

No 146 – 2022

NOTE

# YTTERVEGGER AV KLT

*Vurdering av behov for dampsperre*

Kristin Elvebakk, Stig Geving



**KLIMA  
2050**



# KLIMA 2050

Klima 2050 Note No 146

Kristin Elvebakk & Stig Geving, SINTEF

Yttervegger av KLT.Vurdering av behov for dampsperre.

Keyword: KLT, massivtre, fukt, sperresjikt, beregning

Publisher: SINTEF Academic Press

SINTEF Community, Høgskoleringen 7 b, POBox 4760 Torgarden, N-7465 Trondheim

Research Council of Norway Project no.: 237859 / SINTEF Project no.: 102009978

Status: Restricted

[www.klima2050.no](http://www.klima2050.no)



**KLIMA**  
**2050**

## **Yttervegger av KLT**

### **Vurdering av behov for dampsperre**

---

## Forord

---

Klimaendringer med mer nedbør og økte temperaturer medfører ytterligere behov for fuktrobust bygningskropp. Tre generelt og spesielt krysslaminerte treelementer (KLT) blir nå mye brukt også i større bygningers bæresystem fordi framstilling av bygningselementer av tre fører til relativt lave klimagassutslipp. Men tre som byggemateriale, er sårbart for fuktighet og spesielt for nedbør i byggefasen. Med et klima i endring vil denne typen konstruksjoner være gjenstand for flere utfordringer knyttet til byggeprosess, byggeteknikk og drift. Valg av sperresjikt er en slik utfordring. Det har tidligere vært noe uklare retningslinjer for hvorvidt det bør benyttes dampsperre i yttervegger av KLT, eller om det er tilstrekkelig med andre tiltak som vindsperre (mellom isolasjon og massivtre/KLT) eller taping av skjøter for å sikre lufttetthet. Praksis i bransjen i dag er at flere aktører kun taper skjøter mellom KLT-elementene og ikke benytter noe sperresjikt på varm side av isolasjonen i yttervegger av KLT.

Dette notatet<sup>1</sup> presenterer WUFI-beregninger utført som grunnlag for fukttekniske vurderinger av yttervegger med KLT-elementer.

Klima 2050 – Reduksjon av samfunnsrisiko knyttet til klimaendringer på det bygde miljø er et senter for forskningsbasert innovasjon (SFI) finansiert av Norges forskningsråd og partnerne i konsortiet. SFI-statusen muliggjør langsiktig forskning i nært samarbeid med privat og offentlig sektor, samt med andre forskningspartnere som har som mål å styrke Norges innovasjons- og konkurransevne innen klimatilpasning. Sammensetningen av konsortiet er viktig for å kunne redusere samfunnsrisikoen forbundet med klimaendringer. Senteret vil styrke bedriftenes innovasjonskapasitet gjennom fokus på langsiktig forskning. Det er også et klart mål å legge til rette for tett samarbeid mellom FoU-aktive bedrifter og fremtredende forskningsgrupper. Det blir lagt vekt på utvikling av fuktbestandige bygninger, overvannshåndtering, blågrønne løsninger, tiltak for forebygging av vannutløste skred, sosioøkonomiske insentiver og beslutningsprosesser. Både ekstremvær og gradvise endringer i klimaet blir omhandlet.

Vertsinstitusjonen for SFI Klima 2050 er SINTEF Community, og senteret ledes i samarbeid med NTNU. De andre forskningspartnerne er Handelshøyskolen BI, Norges Geotekniske Institutt (NGI) og Meteorologisk institutt (MET Norge).

Industripartnerne representerer viktige deler av norsk byggenæring; rådgivere, entreprenører og produsenter av byggevarer og teknologi: Skanska Norge, Multiconsult AS, Mesterhus, Norgeshus AS, Leca Norge AS, Isola AS og Skjæveland Gruppen AS. Senteret inkluderer også viktige offentlige byggherrer og eiendomsutviklere: Statsbygg, Statens vegvesen, Jernbanedirektoratet og Avinor AS. Sentrale aktører er også Trondheim kommune, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Finans Norge.

Trondheim, mai 2022

Berit Time  
Senterleder  
SINTEF Community

---

<sup>1</sup> Serien Klima 2050 Note er en publiseringskanal i SFiet for å tilgjengeliggjøre stoff spesielt for konsortiet i Klima 2050.

