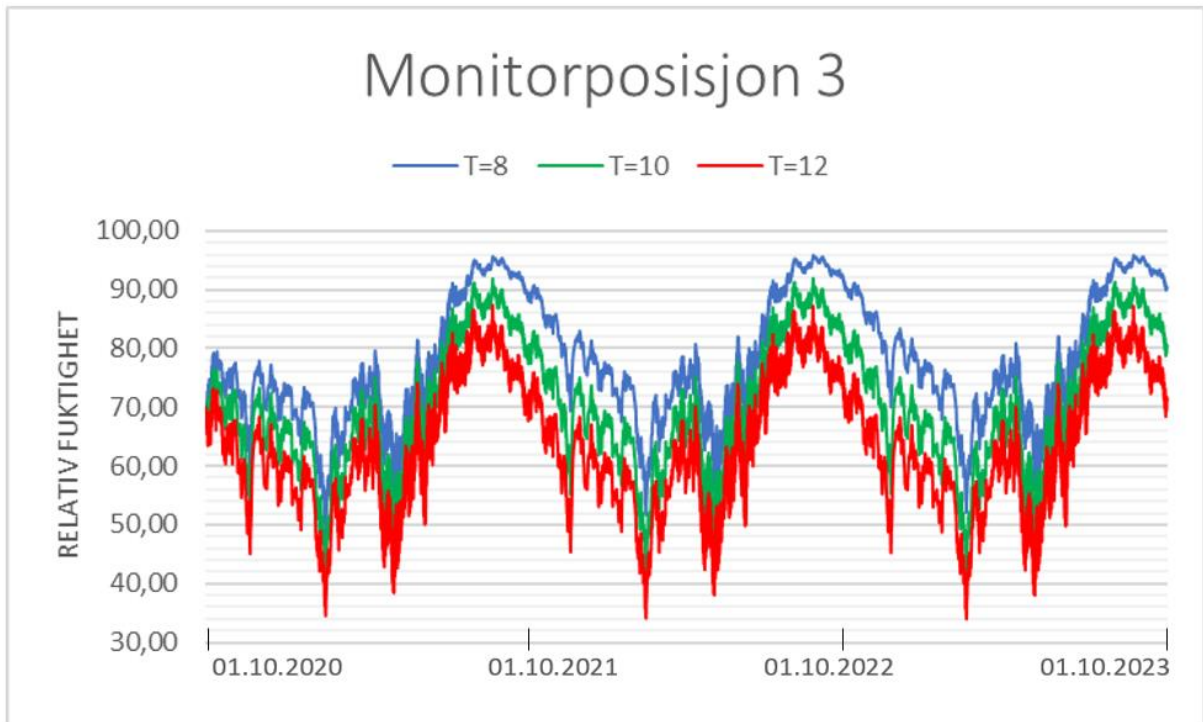


**RF for monitorposisjon 4 for variant 2 i Bergen over tre år**

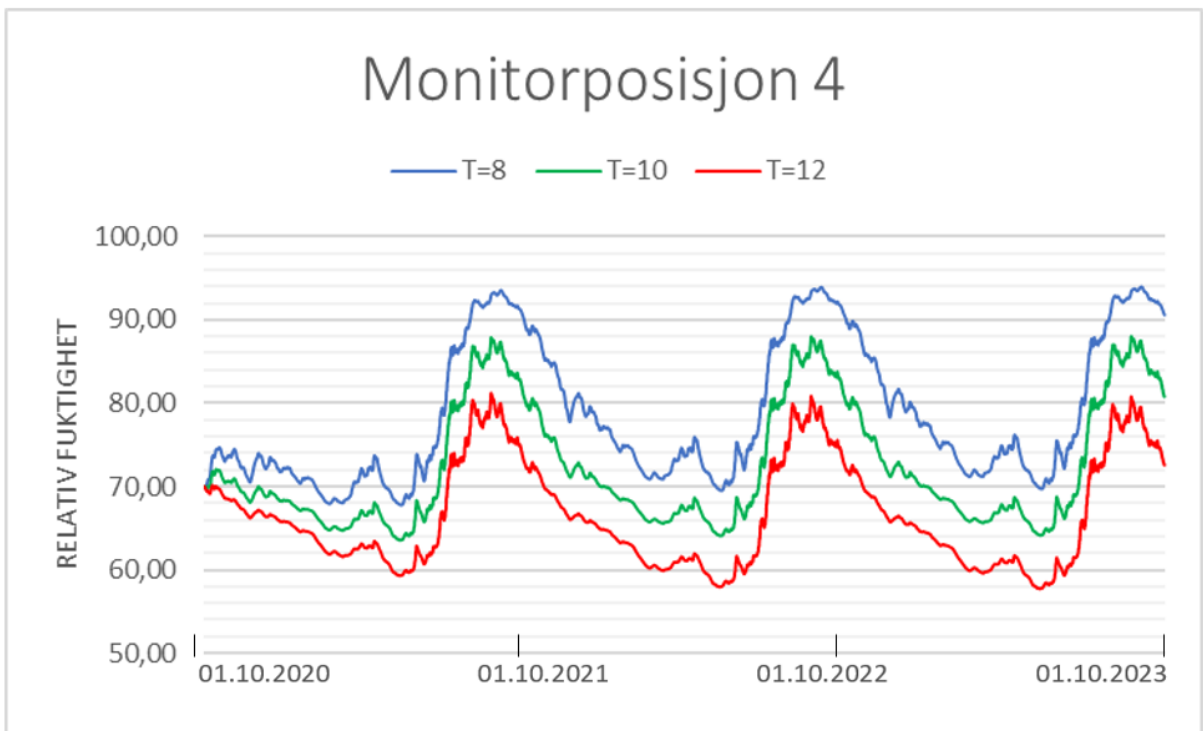
**Variant 15**



**RF for monitorposisjon 1 for variant 15 i Bergen over tre år**



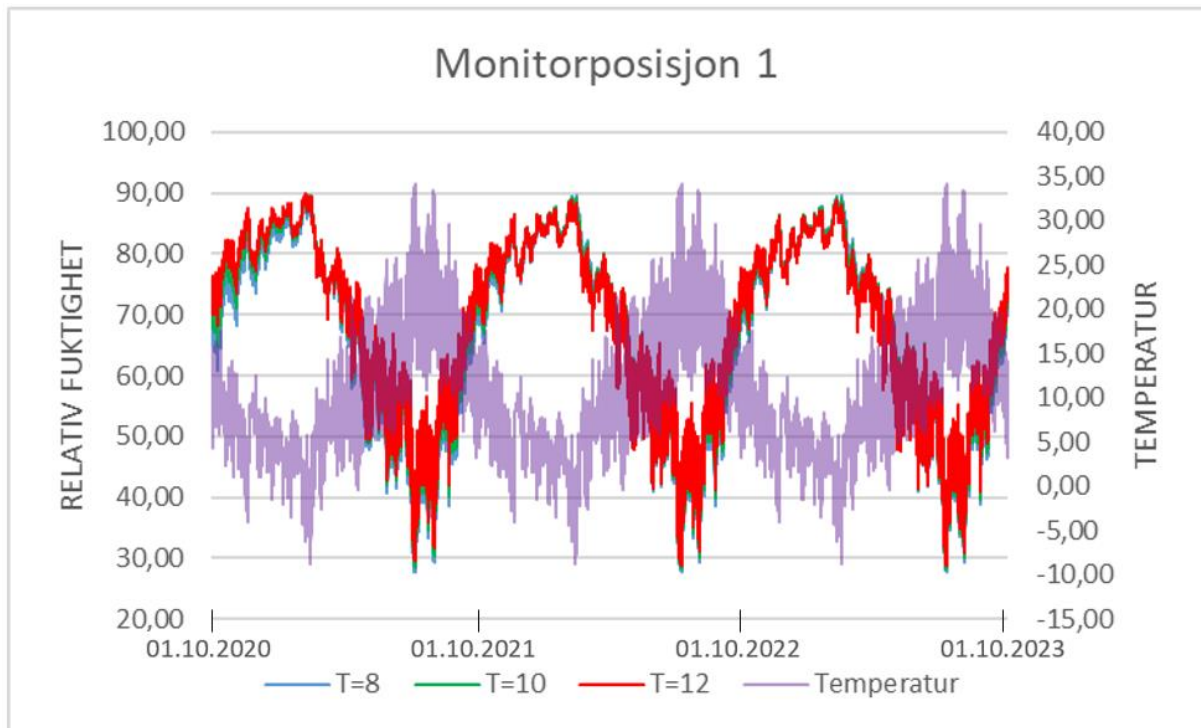
**RF for monitorposisjon 3 for variant 15 i Bergen over tre år**



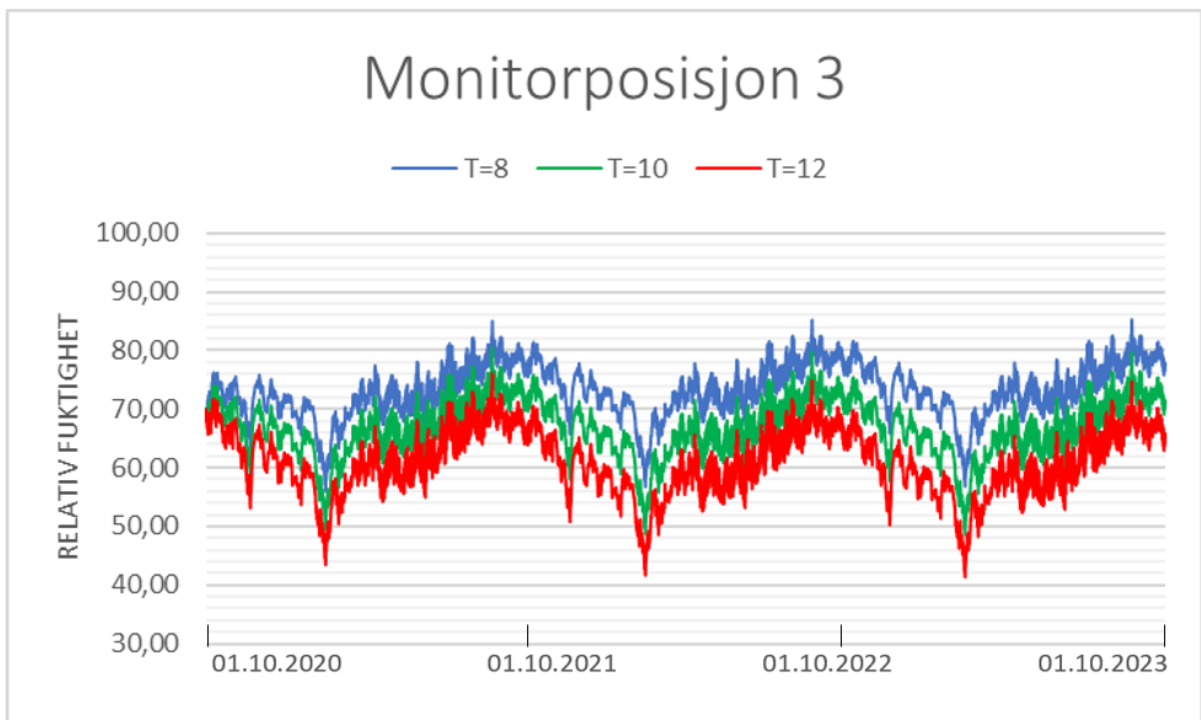
**RF for monitorposisjon 4 for variant 15 i Bergen over tre år**



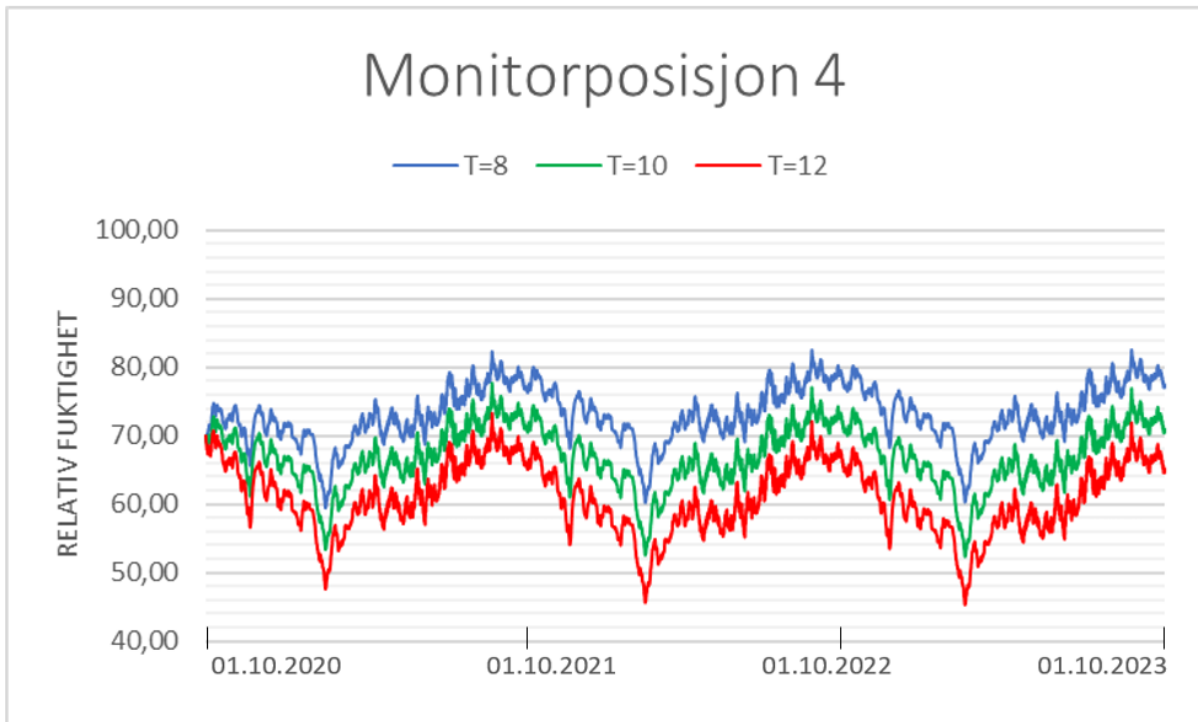
## Variant 16



RF for monitorposisjon 1 for variant 16 i Bergen over tre år



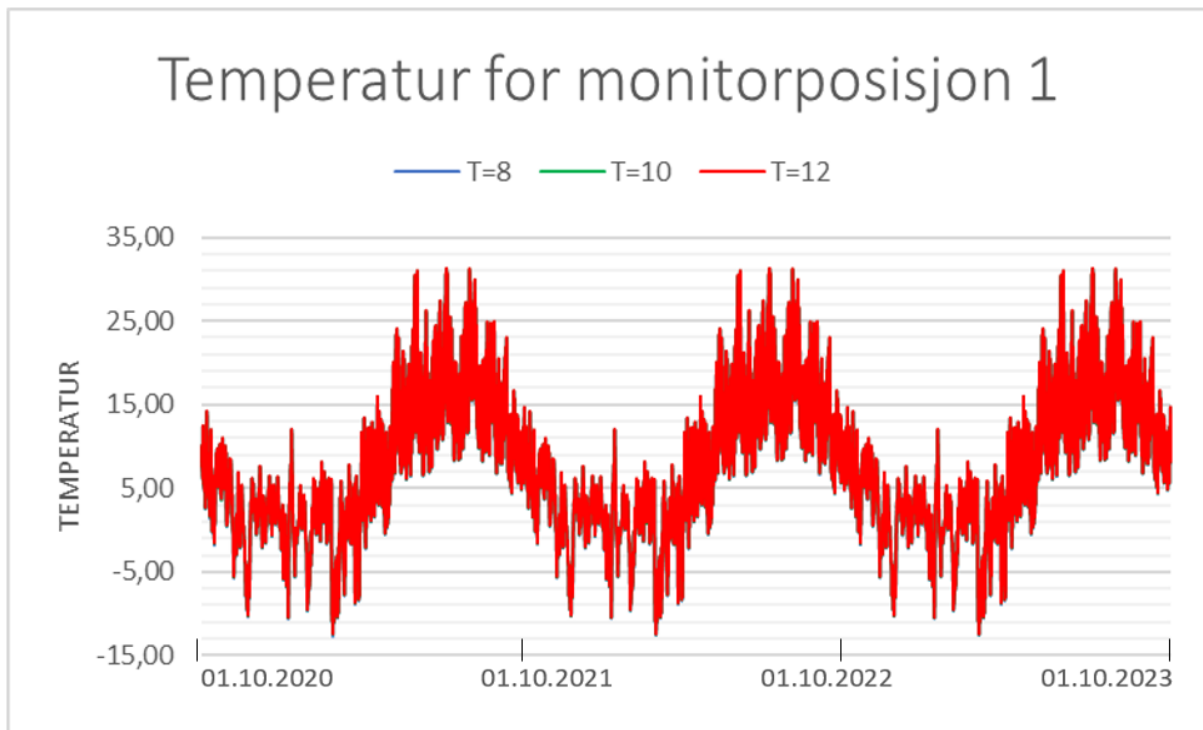
RF for monitorposisjon 3 for variant 16 i Bergen over tre år



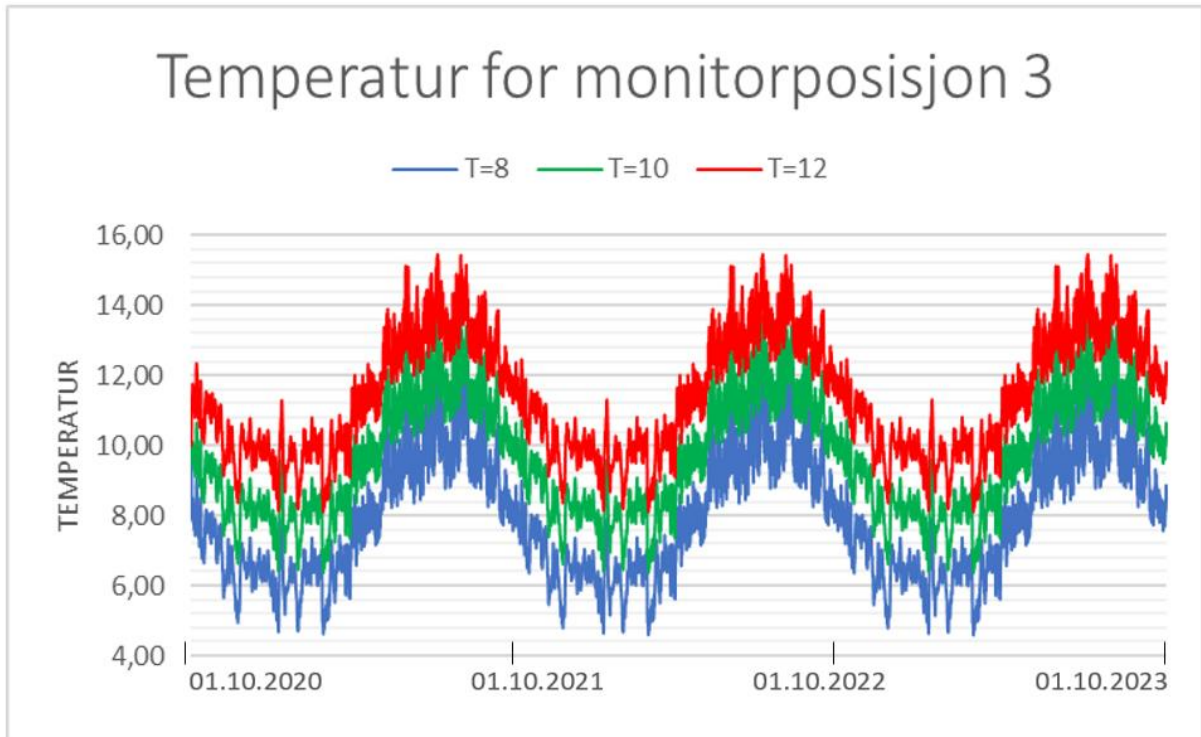
**RF for monitorposisjon 4 for variant 16 i Bergen over tre år**