## Innhold

---

<b>FORORD</b> .....	<b>4</b>
<b>INNHOOLD</b> .....	<b>5</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>6</b>
1.1 BAKGRUNN.....	6
1.2 BESKRIVELSE AV PROBLEMSTILLING.....	6
<b>2 FUKTTEKNISKE BEREKNINGER I WUFI</b> .....	<b>8</b>
2.1 FORUTSETNINGER FOR BEREKNINGER.....	8
2.2 KONSTRUKSJONSOPPBYGNING.....	8
2.3 MATERIALPARAMETRE.....	9
2.3.1 <i>Vanndamppermeabilitet</i> .....	9
2.3.2 <i>Øvrige materialparametre</i> .....	9
2.3.3 <i>Klima</i> .....	10
2.4 BYGGFUKT.....	11
2.5 MUGGVEKSTRISIKO.....	11
2.6 PARAMETERSTUDIE I WUFI.....	13
2.7 RESULTATER.....	14
<b>3 VURDERINGER OG KONKLUSJON</b> .....	<b>16</b>
3.1 VURDERING AV FUKTSIKKERHET FOR YTTERVEGGER AV KLT.....	16
3.2 ANBEFALING RUNDT OPPBYGNING AV KLT-ELEMENTER.....	16
<b>4 REFERANSELISTE</b> .....	<b>17</b>

---

# 1 Innledning

---

## 1.1 Bakgrunn

Yttervegger med KLT-elementer bygges gjerne opp med utenpåliggende isolasjon i form av en isolert utforing eller kontinuerlig trykkfast isolasjon. Ved bruk av isolert utforing benyttes vanligvis vindsperre, men vanligvis ikke ved bruk av trykkfast isolasjon. Til slutt kommer en luftet kledning. Det har tidligere vært noe uklare retningslinjer for hvorvidt det bør benyttes dampsperre i yttervegger av KLT, eller om det er tilstrekkelig med andre tiltak som vindsperre (mellom isolasjon og massivtre/KLT) eller taping av skjøter for å sikre lufttetthet. Praksis i bransjen i dag er at flere aktører kun taper skjøter mellom KLT-elementene og ikke benytter noe sperresjikt på varm side av isolasjonen i yttervegger av KLT.

Målinger utført hos SINTEF (Bunkholt og Gullbrekken, 2020) viser at lufttettheten til KLT-elementer med tiden vil kunne svekkes som følge av oppsprekking i elementene. For å sikre varig lufttetthet i yttervegger av KLT ble det derfor konkludert med at det vil være behov for et sperresjikt for å sikre lufttetthet i ytterkonstruksjoner med KLT. Ved bruk av 3-sjikts elementer i ytterkonstruksjonene anbefalte de bruk av separat sperresjikt i form av vindsperre eller dampsperre avhengig av elementtykkelsen. Ved bruk av 5-sjikts elementer med tykkelse over 100 mm vurderes elementet i seg selv til å ha tilstrekkelig dampmotstand til å fungere som dampsperre. Lufttettheten kan da enten sikres ved bruk av separat sperresjikt i form av vindsperre (mellom isolasjon og massivtre/KLT), eller ved taping av overganger mellom elementer og mellom elementer og tilstøtende bygningsdeler.

Flere tidligere rapporter utgitt av SINTEF konkluderer med at det vil være behov for dampsperre som sperresjikt i yttervegger av KLT. Dette gjelder blant annet Skogstad m.fl (2011). I Bunkholt og Gullbrekken (2020) er det utført en litteraturstudie som ser på dampmotstanden i KLT-elementer med ulik tykkelse. Der konkluderes det med at det for KLT-elementer med tykkelse < 100 mm vil være nødvendig med en separat dampsperre. I studiene det refereres til er det ikke utført fukttekniske beregninger som grunnlag for anbefaling om behov for dampsperrsjikt. Med dette som bakgrunn har Klima 2050 derfor valgt å gjennomføre fukttekniske beregninger av yttervegger i KLT, som er dokumentert i denne rapporten. Rapporten vil kunne benyttes til å begrunne anbefalinger rundt valg av sperresjikt på en tydeligere måte.

## 1.2 Beskrivelse av problemstilling

Byggesystemer med KLT er fuktfølsomme siden ytterkonstruksjonene bygges opp innenfra og utover. Det vil dermed være mulighet for oppfuktning av både KLT og isolasjon før vegger og tak blir tette. Praksis i bransjen i dag er at det ikke benyttes telt eller spesiell værbeskyttelse ved oppføring av bygninger med KLT-elementer, og det er dermed stor risiko for at elementene vil kunne bli oppfuktet i løpet av byggefasen.