## **B- Temperatur for monitorposisjon 1, 3 og 4**

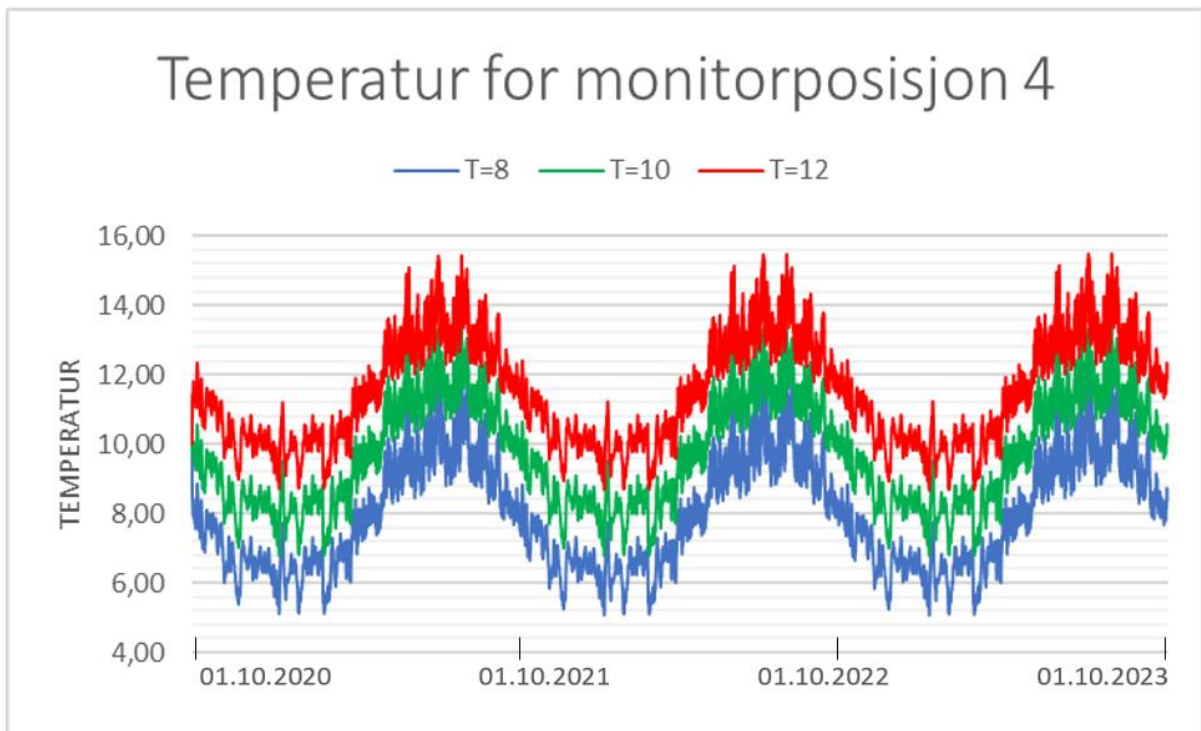
### **B.1 Temperatur for Trondheim**



**Temperatur for monitorposisjon 1 for Trondheim**

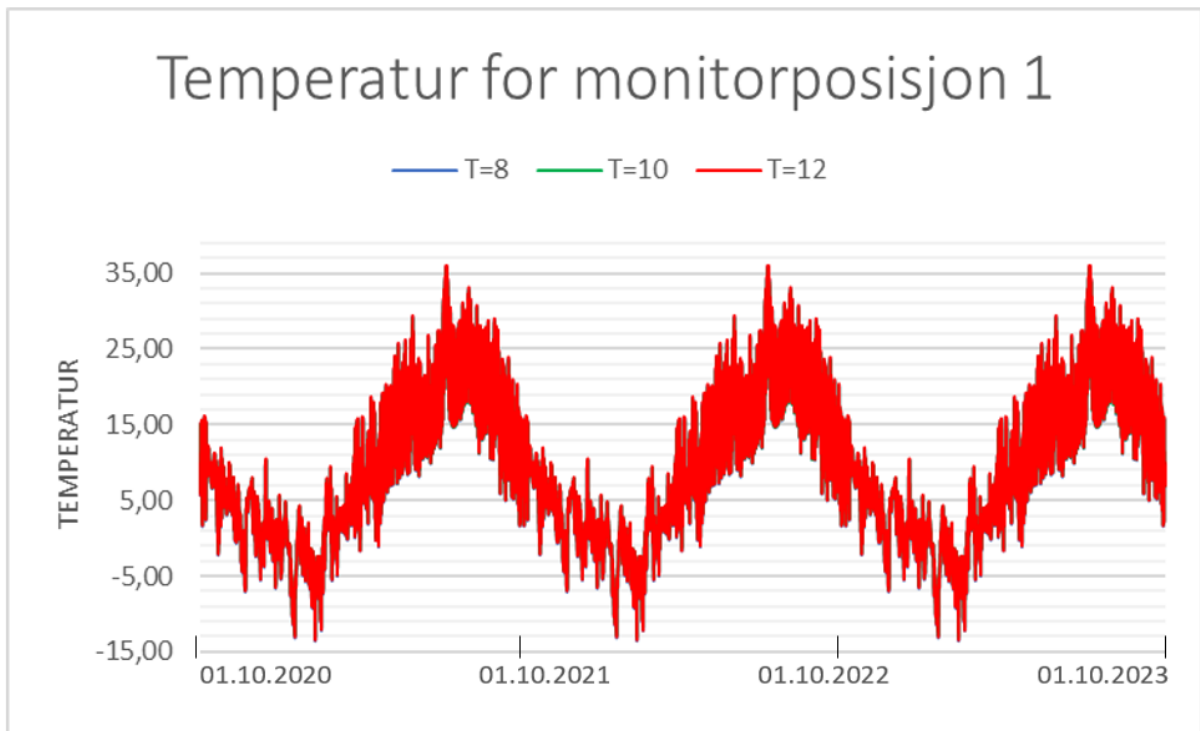


**Temperatur for monitorposisjon 3 for Trondheim**

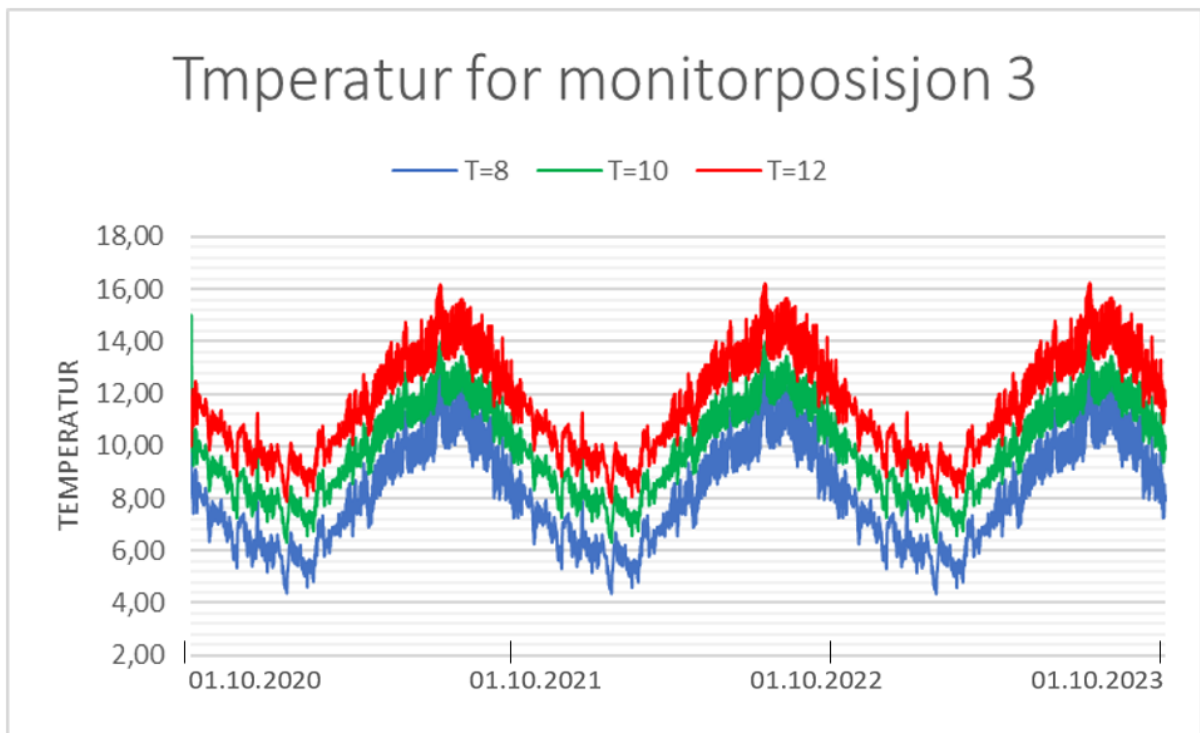


**Temperatur for monitorposisjon 4 for Trondheim**

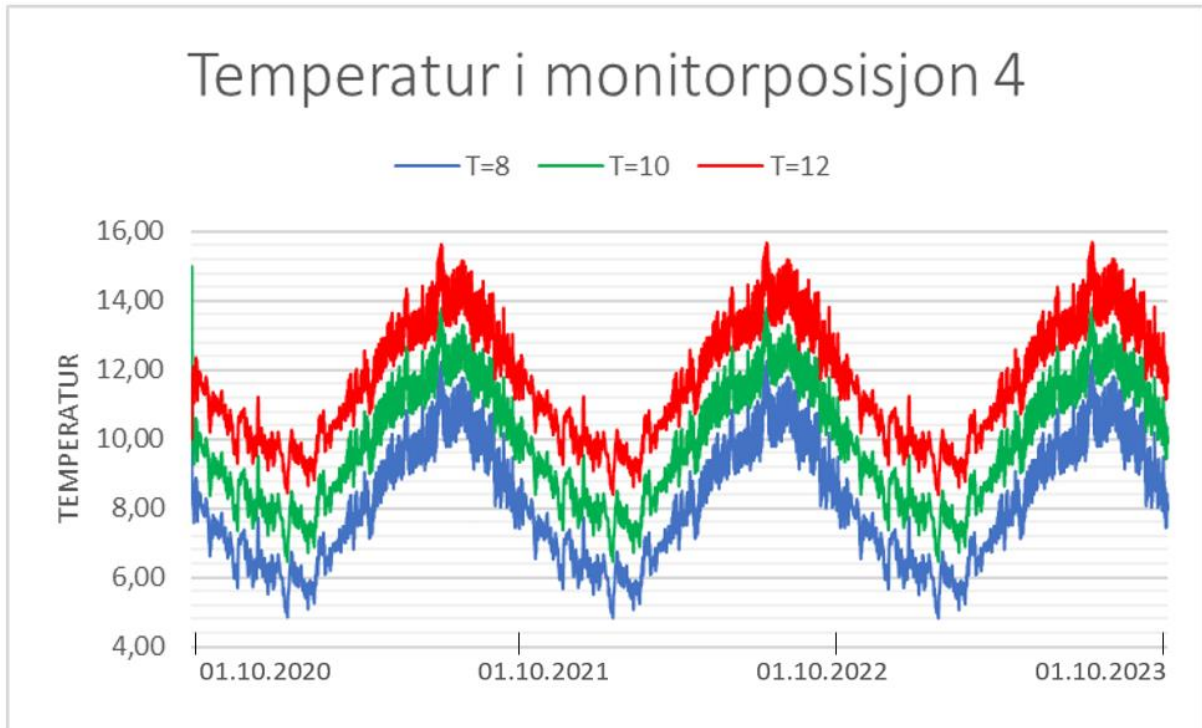
## B.2 Temperatur for Oslo



Temperatur for monitorposisjon 1 for Oslo

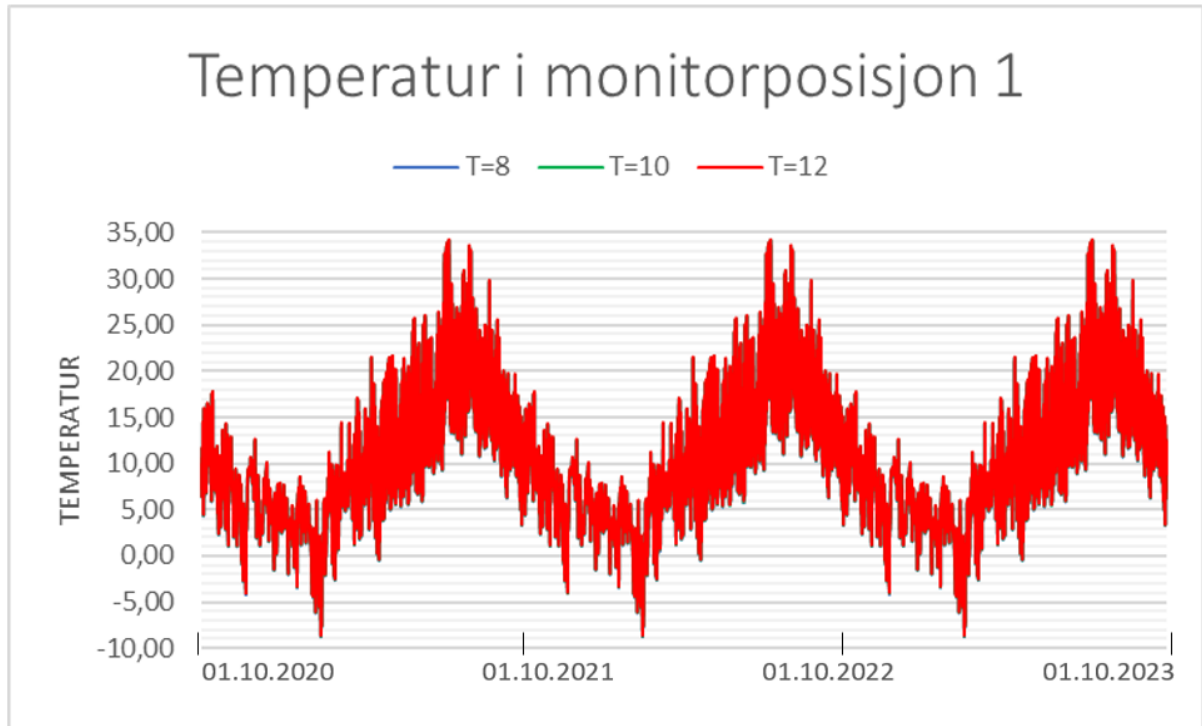


Temperatur for monitorposisjon 3 for Oslo

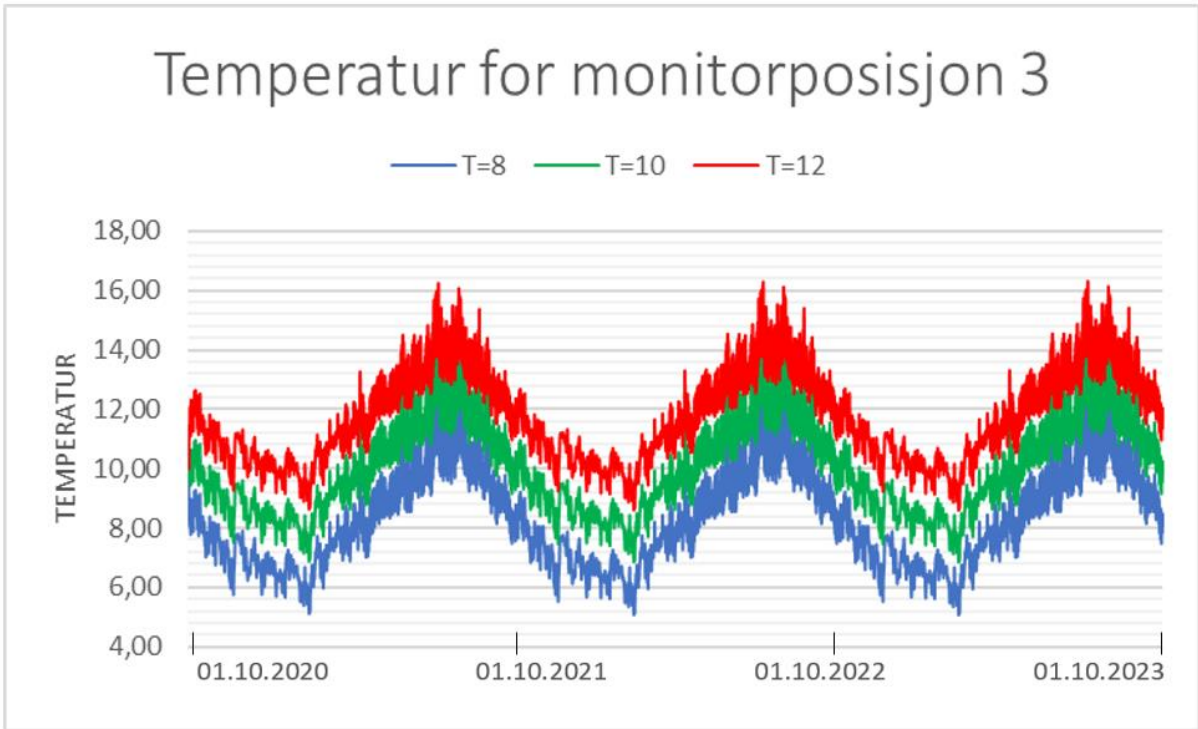