Dersom KLT-elementene blir oppfuktet under oppføringen, og de videre tildekkes med en plastfolie som dampsperre, vil dette begrense muligheten for at fuktighet i ytre del av KLT-elementene skal kunne tørke ut mot utvendig side av veggen. Det er ønskelig å kontrollere om dette på sikt kan medføre muggsoppvekst på overflaten av KLT-elementene dersom fukt i treverket tørker sakte ut. Bruk av dampsperre i yttervegger av KLT kan også begrense muligheten for etablering av våtrom inn mot yttervegg siden membranen i våtrom medfører at KLT-elementene blir bygd inne mellom damprette sjikt.

Generelle anbefalinger fra SINTEF Community er at diffusjonsmotstanden,  $S_d$ -verdien, på innvendig side av yttervegger og tak bør være > 10 m [573.121 Materialer til luft- og dampetting]. Dampmotstanden til KLT-elementer vil i de fleste tilfeller ikke bli høy nok til

å ivareta dette (se 2.3.1). Dette er imidlertid ikke ensbetydende med at ekstra damptettende tettesjikt er nødvendig. Ved å gjøre en fuktteknisk analyse (som i denne rapporten) er det mulig å vurdere om en gitt type konstruksjon kan klare seg med en  $S_d$ -verdi lavere enn 10 m på varm side.

Etter at tidligere TEK 10 ble innført har de fleste bygninger fått balansert ventilasjon. Dette innebærer at luftskiftet i bygningene har blitt vesentlig bedre, og fukttilskuddet i innelufta har dermed trolig gått ned, spesielt for boliger. Med lavere fuktinnhold i innelufta vil også risikoen for skadelig oppfukning av yttervegger grunnet diffusjon reduseres. Det er i de fukttekniske beregningene likevel hovedsakelig tatt hensyn til et middels til høyt innvendig fukttilskudd, da dette vil være konservativt for vurderinger av fuktsikkerheten til konstruksjonene.

## 2 Fukttekniske beregninger i WUFI

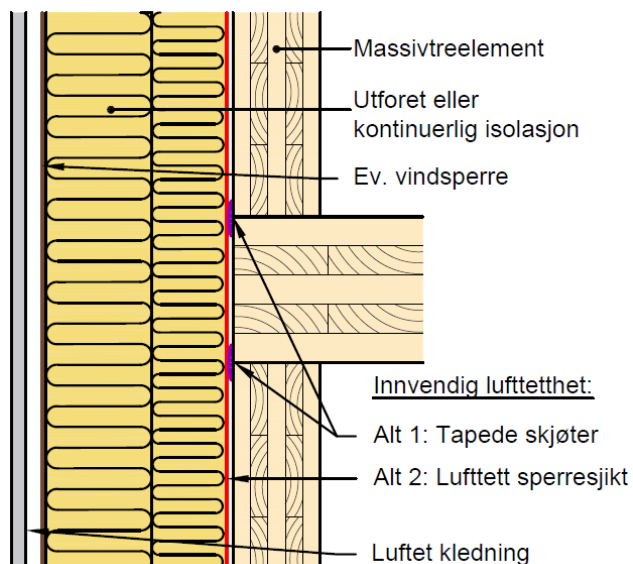
### 2.1 Forutsetninger for beregninger

For å kunne gjøre en fuktteknisk vurdering av yttervegger med KLT-elementer er det utført simuleringer i WUFI Pro 6.4, og det er videre utført muggvekstrisikovurderinger i tilleggsprogrammet WUFI Mould Index VTT. Beregningene omfatter en parameterstudie hvor formålet er å se hvordan ulike inndata i beregningene påvirker fuktforholdene i ytterveggen.

### 2.2 Konstruksjonsoppbygning

Yttervegger av KLT blir oftest bygd opp med all isolasjon på utvendig side av KLT-elementet. Det er ofte også ønskelig med eksponerte treoverflater i bygninger av KLT. Isolasjonen på utvendig side av KLT-elementet kan monteres på følgende måter (alternativer):

1. I en påføring av bindingsverk. Det benyttes da en vindsperre på utvendig side av isolasjonen, slik vist i fig 1.
2. Kontinuerlig trykkfast, mineralull uten gjennomgående stendere montert på utsiden av KLT-elementene. Slike løsninger benyttes gjerne uten utenpåliggende vindsperre og stiller dermed store krav til lufttetthet i indre del av ytterveggen.