**Temperatur for monitorposisjon 4 for Oslo**

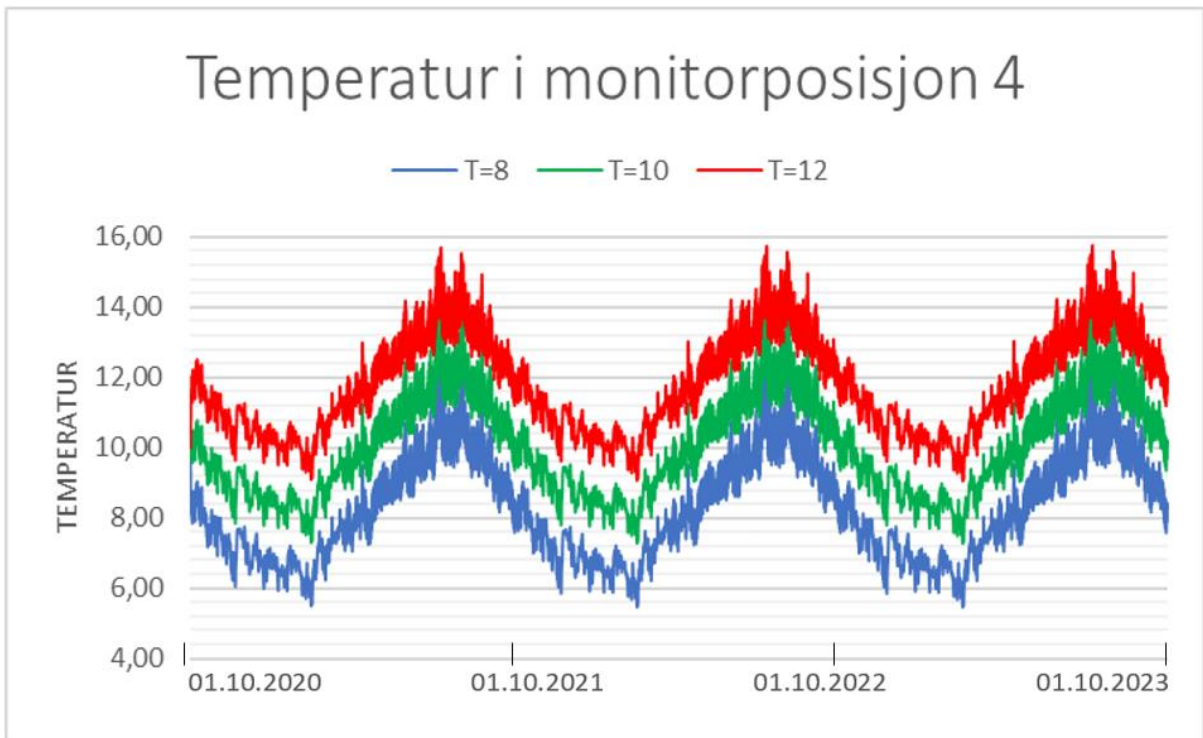
### **B.3 Temperatur for Bergen**



**Temperatur for monitorposisjon 1 for Bergen**



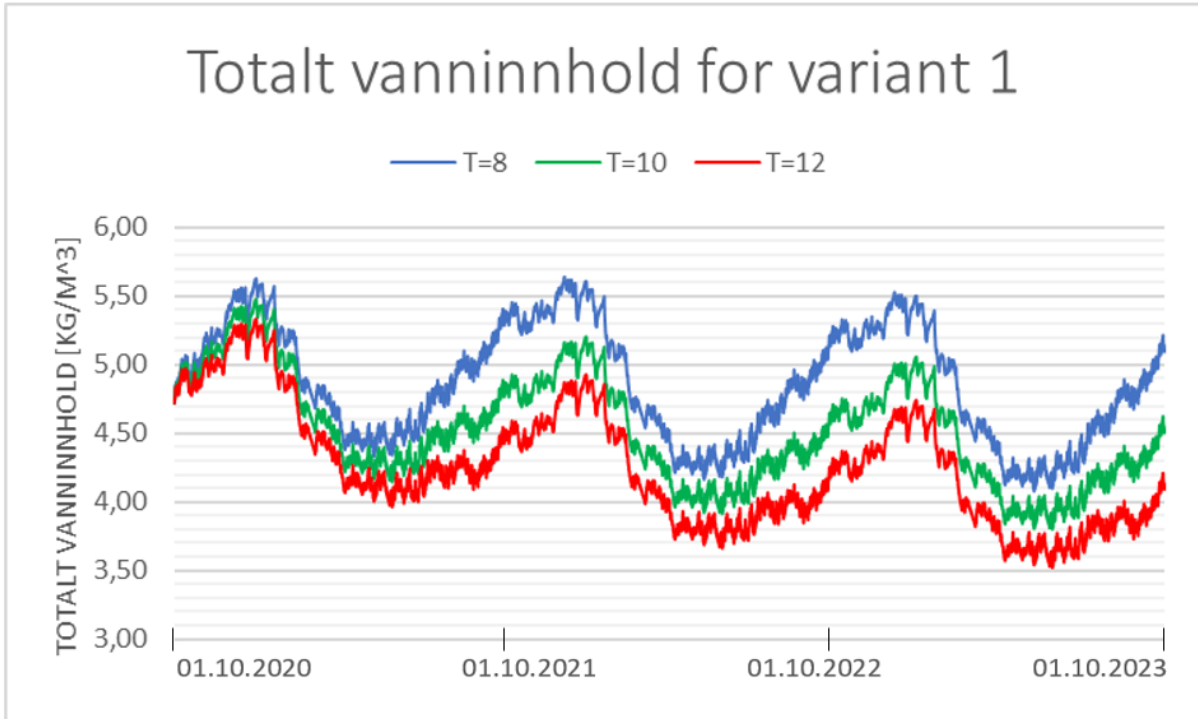
**Temperatur for monitorposisjon 3 for Bergen**



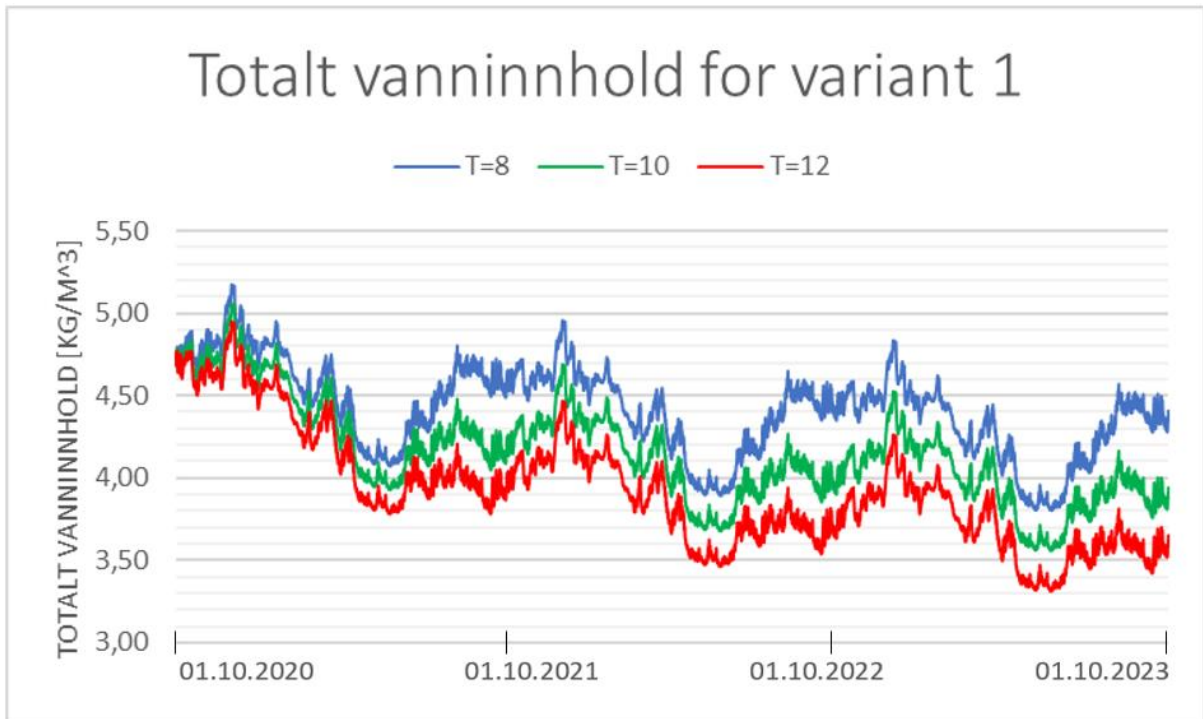
**Temperatur for monitorposisjon 4 for Bergen**

## C- Totalt vanninnhold

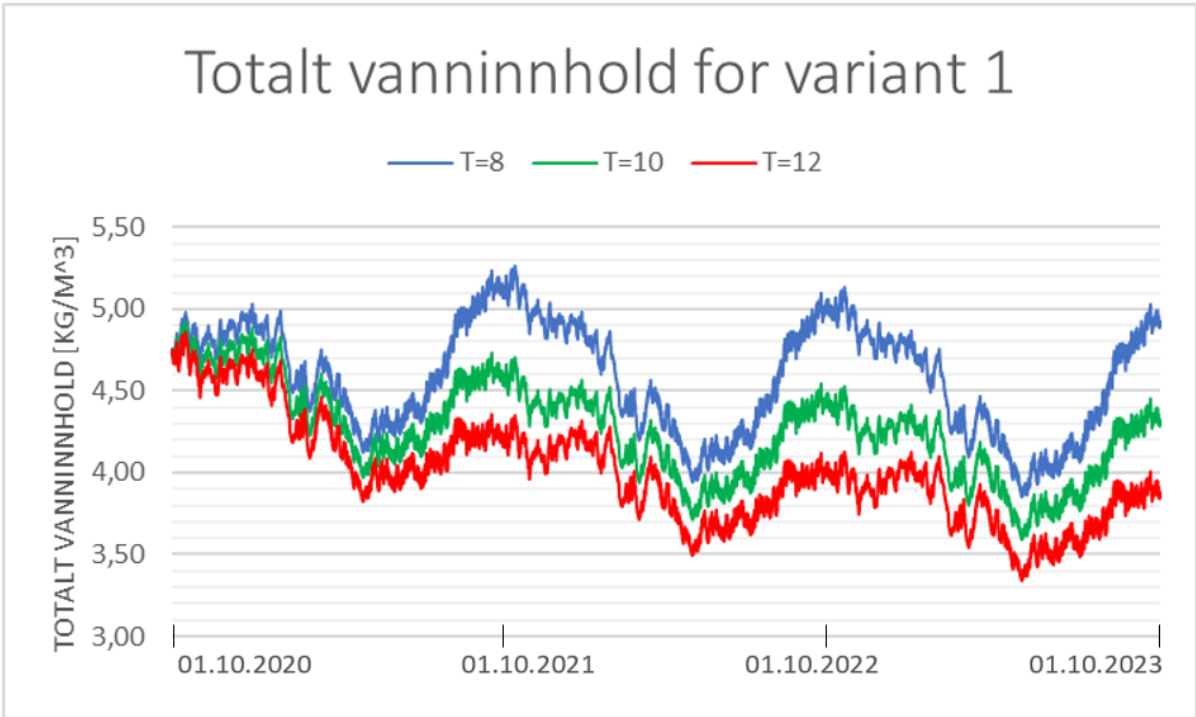
### C.1 Variant 1



#### Totalt vanninnhold for variant 1 for Trondheim

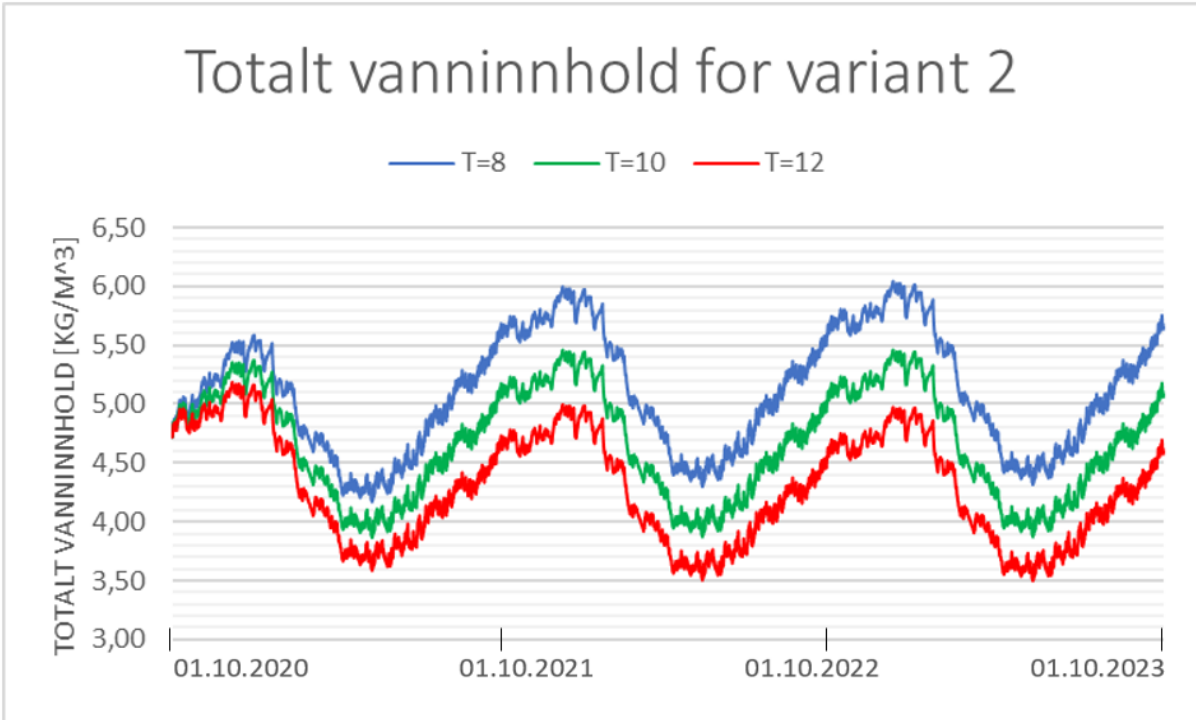


#### Totalt vanninnhold for variant 1 for Oslo



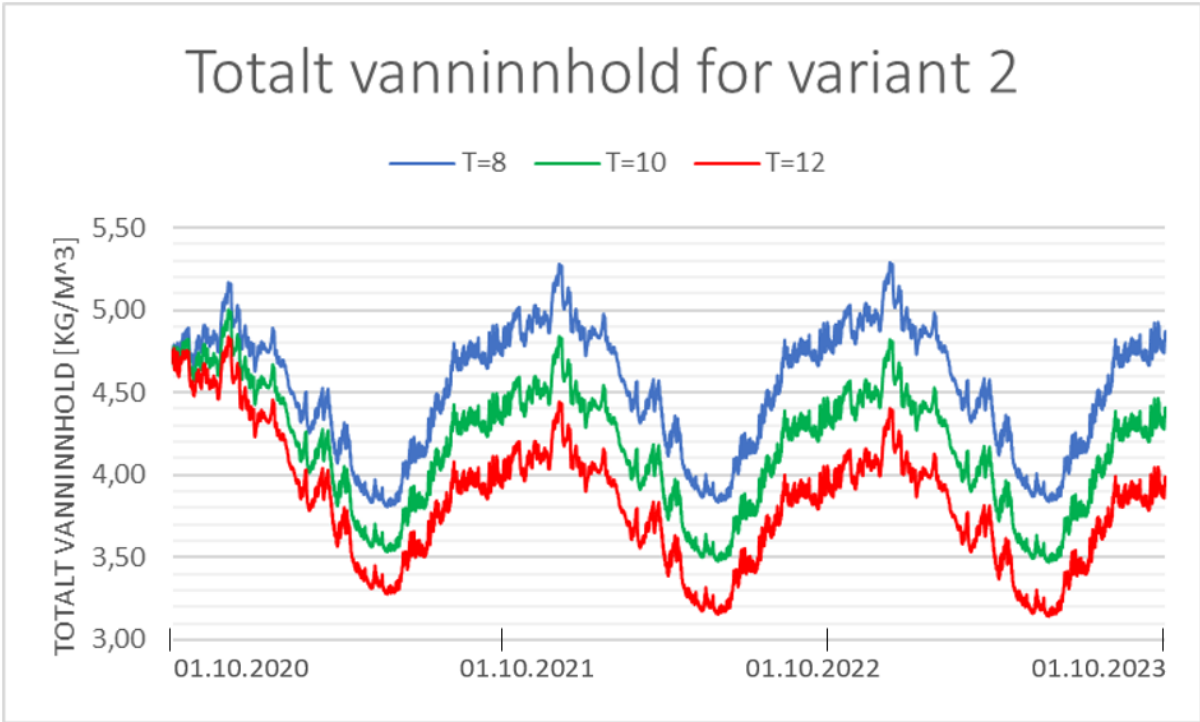
**Total vanninnhold for variant 1 for Bergen**