**Figur 1: Prinsipiell oppbygning av yttervegg med påforet eller kontinuerlig isolasjon (Geving, S Praktisk Bygningsfysikk (2021))**

Ved bruk av isolering som angitt i alternativ 2 vil det ikke være noe sperresjikt i ytre del av veggen, og det er derfor spesielt viktig at lufttettheten i indre del av veggen er god. Det vil da være nødvendig å benytte et sperresjikt mellom KLT og utenpåliggende isolasjon for å sikre lufttetthet i veggen.

Konstruksjonen i fig. 1 er utgangspunkt for beregningene, men treverk i påføringen er ikke tatt med (dvs beregningene er én-dimensjonale).

I våtromssituasjoner er det i beregningene lagt til grunn en gipsplate på innvendig side av KLT-elementet. I tørre soner er det tatt hensyn til en innvendig dampmotstand på  $S_{d,i}=10$  m, og i soner hvor det dusjes rett mot veggen er det lagt til grunn en smøremembran med innvendig dampmotstand på 20 m og et flisesjikt med et bakenforliggende fliselim (forutsatt 100 % RF i fliselimet).



## 2.3 Materialparametre

### 2.3.1 Vanndamppermeabilitet

Det har vist seg vanskelig å velge pålitelige verdier for vanndamppermeabilitet, eller vanndampmotstandsfaktor  $\mu$  ( $\mu = S_d/d$ ), for KLT, da verdiene i vitenskapelige publikasjoner varierer mye. Dette skyldes at den totale vanndampmotstanden til et KLT-element utgjøres av summen av vanndampmotstanden til trelamellene og limsjiktene. En studie utført av Volkmer et.al (2012) viser at limtype vil påvirke vanndampmotstanden til KLT-elementene ganske mye. Andre publikasjoner, f.eks (Popper et al, 2004), viser også at vanndampmotstanden til KLT kan variere ganske mye.

En av forskjellene på de ulike studiene er at de benytter ulike testmetoder for å bestemme vanndampmotstanden til KLT-elementene. Dette vil også påvirke resultatene og vanskeliggjøre direkte sammenligning av måledata.

Tabell 1, Oversikt over vanndampmotstandsfaktor for KLT i ulike studier

Aktuelle studier	Tørrkoppmetode (målt $\mu$ -verdi)	Våtkoppmetode (målt $\mu$ -verdi)	Merknad
Volkmer et.al (2012)	134-208	20-33	Målinger iht DIN EN ISO 12572
Popper et.al. (2004)	18-44	10-24	Målinger iht DIN 52 615
Wufi (Stora Enso)	33 (RF $\geq$ 71 %)-272 (RF = 18 %)		Ukjent standard

I forbindelse med de fukttekniske beregningene er det valgt konservative verdier som inndata for vanndampmotstandsfaktor. Det er hovedsakelig tatt utgangspunkt i ordinært trevirke av gran (vinkelrett på fibre) og en vanndampmotstandsfaktor som ikke bidrar vesentlig til å bremse transport av vanndamp utover i veggen. Se tabell 2. Som kontroll mot risiko for muggsoppvekst i ytre del av KLT-elementene ved bruk av dampsperre er det benyttet høyeste verdi iht tabell 1, siden det vil bremse uttørkingen av byggfukt mot inneluft.

### 2.3.2 Øvrige materialparametre

Materialparameterne som er brukt i beregningene er hovedsakelig hentet fra WUFIs materialdatabase. Vanndampmotstand for sperresjikt er angitt valgt som for erfaringsvis aktuelle produkter.

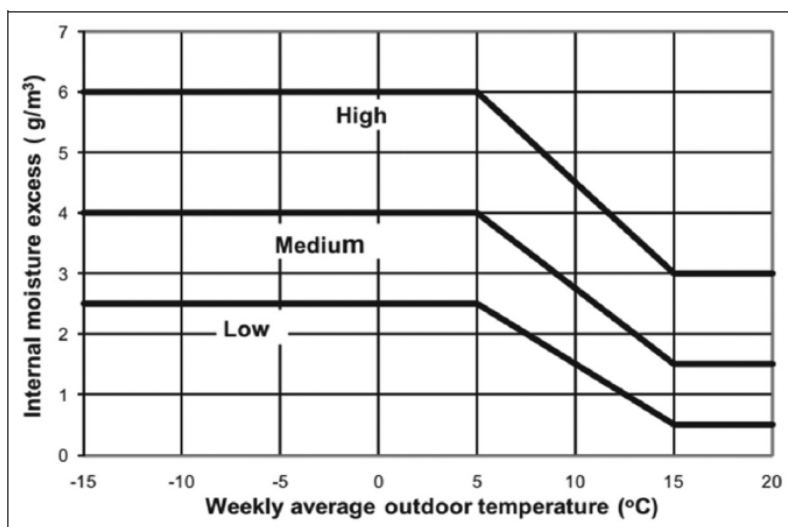
Tabell 2, Øvrige materialparametre brukt i beregningene