**C.2 Variant 2**

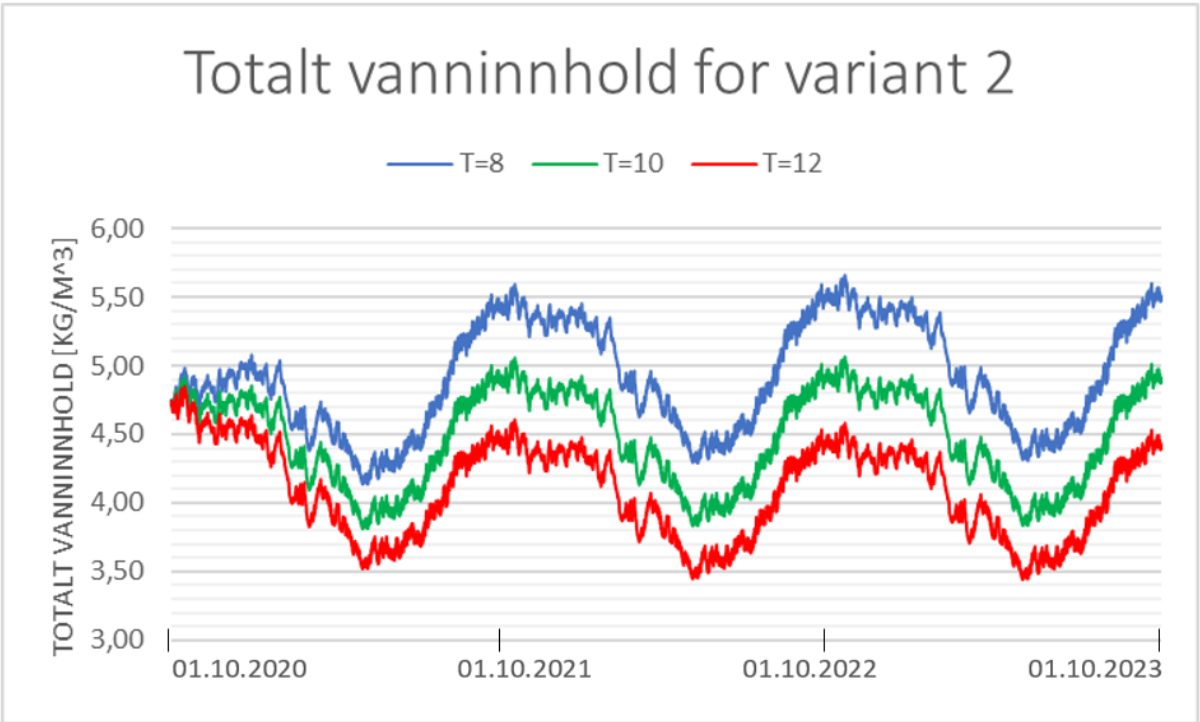


**Total vanninnhold for variant 2 for Trondheim**



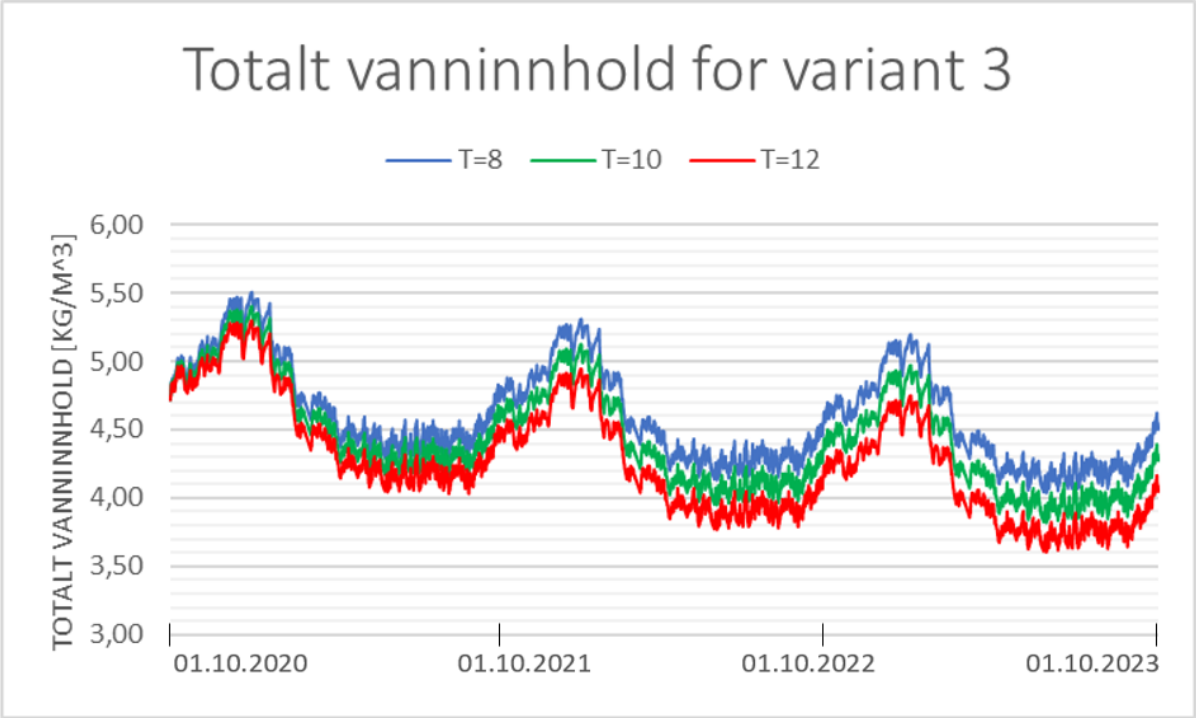


**Totalt vanninnhold for variant 2 for Oslo**

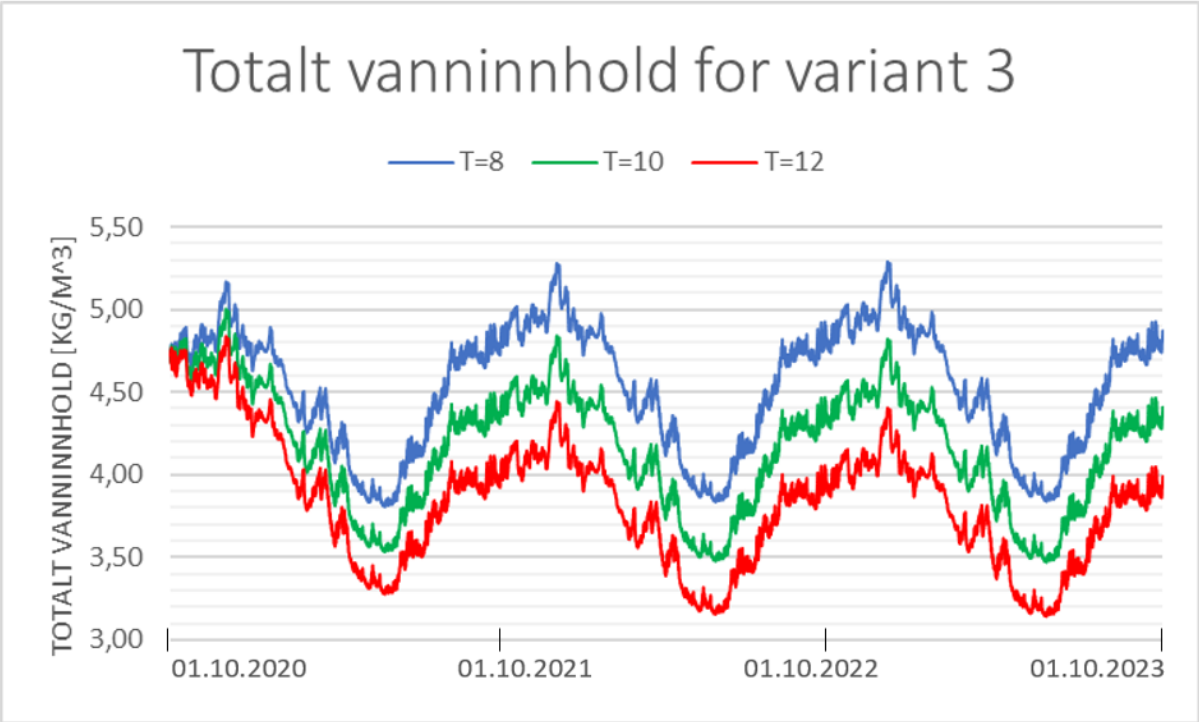


**Totalt vanninnhold for variant 2 for Bergen**

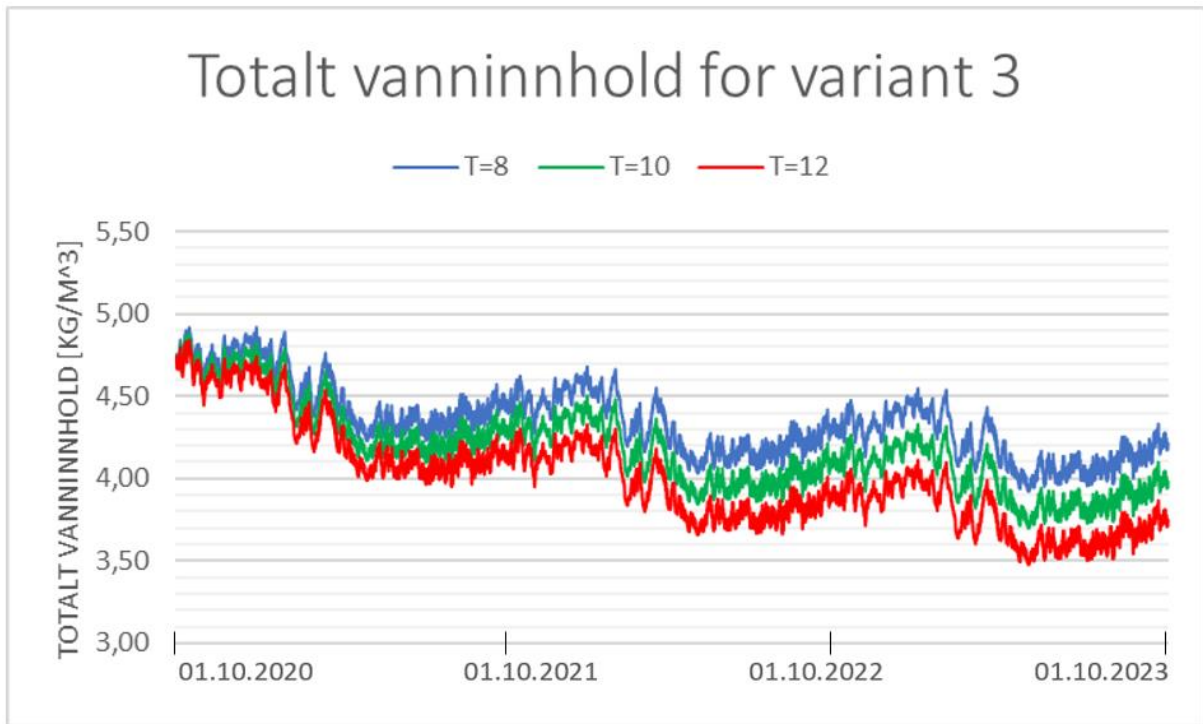
**C.3 Variant 3**



**Totalt vanninnhold for variant 3 for Trondheim**

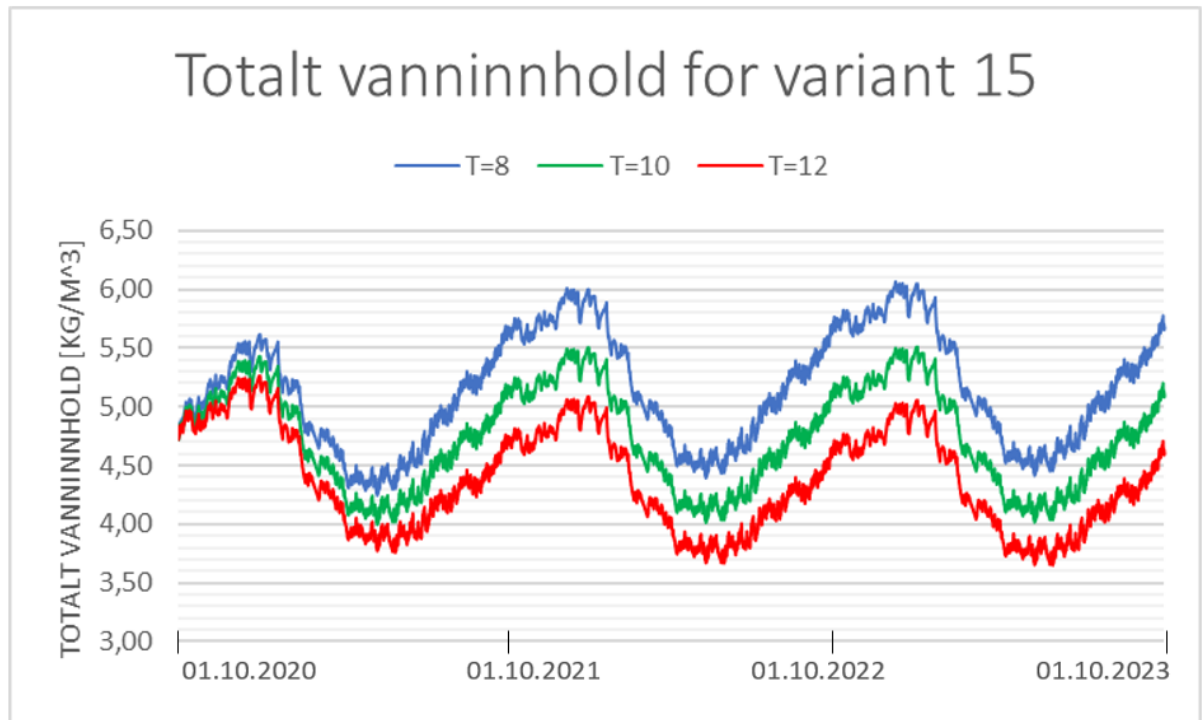


**Totalt vanninnhold for variant 3 for Oslo**

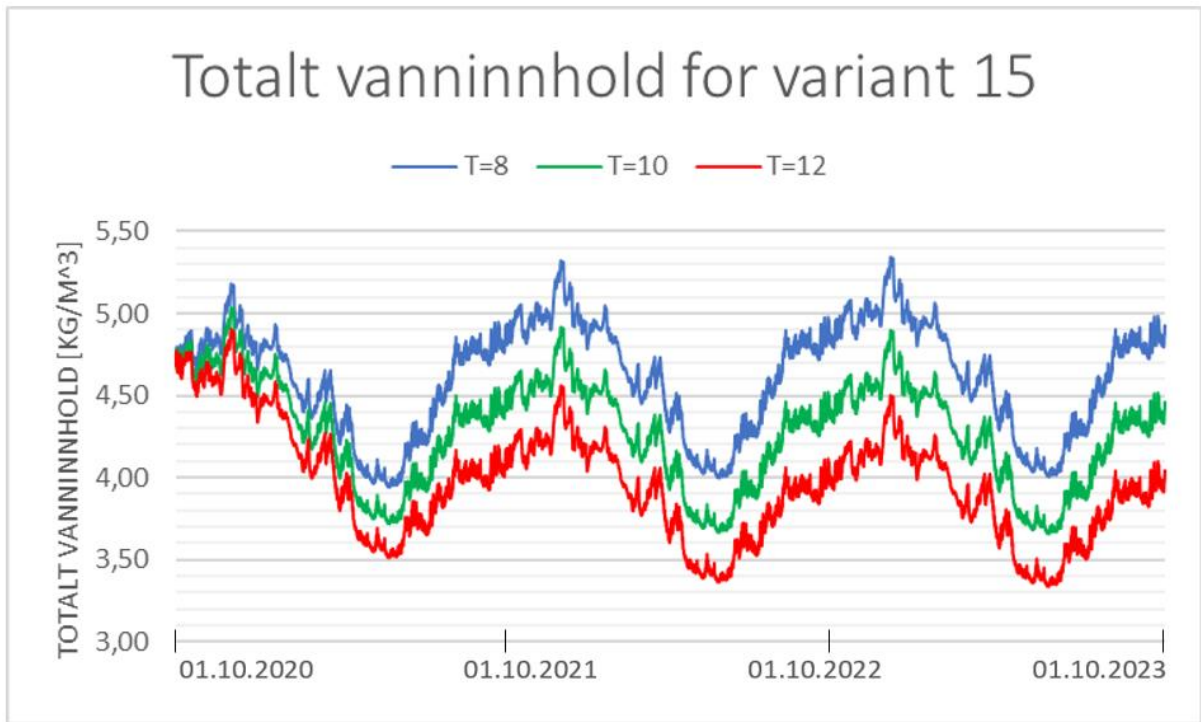


**Total vanninnhold for variant 3 for Bergen**

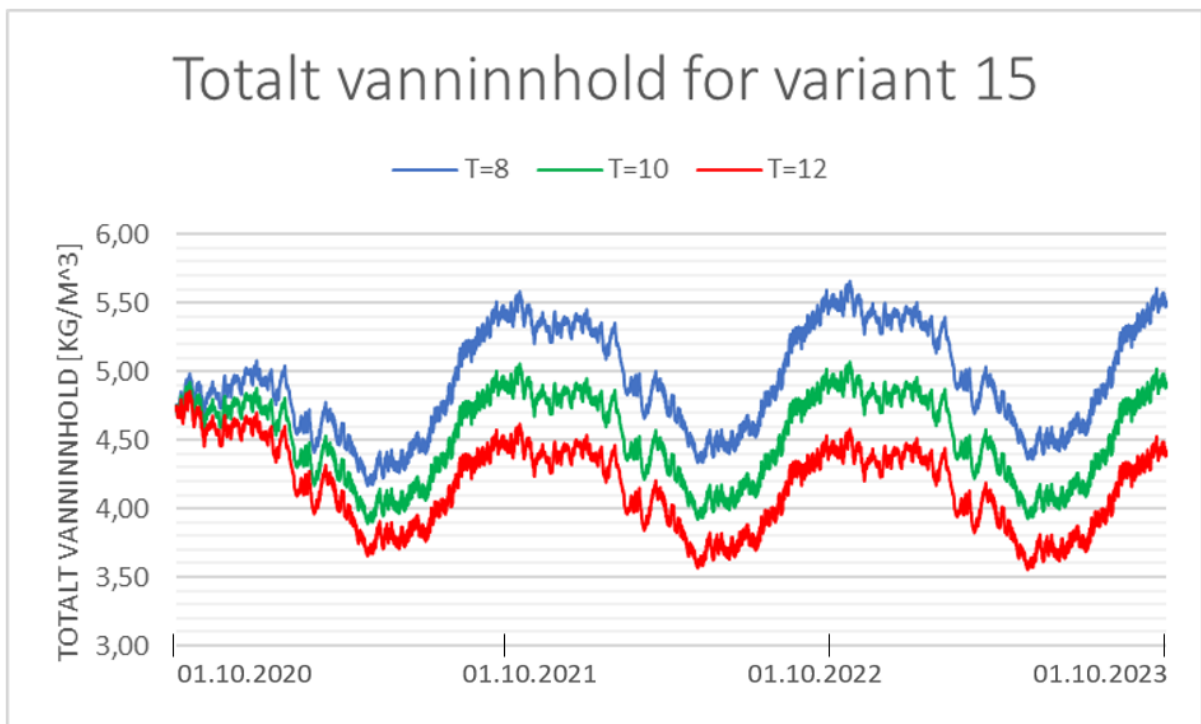
#### C.4 Variant 15



**Total vanninnhold for variant 15 for Trondheim**

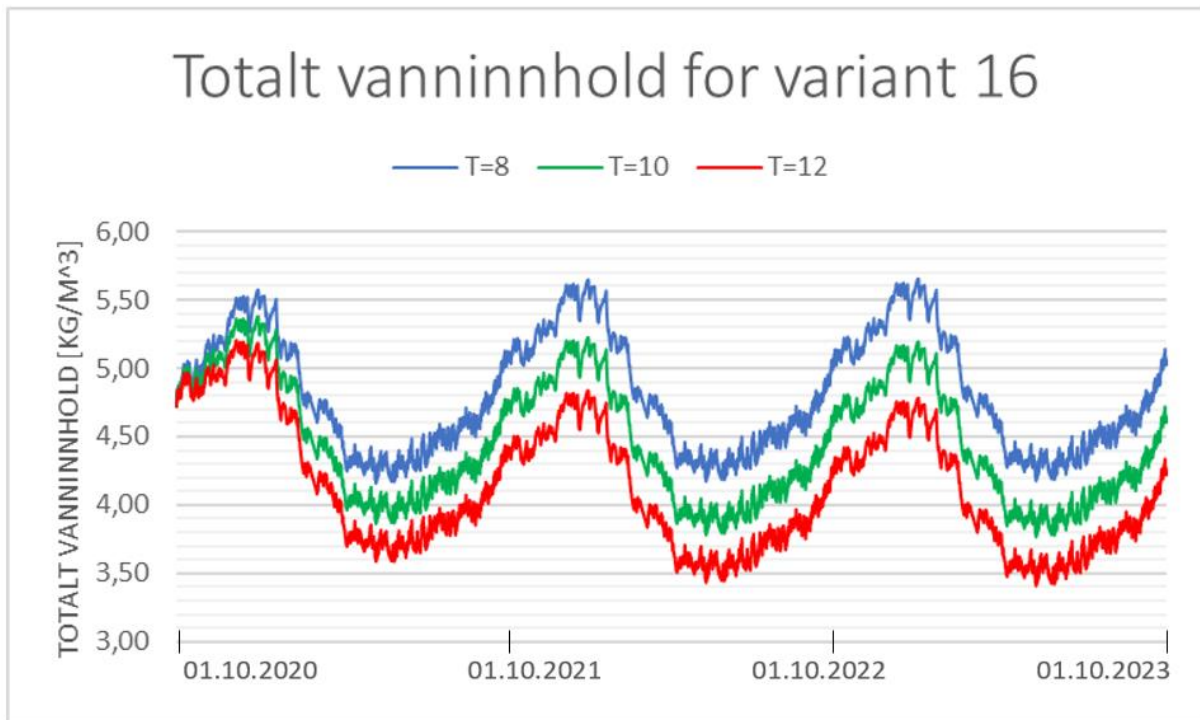


**Totalt vanninnhold for variant 15 for Oslo**

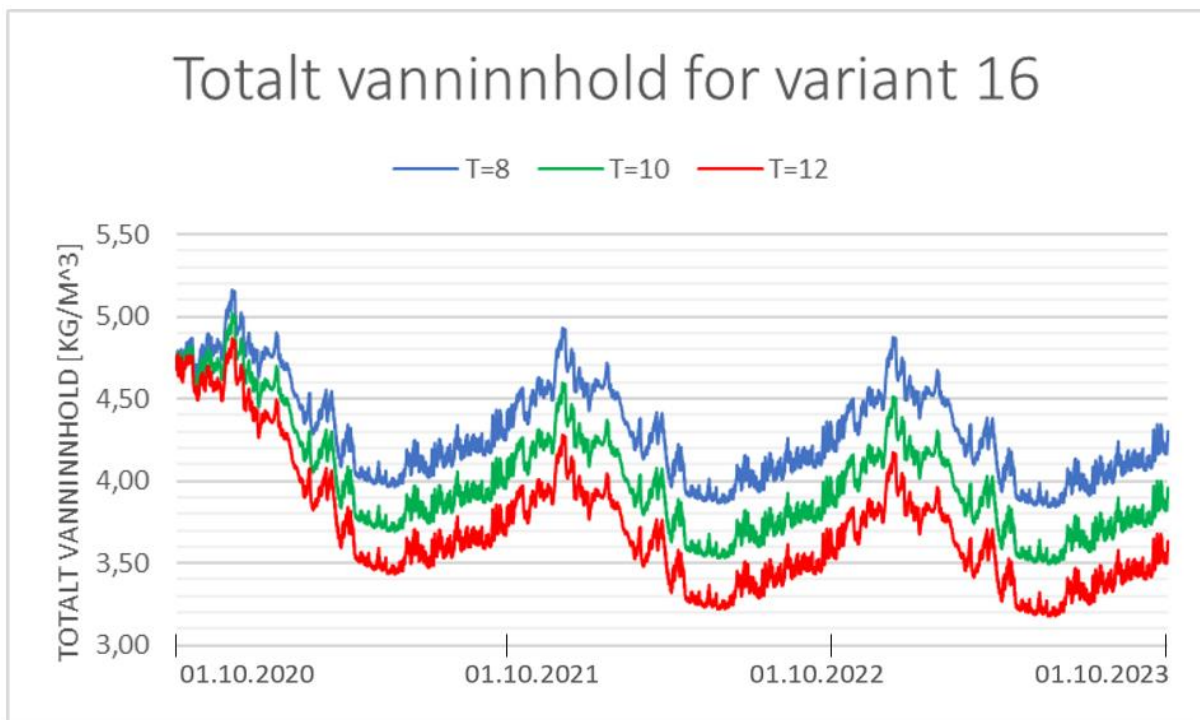


**Totalt vanninnhold for variant 15 for Bergen**

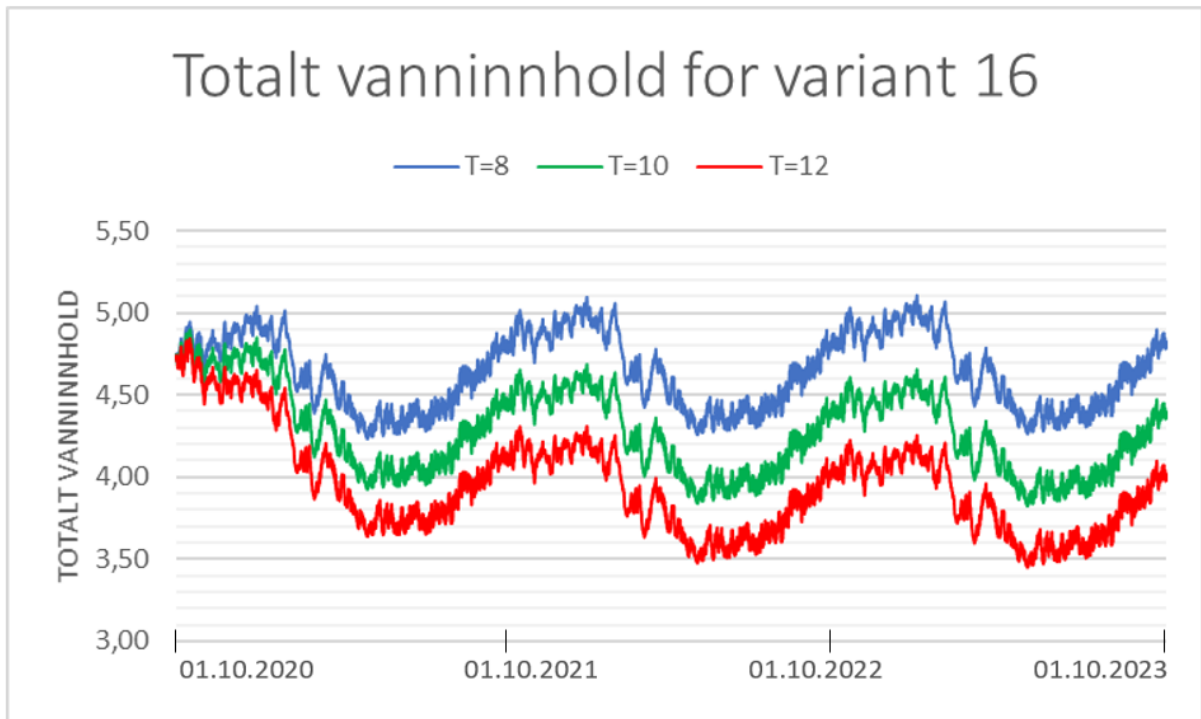
## C.5 Variant 16



### Totalt vanninnhold for variant 16 for Trondheim



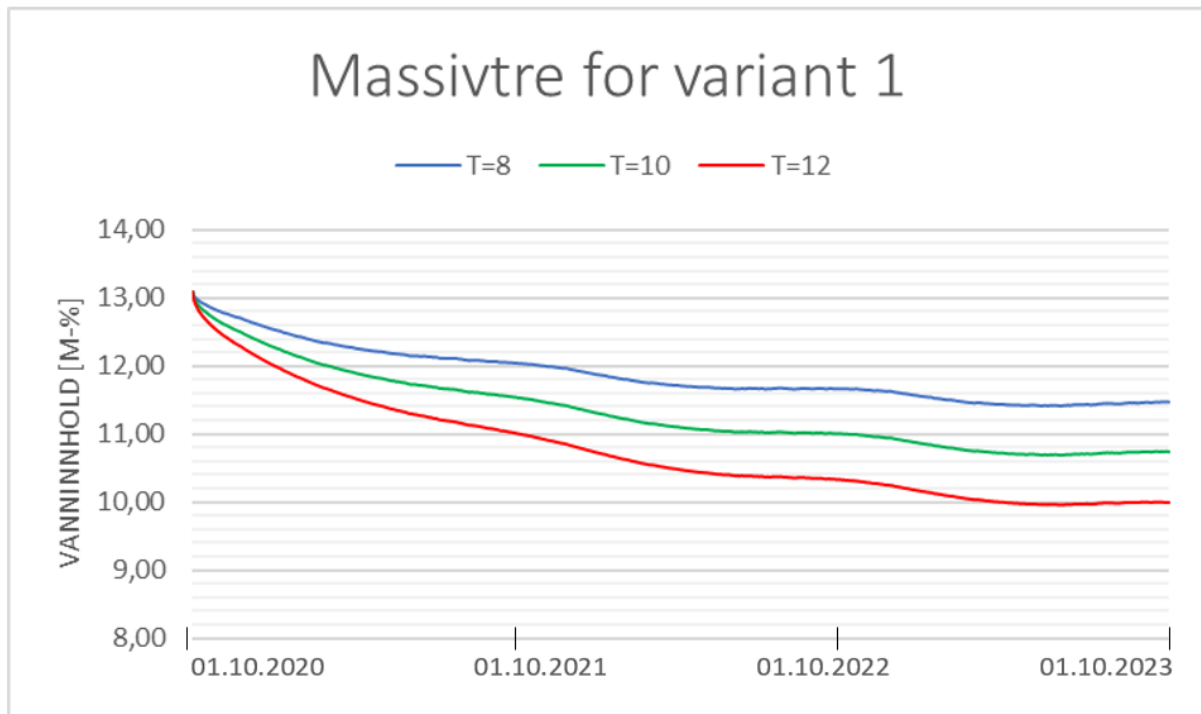
### Totalt vanninnhold for variant 16 for Oslo



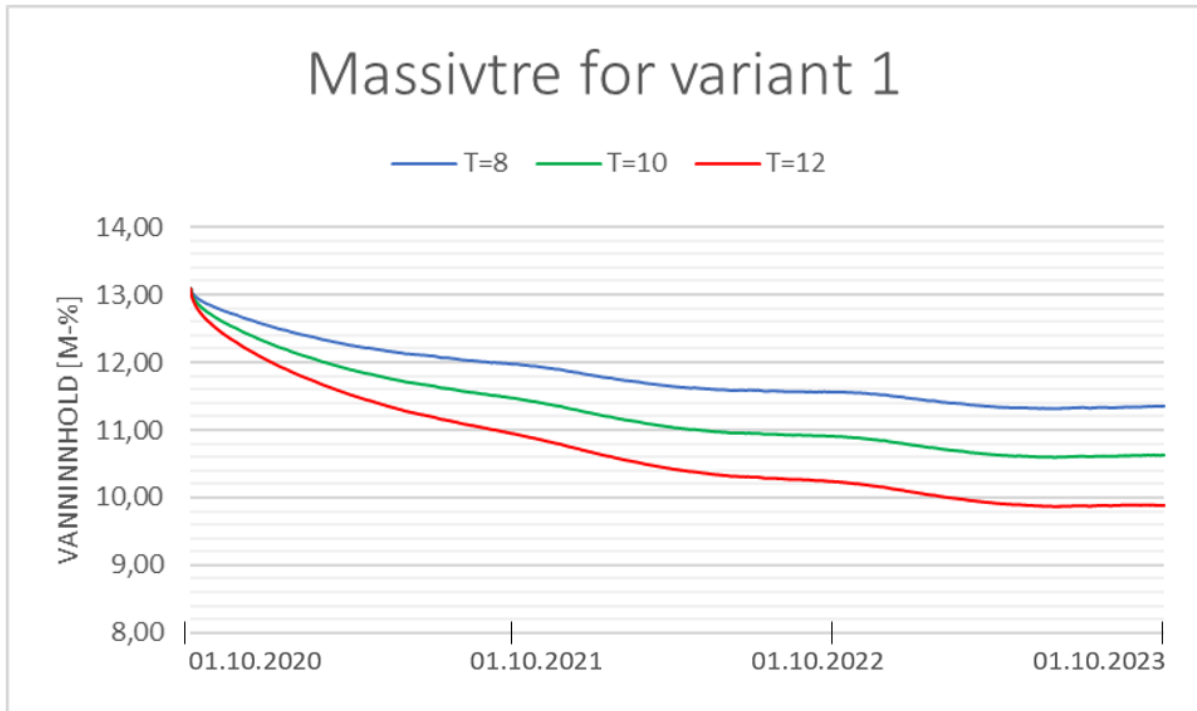
**Totalt vanninnhold for variant 16 for Bergen**

## D- Vanninnhold i massivtre

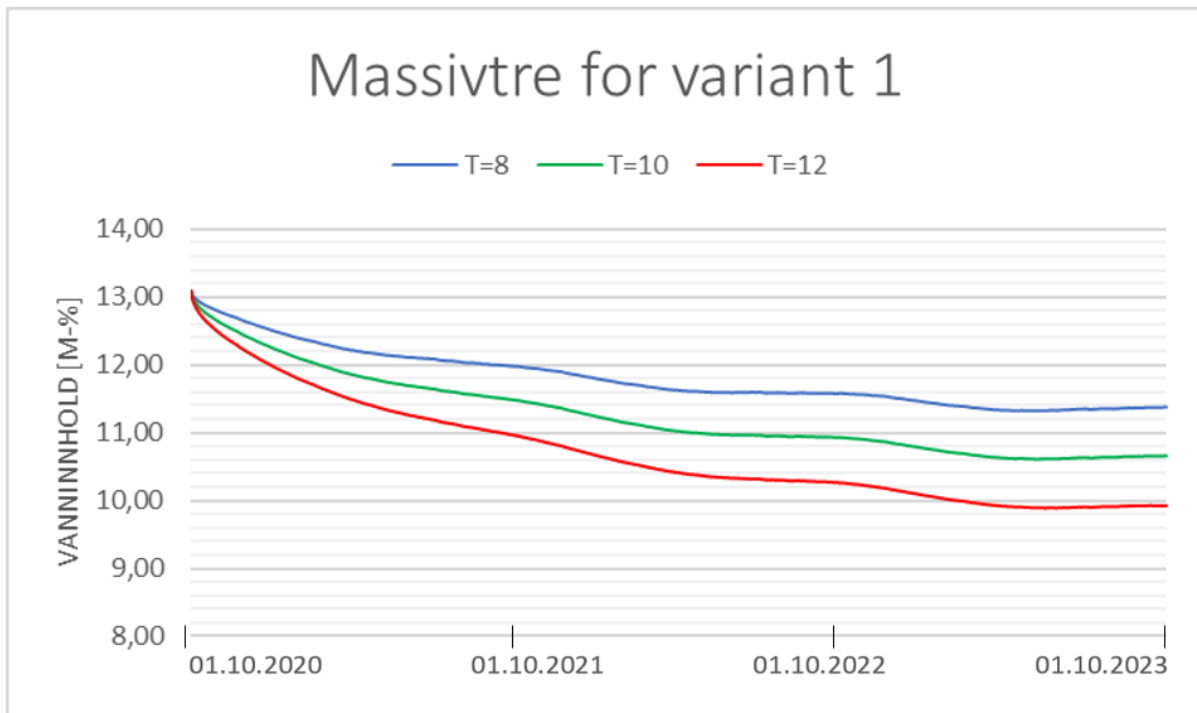
### D.1 Variant 1



**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 1 for Trondheim**

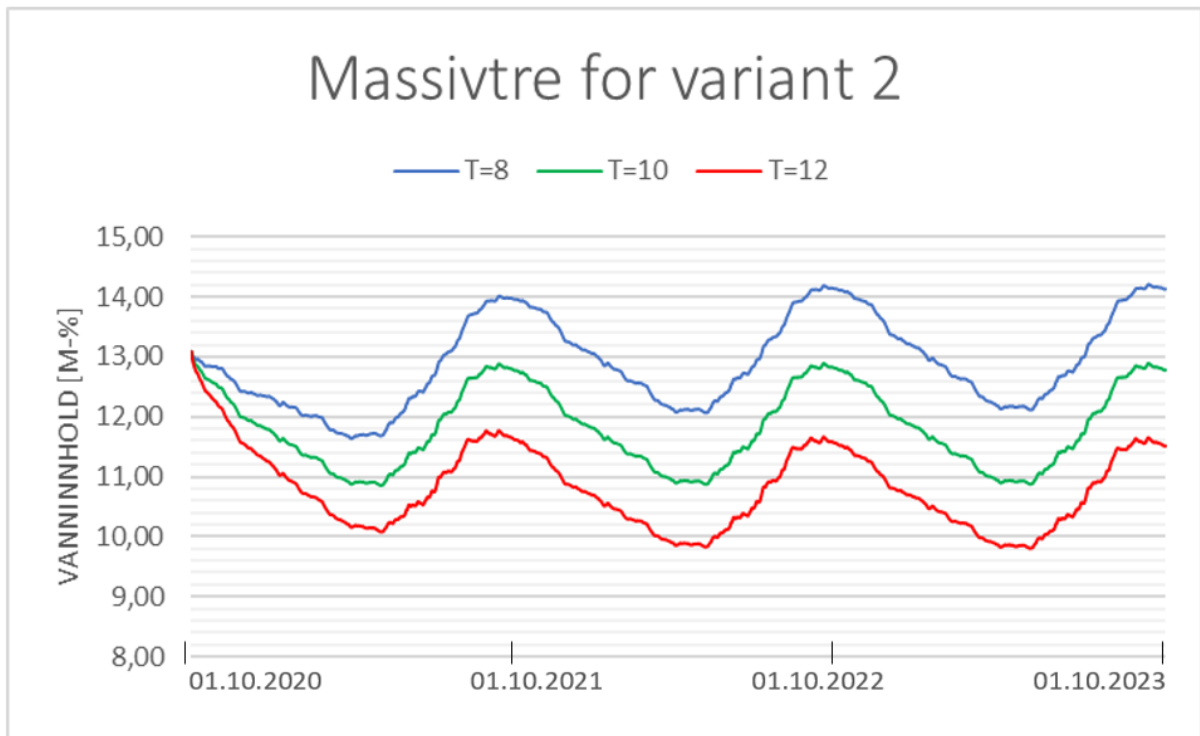


**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 1 for Oslo**

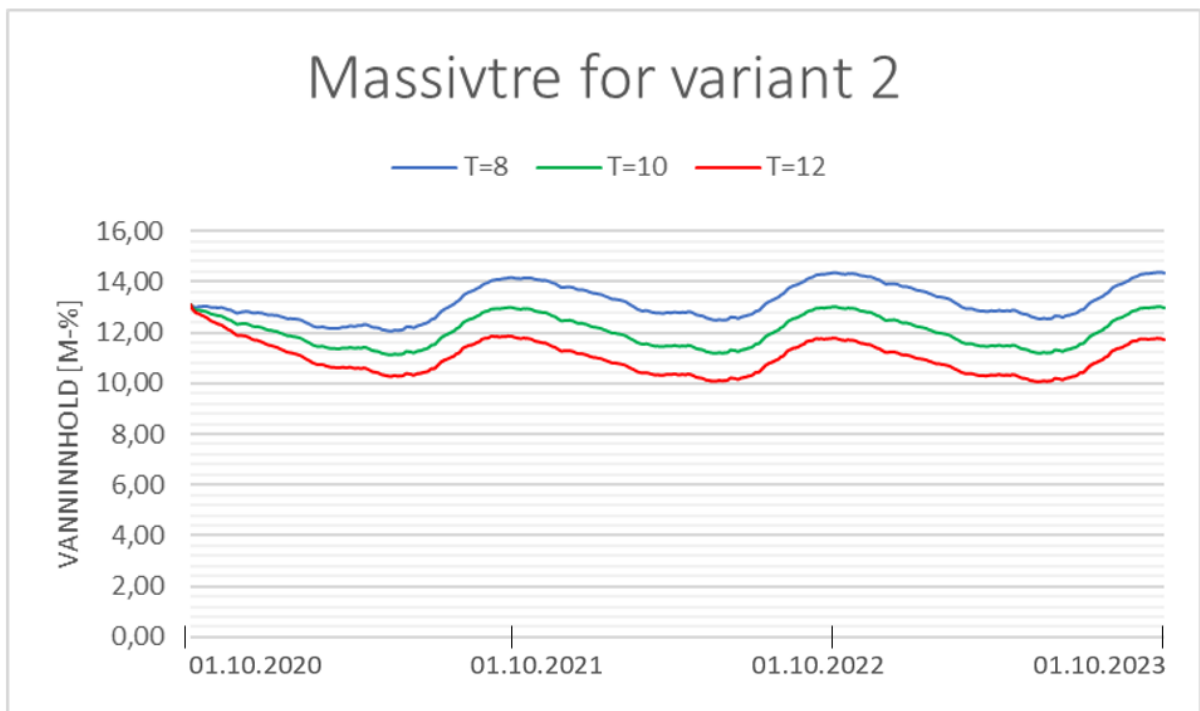


**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 1 for Bergen**

## D.2 Variant 2

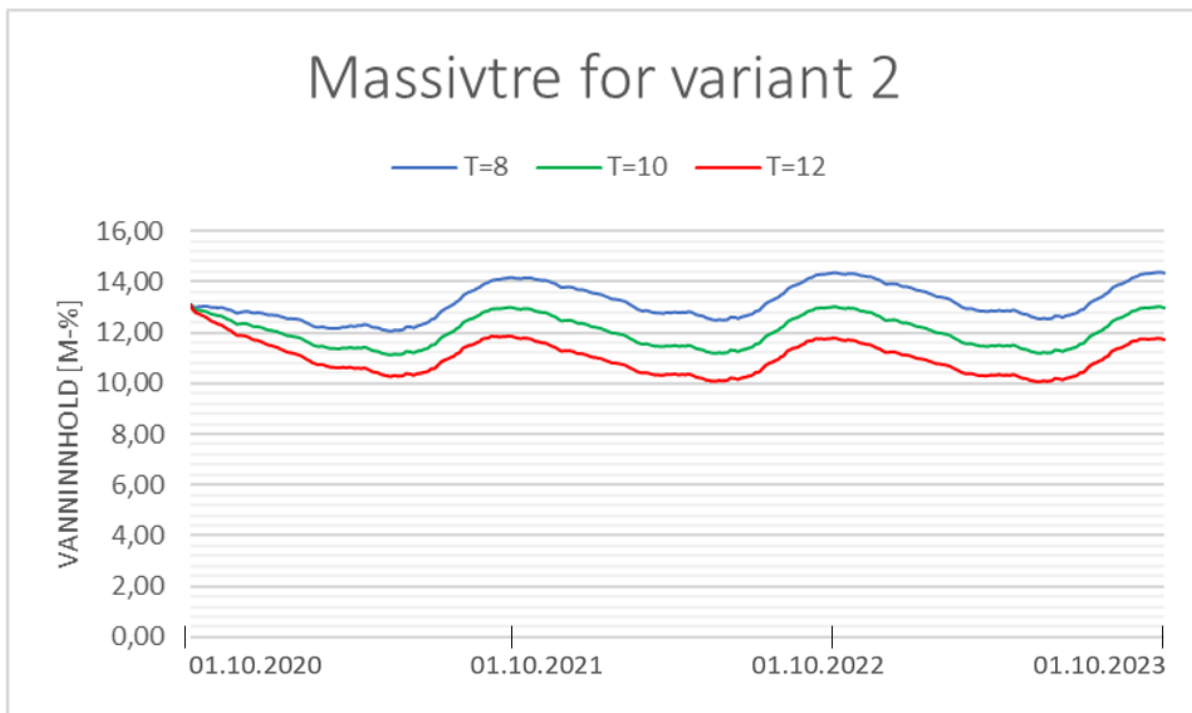


Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 2 for Trondheim



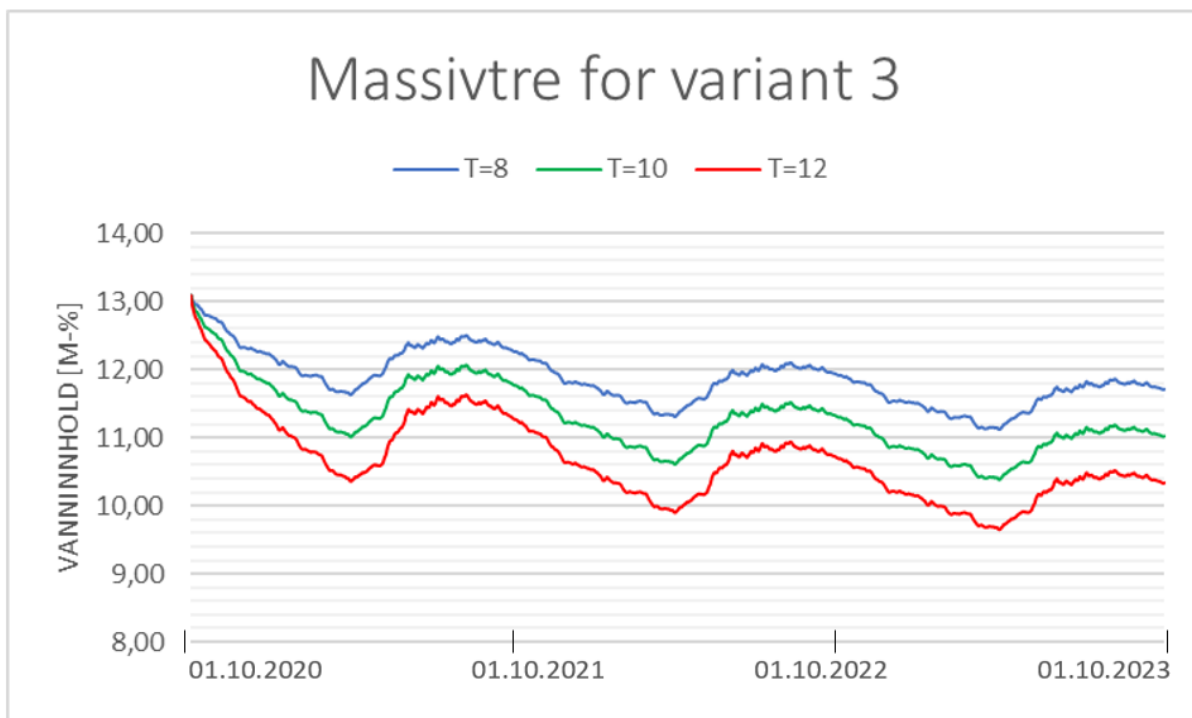
Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 2 for Oslo