Input	Verdi	Merknad
Vanndampmotstandsfaktor KLT ( $\mu$ )	50 /500	$\mu=50$ valgt som standardverdi (konstant verdi). Risiko for muggsopp på massivtre kontrollert med $\mu=500$ (konstant verdi). Se tabell 3
Varmekonduktivitet KLT ( $\lambda$ )	0,13 W/mK	Iht standardverdi i WUFI (Pine transverse direction, density 510_ Vanndampmotstand 20)
Varmekonduktivitet mineralull ( $\lambda$ )	0,037 W/mK	
Vanndampmotstand vindsperreduk, $S_d$ -verdi	0,025 m	Representerer typisk dampåpent rullprodukt
Vanndampmotstand GU, $S_d$ -verdi	0,1 m	
Vanndampmotstand tettere dukprodukt, $S_d$ -verdi	0,5 m	Representerer tettere sperresjikt, eks dobbel vindsperre
Vanndampmotstand dampsperre, $S_d$ -verdi	70 m	Representerer typisk 0,2 mm PE-folie
Innetemperatur	20°C	

### 2.3.3 Klima

#### *Inneklime*

Referansesituasjonen i beregningene er basert på et medium fukttilskudd iht Figur 1 . Temperaturen på romsiden er satt til 20 grader.



**Figur 1: Innvendig fukttilskudd [Geving og Holme, 2011]**

Videre er det i beregninger for våtrom benyttet høyt fukttilskudd, iht Figur 1 og en innetemperatur på 26 grader. Det er også utført en egen beregning hvor det er vurdert effekt av 100 % RF i fliselim bak flis (typisk dusjsone).

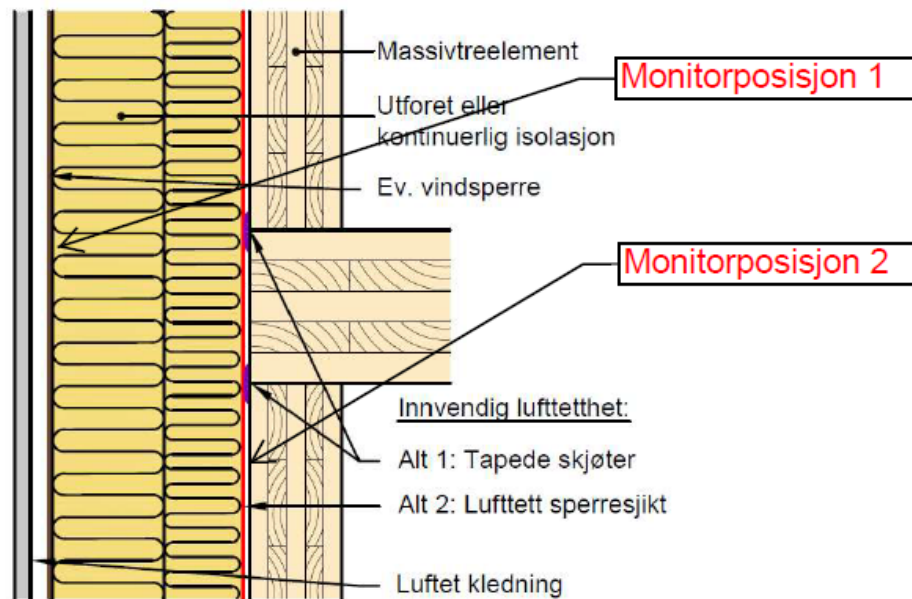
I beregninger for svømmehallsituasjoner er RF i rommet satt til 60% RF og innetemperaturen til 30 grader.

#### *Uteklime*

Som klimadata benyttes såkalte Moisture Design Reference Year (MDRY) for utvalgte steder i Norge. Innledningsvis er det utført beregninger for hhv Oslo, Tromsø og Kristiansund. For resterende beregninger er klimasted Kristiansund benyttet.

#### *Monitorpunkter*

I beregninger uten dampsperre mellom KLT og utvendig isolasjon er monitorpunkter satt i ytre del av mineralullsjiktet (monitorposisjon 1). I beregninger hvor det er tatt hensyn til et dampsperrsjikt mellom KLT og utvendig isolasjon er det også kontrollert fuktnivå i ytre vel av KLT (vist som monitorposisjon 2).