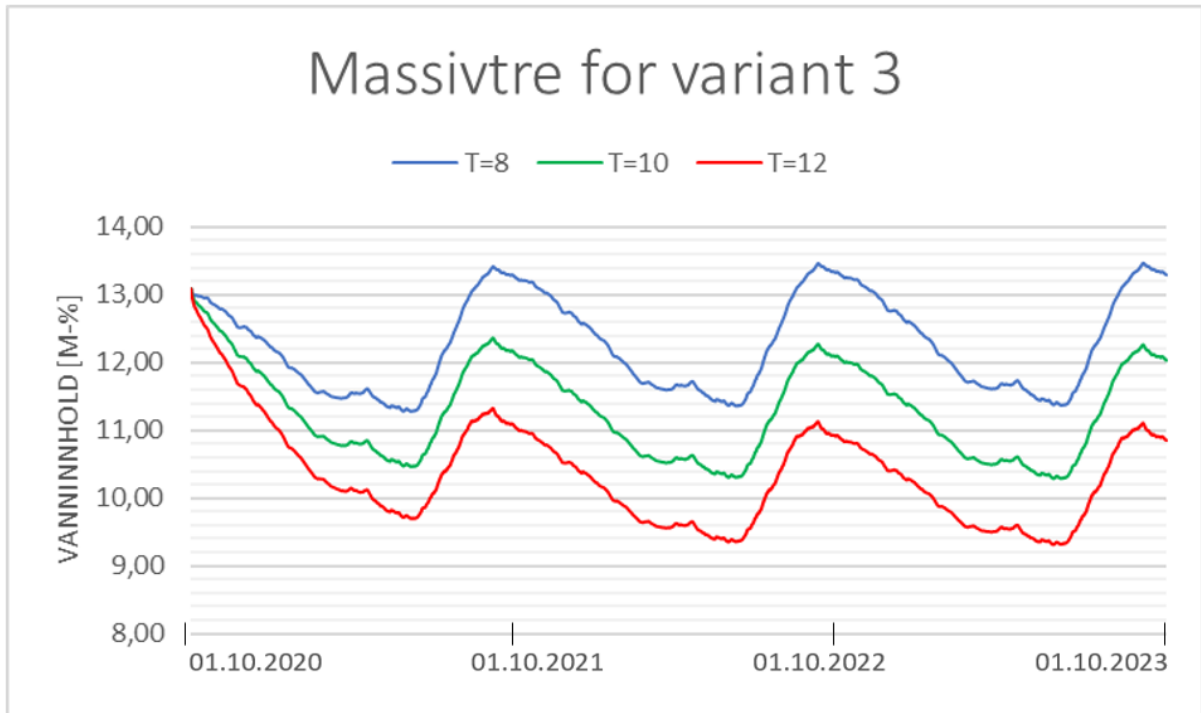


**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 2 for Bergen**

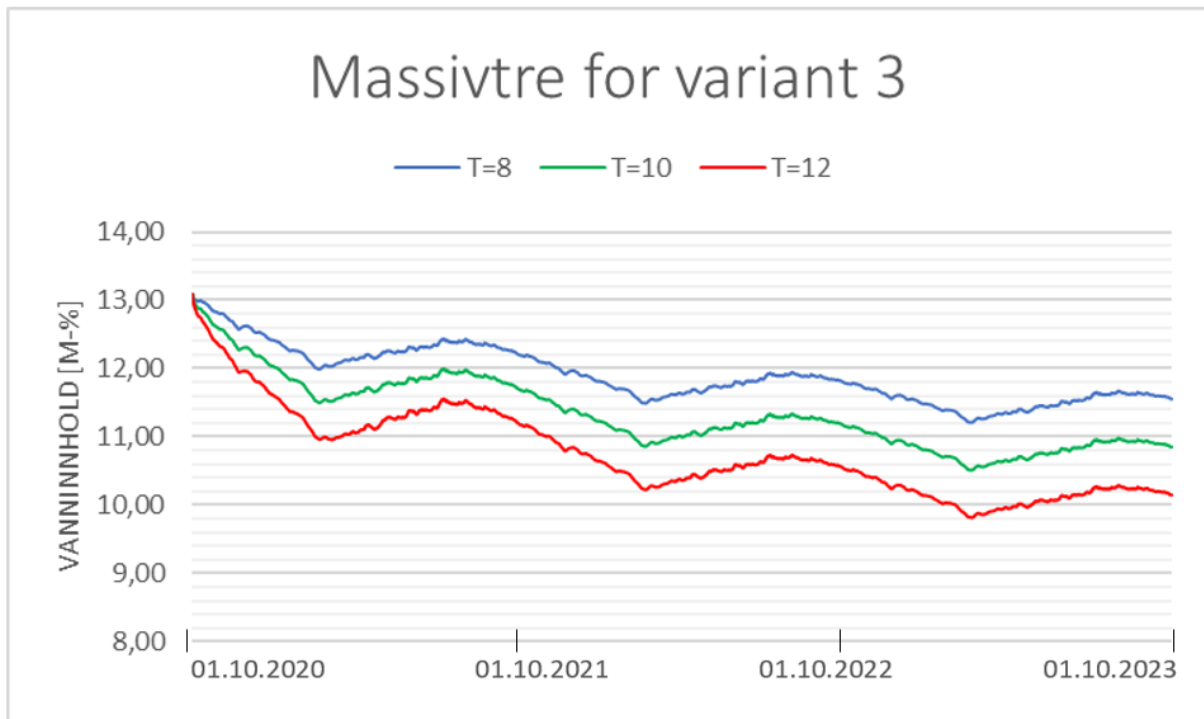
### D.3 Variant 3



**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 3 for Trondheim**

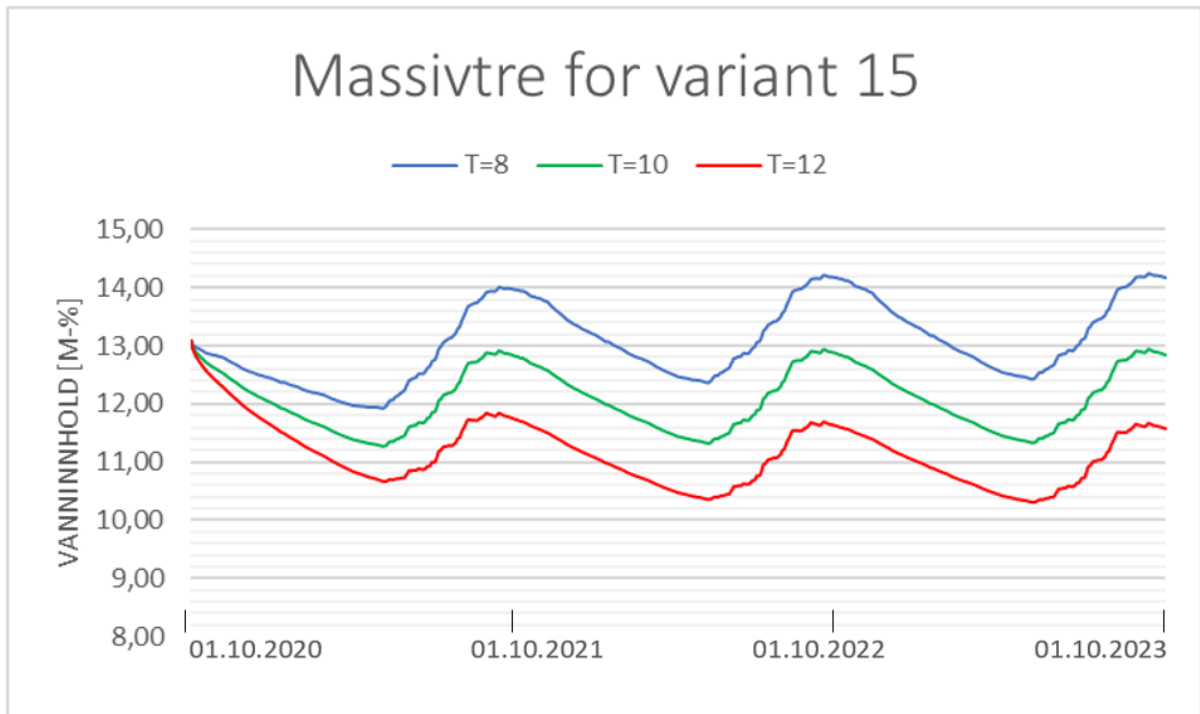


**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 3 for Oslo**

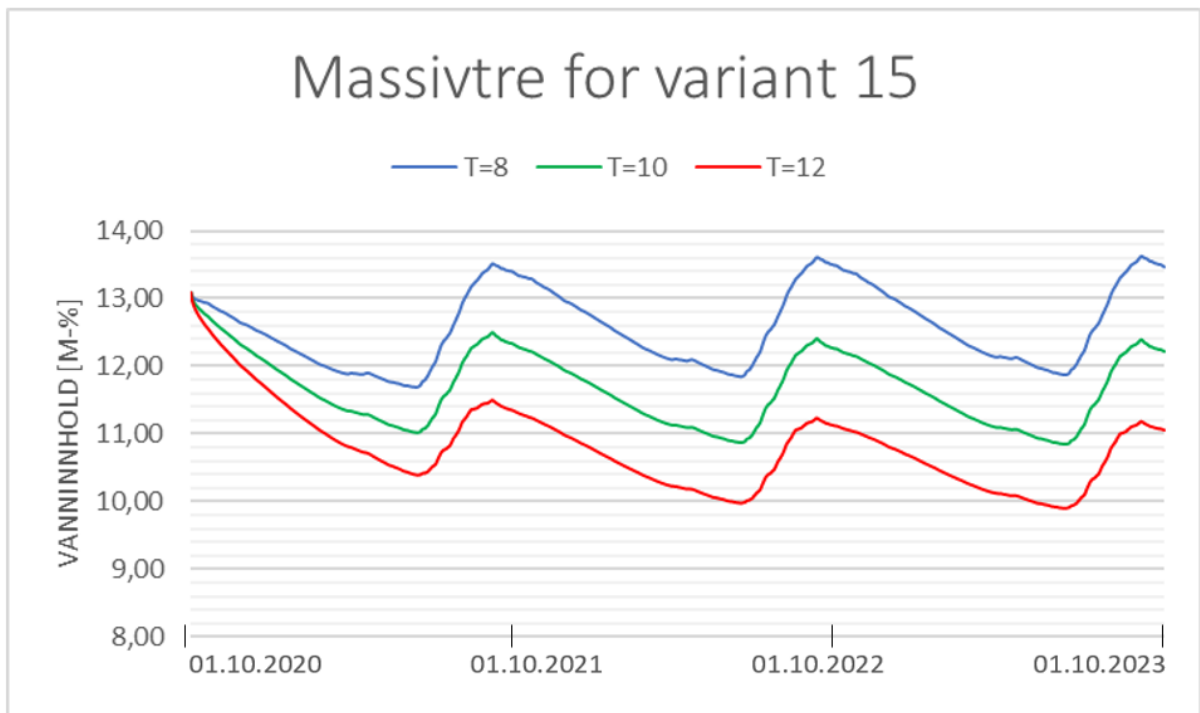


**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 3 for Bergen**

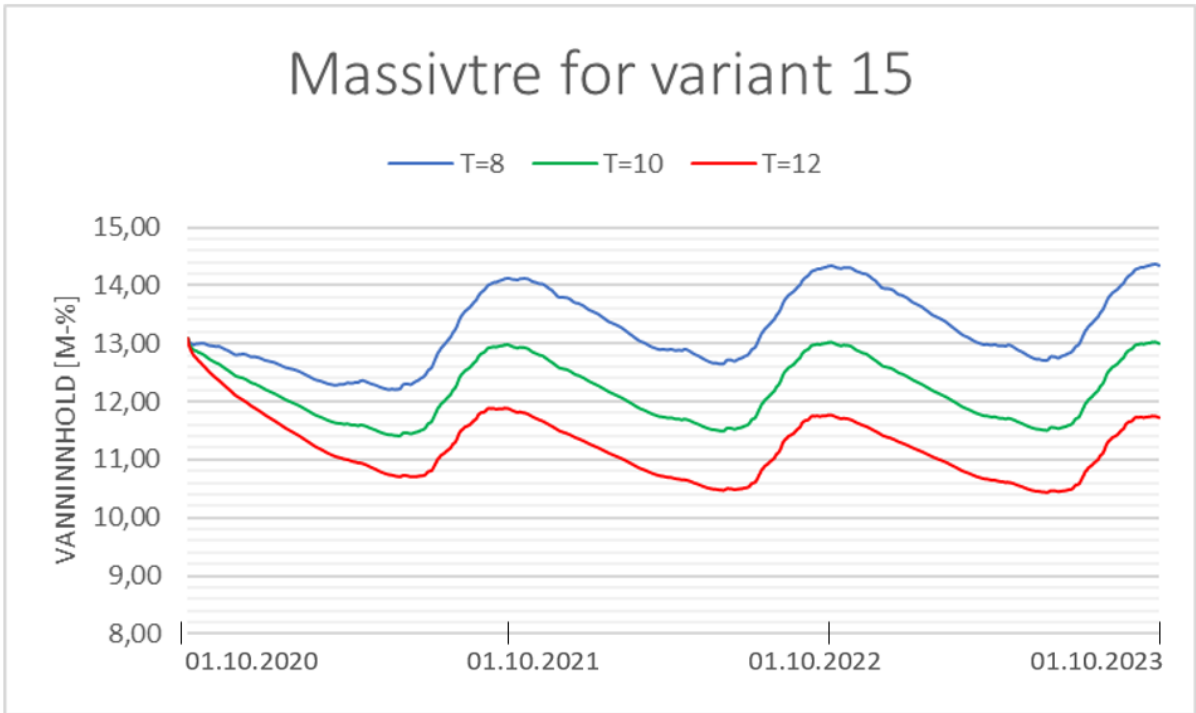
#### D.4 Variant 15



#### Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 15 for Trondheim

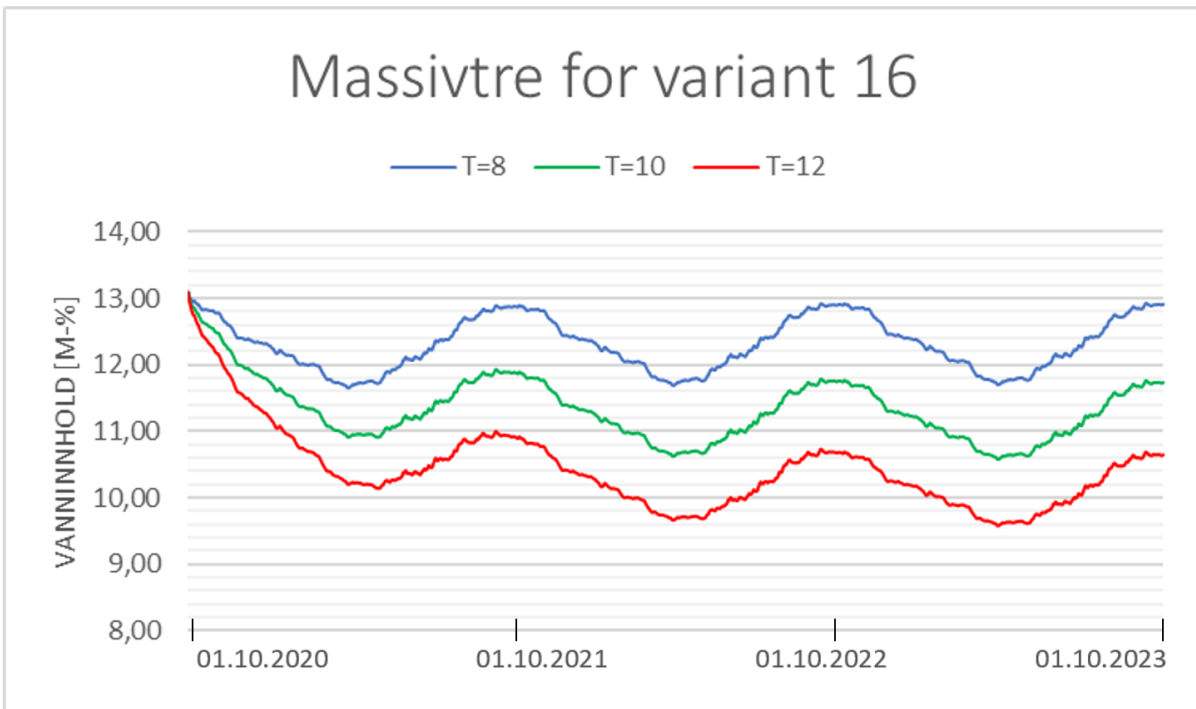


#### Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 15 for Oslo

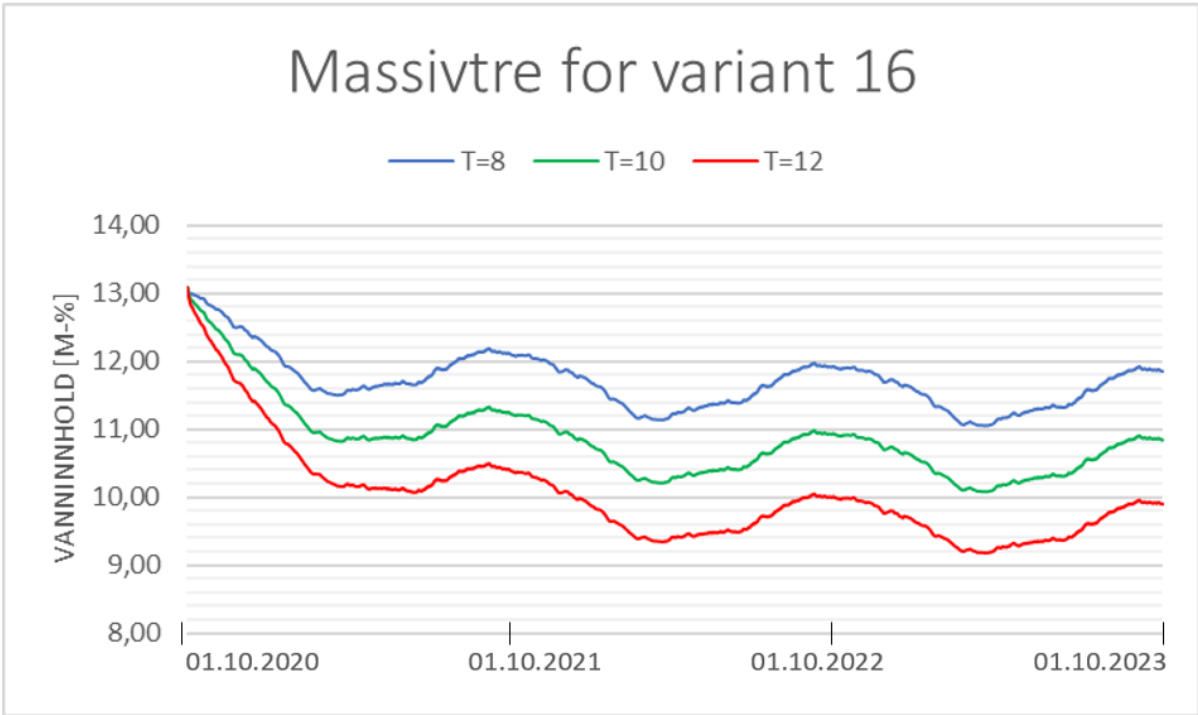


**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 15 for Bergen**

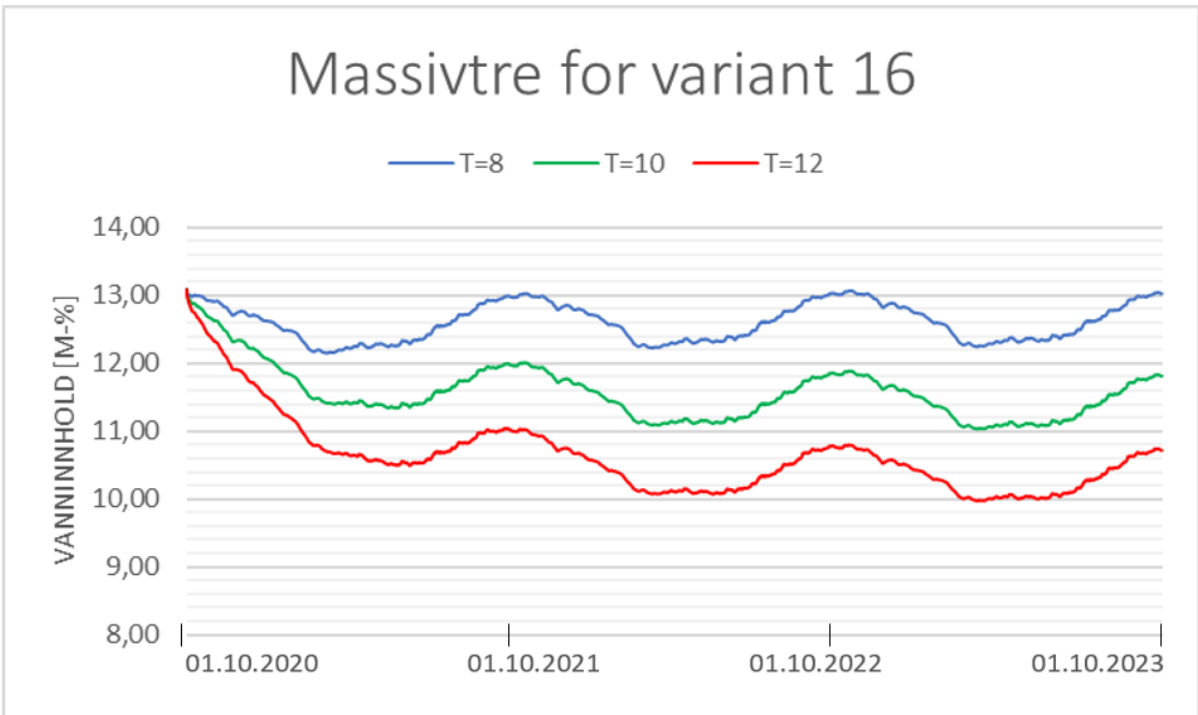
### D.5 Variant 16



**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 16 for Trondheim**



**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 16 for Oslo**



**Vanninnhold i M-% for massivtre for variant 16 for Bergen**

## E- Verdier AirGuard Smart

Hi Markus,

maybe this is too late for your project, but still I'd like to correct some data from the WUFI dataset. This actually comes from a potential customer that was concerned with the low vapour resistance at 47.5% of avg rel humidity. He claimed that this was a perfectly standard humidity in a home, and that too much vapour could pass through, with potential for condensation.

I then digged out some other data from the Japanese test report and corrected this point. My understanding is that this low value of 0.4m is only valid for extreme conditions (such as 0% vs. 95%), whereas in more standard conditions the sd-value is higher. These are the two points that should rather appear in the WUFI dataset:

rel. hum. test chamber	50	50
rel. hum test cup	33	75
avg rel hum	41.5	62.5
sd-value [m]	3.4	1.5

The final dataset could look like this:

RF [%]	Sd [m]
12,5	102,5
25	34,3
37,5	18,2
41,5	3.4
62,5	1.5
75	0,17
87,5	0,07
95	0,03
97,5	0,02

(Embedded image moved to file: pic11008.jpg)

Best regards,  
Norbert

Norbert Frey

Technical Marketing Specialist  
DuPont Building Innovations

Tel ++352 3666 5491

DuPont de Nemours (Luxembourg) S.à r.l.  
Société à responsabilité limitée  
au capital de 74.370.250 Euro  
Rue Général Patton  
L-2984 Luxembourg  
R.C.S. Luxembourg B 9529

[http://www2.dupont.com/Tyvek\\_Constr\\_Global\\_Landing/en\\_US/](http://www2.dupont.com/Tyvek_Constr_Global_Landing/en_US/)

*Vario = Nova  
Wells  
AirGuard*

# F- Teknisk Godkjenning Rockwool REDAir Flexsystem



SINTEF Certification

Nr. 2549



Utstedt: 01.11.2008

Revidert: 01.04.2013

Gyldig til: 01.09.2018

Side: 1 av 4

SINTEF Byggforsk bekrefter at

## Rockwool REDAir Flexsystem

tilfredsstiller krav til produktdokumentasjon gitt i Plan- og Bygningsloven og tilhørende Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10) med egenskaper, bruksområder og betingelser for bruk som angitt i dette dokumentet

### 1. Innehaver av godkjenningen

AS Rockwool  
Gjerdrums vei 19  
0484 Oslo  
Tlf: 22 02 40 00  
E-post: rockwool@rockwool.no  
Internett: www.rockwool.no

### 2. Produsent

AS Rockwool  
Industrivej 9, 6580 Vamdrup  
Danmark

### 3. Produktbeskrivelse

Rockwool REDAir Flexsystem er et isolasjonssystem for utvendig isolering av yttervegger. Se fig. 1. Hovedkomponentene i systemet er REDAir Flexsystem plater i steinull, REDAir Flexsystem lektene og REDAir Flexsystem skruer som forbinder lektene til den bakenforliggende, bærende veggkonstruksjonen. REDAir Flexsystem friksjonsplater sikrer friksjon mellom steinull og lektene. Utøver festepluggene inneholder ikke Rockwool REDAir Flexsystem gjennomgående, bærende elementer som kan øke varmetapet gjennom vegg. Utforming av ytterkledning og bakvegg inngår ikke i godkjenningen.

REDAir Flexsystem plater produseres av steinull. Produktegenskaper er angitt i pkt. 5. Platene har bredde 600 mm og lengde 1 000 mm. Platene leveres i tykkelser fra 100 til 250 mm. Ved isolasjonstykkelser 250-300 mm legges to tynnere plater med forskjellige skjøter.

REDAir Flexsystem lektene består av parallellfinér. Lektene har dimensjon 27 x 97 x 3000 mm. Lektene monteres vertikalt, og festes til bakenforliggende konstruksjon med REDAir Flexsystem skruer. Lektene bærer utvendig kledning. Lektene er trykkimpregnert med en brannbeskyttende væske. Impregnerte lektene har en densitet 680 kg/m<sup>3</sup>.

REDAir Flexsystem skruer er stålskruer med lengde 130 til 350 mm. Ytre gjengediameter er 7,5 mm (betong) eller 8 mm (lettbetong og tre).

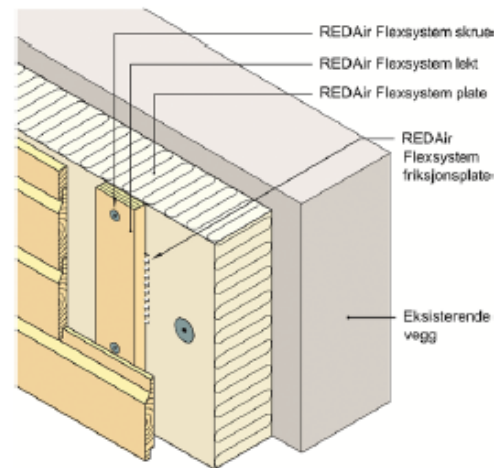


Fig. 1  
Rockwool REDAir Flexsystem

REDAir Flexsystem friksjonsplater er 84 x 96 mm spikerplater i stål som festes til lektene med to skruer. Friksjonsplatene monteres med avstand c/c 1 000 mm. Platene skal sikre tilstrekkelig friksjon mellom lektene og isolasjonsplater.

Flexsystem skruer med tilhørende Flexsystem Disc med diameter 54 mm leveres for midlertidig innfesting av REDAir Flexsystem til bakvegg.

### 4. Bruksområder

REDAir Flexsystem kan anvendes på alle typer bygninger, uavhengig av høyde. Systemet kan brukes både i nye bygninger, i rehabiliteringsprosjekter og i bygninger med krav til passivhus- eller lavenergi standard. Aktuelle bakvegger er vist i Tabell 1.

SINTEF Byggforsk er norsk medlem i European Organisation for Technical Approvals, EOTA, og European Union of Agrément, UEAtc

Referanse: Godkj. B22451 Kontr. 102000496

Produktgruppe: Varmeisolasjon

Hovedkontor:  
SINTEF Byggforsk  
Postboks 124 Blindern – 0314 Oslo  
Telefon 22 96 55 55 – Telefaks 22 69 94 38

Firmapost: byggforsk@sintef.no  
www.sintef.no/byggforsk

Trondheim:  
SINTEF Byggforsk  
7465 Trondheim  
Telefon 73 59 30 00/33 90 – Telefaks 73 59 33 50/80

© Copyright SINTEF Byggforsk

Tabell 1  
Krav til aktuelle bakvegger for REDAir Flexsystem

Bakvegg	Krav
Betong	Tykkelse >100 mm Trykkstyrke >20 MPa
Massiv tegl	Tykkelse 104 mm (½ stein)
Porebetong	Tykkelse >100 mm Trykkstyrke >3 MPa
Lettklinkerblokk	Tykkelse >100 mm Trykkstyrke >3 MPa
OSB-plate	Tykkelse 18 mm Kvalitet OSB 3 Densitet 800 kg/m <sup>3</sup> NS-EN 300
Kryssfiner	Tykkelse 15 mm Kvalitet P30 NS-EN 636
Massivtre	Tykkelse >32 mm C18 NS-EN 338

### 5. Egenskaper

Produktegenskaper for REDAir Flexsystem plate er vist i tabell 2.

Tabell 2  
Produktegenskaper for REDAir Flexsystem plate med klasser og beskrivelseskode i henhold til NS-EN 13162

Egenskap	Beskrivelseskode
Varmekonduktivitet	$\lambda_0 = 0,033 \text{ W/(mK)}$
Brannteknisk klasse	A1
Tykkelsestoleranse	T3
Trykkfasthet ved 10 % def.	CS(10)10
Dimensjonsstabilitet ved oppvarming/høy fuktighet	DS(TH)
Korttids vannabsorpsjon	WS
Vannedampgjennomgang	MU1

### Varmeisolering

U-verdi for yttervegger med REDAir Flexsystem er avhengig av isolasjonsevne i bakveggen. Tabell 3 viser eksempler på U-verdier for veggkonstruksjoner med REDAir Flexsystem montert på ulike typer bakvegger. U-verdiene i tabellen inkluderer et tillegg for anblåsing siden systemet monteres uten vindspærre. Tabellen forutsetter at luftspaltens innløpsåpninger opppe og nede innsnevres til 25 % av fullt tverrsnitt. Tabellen gjelder for vegger utsatt for en midlere vindhastighet opp til 5 m/s. Utvendig kledning må ha en tetthet tilsvarende dobbeltfalsert liggende kledning eller tettere.

### Brann

REDAir Flexsystem leker tilfredsstillende klasse A etter Dansk Standard DS 1065-1 som er på nivå med brannklasse B-s1,d0 i henhold til NS-EN 13501-1. Lektene bidrag til brannspredning er vurdert å være lite, og de gir derfor ingen begrensning i bruksområdet for REDAir. Mulighet for brannspredning og eventuell

begrensning i bruksområde avgjøres av kledningsmaterialet.

Tabell 3  
Varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi) for REDAir Flexsystem montert på ulike typer bakvegger. Tilleggsvarmetap for anblåsing og REDAir Flexsystem skruer er inkludert i verdiene. Varmekonduktivitet for steinull i bindingsverket er forutsatt  $\lambda_0=0,037 \text{ W/mK}$ .

Bakvegg	Tykkelse REDAir Flexsystem plate (mm)	U-verdi (W/m <sup>2</sup> K)
Betong 150 mm	100	0,32
	150	0,23
	200	0,19
	250	0,16
Massivtre 100 mm	100	0,27
	150	0,21
	200	0,17
	250	0,15
Massivtre 150 mm	100	0,14
	150	0,14
	200	0,13
	250	0,13
Bindingsverk og Flexi A-plate 98 mm	100	0,18
	150	0,15
	200	0,13
	250	0,12
Bindingsverk og Flexi A-plate 123+48 mm	100	0,14
	150	0,12
	200	0,11
	250	0,10
Bindingsverk og Flexi A-plate 148 + 48 mm	100	0,13
	150	0,11
	200	0,10
	250	0,10
Bindingsverk og Flexi A-plate 198 + 48 mm	100	0,11
	150	0,10
	200	0,09
	250	0,09
Bindingsverk I-profil 200 mm og 48 mm Flexi A-plate	100	0,11
	150	0,10
	200	0,09
	250	0,08
Bindingsverk I-profil 200 mm og 48 mm Flexi A-plate	100	0,08
	150	0,08
	200	0,07
	250	0,07

### 6. Miljømessige forhold

#### Helse- og miljøfarlige kjemikalier

Produktet inneholder ingen prioriterte miljøgifter, eller andre relevante stoffer i en mengde som vurderes som helse- og miljøfarlige. Prioriterte miljøgifter omfatter CMR, PBT og vPvB stoffer.



**Avfallshåndtering/gjenbruksmuligheter**

Rockwool har en returordning for steinull fra byggeplass. Ved endt livsløp sorteres steinull som restavfall som leveres til godkjent avfallsmottak for deponering. De øvrige komponentene skal sorteres som trevirke og metall. De leveres godkjent avfallsmottak der de kan material- eller energigjenvinnes.

**Miljødeklarasjon**

Det er utarbeidet miljødeklarasjon (EPD) i henhold til EN 14025 for REDAir Flexsystem plater. Miljøindikatorne fra miljødeklarasjonen er vist i tabell 4. For full miljødeklarasjon vises til NEPD nr 131N, epd-norge.no.

Tabell 4

Miljødeklarasjon iht. NS-EN 14025 for REDAir Flexsystem plate. Vugge-port i Danmark. Funksjonell enhet er 1 m<sup>2</sup> isolasjon med tykkelse 100 mm og  $\lambda_0 = 0,033 \text{ W/(mK)}$

Indikator	Verdi
Global oppvarming, kg CO <sub>2</sub> ekv.	8,96
Totalt energibruk, MJ	99,8
Resirkulerte materialer, %	23

**7. Betingelser for bruk**

**Prosjektering**

Maksimal senteravstand mellom REDAir Flexsystem skruer bestemmes på grunnlag av vindhastighet på stedet, bygningens høyde og type bakvegg. Produsentens anvisninger for senteravstand må følges.

For bakvegg i massivtegl må uttrekkskapasiteten for Flexsystem skruer prøves både i fuger og i teglstein for isolasjonsplatene monteres. Uttreksprøver i andre typer bakvegger utføres hvis Rockwools monteringsanvisninger anbefaler det.

Detaljosningene ved vindusinnsetning og gjennomføringer prosjekteres spesielt for hvert byggeprosjekt og tilpasses den aktuelle kledningen.

**Montasje**

REDAir Flexsystem plater må monteres uten innbyrdes glipper. To av sidene på REDAir Flexsystem plater er markert med en grønn strek. Disse platesidene er mer fleksible enn de andre. Platesider med grønn strek skal presses mot umarkerte platesider.

REDAir Flexsystem plater festes midlertidig til bakvegg med Flexsystem skruer og Flexsystem Disc med diameter 54 mm. Skruene anbefales fjernet når lektene er festet med REDAir Flexsystem skruer.

Ved feste av REDAir Flexsystem lekt og skruer til betong og murverk må det forbores med bor 6,5 mm, først gjennom lekt og deretter minimum 75 mm inn i bakvegg. REDAir Flexsystem lekt og skruer til lettbetong, porebetong, lettlinkerblokker, massivtre, OSB-plater eller

kryssfiner festes ved innskruing direkte gjennom lekter til bakvegg. Skruehodet skal min. 1-3 mm inn i lekten i alle typer bakvegg.

REDAir Flexsystem kan monteres uten vindspærre.

**Fuktsikring**

Ved montering av Rockwool REDAir Flexsystem på bygningsplater av kryssfiner eller OSB må platene være beskyttet mot nedbør. Platene må lagres tørt og må ikke oppfuktes av nedbør før utvendig kledning er montert.

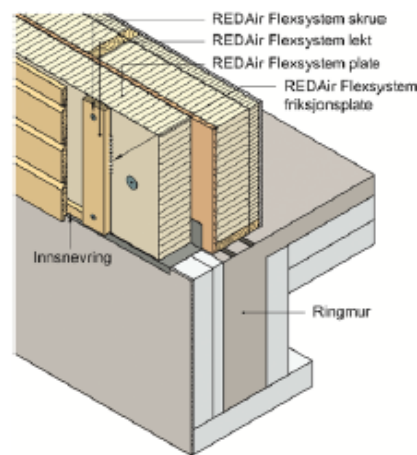


Fig. 2 Avslutning mot fundament. Innsnevringer til luftespalte innsnevres til ¼ av spaltens fulle dybde

**8. Produksjonskontroll**

REDAir Flexsystem er underlagt overvåkende produksjons- og produktkontroll i henhold til kontrakt om SINTEF Teknisk Godkjenning.

**9. Grunnlag for godkjenningen**

Godkjenningen er basert på følgende rapporter:

- SINTEF Byggforsk. Beregning av U-verdier for REDAir. Oppdragsrapport B2245101. Oslo, 01.03.2013.
- SINTEF Byggforsk. Rockwool REDAir. Måling av deformasjon. Rapport 3D041310. Oslo, 08.01.2013.
- SINTEF Byggforsk. Rockwool REDAir. Vurdering av fuktsikkerhet. Rapport 3D041310. Oslo, 02.01.2013.
- Statens Provnings (SP) Bestämning av regntätthet. Rapport P705701A del 1-3. Borås, 2008-04-11.
- Statens Provnings (SP) Bestämning av regntätthet. Rapport P705701B del 1-2. Borås, 2008-04-08.
- Regnестуен Aps. Redegjørelse for bæreevne af Rockwool Flexsystem 3. Rødovre, 11.01.2013, Danmark.
- Danish Institute of Fire and Security Technology. Test report 21 mm FT Anti Burn Plywood. Padborg, Jan. 2010

#### 10. Merking

REDAir Flexsystem skal merkes med produsent- og produktnavn foruten at mineralullplatene er CE-merket i henhold til NS-EN 13162. Det kan også merkes med godkjenningsmerke for SINTEF Teknisk Godkjenning nr. 2549.



Godkjenningsmerke

#### 11. Ansvar

Innehaver/produsent har det selvstendige produktansvar i henhold til gjeldende rett. Bruksbetinget krav kan ikke fremmes overfor SINTEF Byggforsk utover det som er nevnt i NS 8402.

#### 12. Saksbehandling

Prosjektleder for godkjenningen er Peter Blom, SINTEF Byggforsk, avd. Byggematerialer og konstruksjoner, Oslo.

for SINTEF Byggforsk

A handwritten signature in blue ink that reads "Hans Boye Skogstad".

Hans Boye Skogstad  
Godkjenningsleder