**Figur 2: Monitorplassering for beregninger [Geving, S Praktisk Bygningsfysikk (2021)]**

Veggen det er utført beregninger for er nordvendt. Start for beregningene er satt til 01.oktober og det er regnet 3 år fremover for å se på utviklingen i fukttilstanden i veggen.

Øvrige input til beregningene er fremstilt i kap 2.6

## 2.4 Byggfukt

Byggfuktnivåer i beregningene er variert mellom 80 % RF, som anses som normalt høyt byggfuktnivå, og 90 % RF, hvilket anses som høyt byggfuktnivå. For situasjoner med 90 % RF er det i tillegg tatt hensyn til at de ytre 5 mm av KLT-elementet (mot kald side) har 100% RF.

Generelt antas det at veggelementer som lagres og monteres vertikalt ikke blir like oppfuktet som tak- og dekkelementer som lagres og monteres horisontalt.

## 2.5 Muggvekstrisiko

Muggindeks er beregnet etter den såkalte VTT-modellen, som blant annet er implementert som et add-on program til WUFI (WUFI Mould Index VTT). Muggindeks oppgis med et tall mellom 0-6, hvorav 0 er ingen vekst og 6 er mye vekst. Muggindeksen kan også reduseres i løpet av en beregnet periode dersom forholdene for muggvekst ikke lengre er til stede. Muggindeks beregnes for hver time i beregningsperioden avhengig av aktuelle fukt- og temperaturforhold i konstruksjonen, type materiale i monitorpunkt og grad av reduksjon når det er tørre forhold.

Muggindeks kan angis som en verdi som endrer seg over tid, eller f.eks. en maksimalverdi over en periode. Avhengig av risikoen for at eventuelle muggsopp sporer kan transporteres til inneluft (pga trykkforhold og innvendig konstruksjons lufttetthet) kan man sette grenseverdier for akseptabel muggindeks, samt benytte en trafikklysmode (grønt, gult og rødt lys) som sier om resultatet kan aksepteres eller ikke.

I VTT-modellen er input for vurdering av muggindeks vurdert basert på aktuelt materiale i målepunktet. Følgende inputdata er benyttet inn i VTT-modellen:

Tabell 3 , Vurderingskriterier for muggindeks

<b>Aktuelt materiale</b>	<i>Mineralull</i>	<i>KLT</i>	<i>Gipsbasert vindsperre</i>
<b>Sensitivitetsklasse</b>	Medium motstand	Sensitiv	Sensitiv
<b>Reduksjonsfaktor</b>	Relativt lav reduksjon	Nesten ingen reduksjon	Relativt lav reduksjon
<b>Type overflate</b>	Tilsmusset	Hardtre	Tilsmusset

Akseptkriterier ihht trafikklysklassifisering settes normalt ihht «Innvendig konstruksjon» som vist i tabell 4. Det er valgt å benytte denne for de tilfellene der man ser på uttørking fra høyt byggfuktnivå (= 90%). For lavere byggfuktnivå (= 85% og 80%) benyttes akseptkriterier for «Innendørs overflate» – for å være på konservativ side.

Tabell 4 Akseptkriterier for muggindeks.

Lysindikator	Innendørs overflate Muggindeks [-]	Innvendig konstruksjon Muggindeks [-]
Grønt lys	≤ 1	≤ 2
Gult lys	≤ 2	≤ 3
Rødt lys	>2	>3

## 2.6 Parameterstudie i WUFI

Tabell 5, Oversikt over parametervariasjoner

Beregningstilfelle		A	A	B	C	D	E	E	E	E	F	G	H	H	H	I	J	K
Input		1	2				1	2	3	4			1	2	3			
Tykkelse KLT <sup>2</sup>	70	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
	100											X	X	X	X	X	X	X
Isolasjons-tykkelse	100																	X
	200	X	X	X	X	X						X		X	X			
	300						X	X	X	X	X		X			X	X	
Uteklima	Oslo	X	X													X	X	X
	Tromsø			X														
	Kristiansund				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Sd-verdi på vindspærre utenpå isolasjon	0,025 m (duk)	X	X	X	X				X			X	X	X	X		X	X
	0,10 m (GU)					X		X			X		X		X			
	0,5 m						X			X						X		
Sperresjikt mellom isolasjon og KLT-element	Ingen	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	
	Dampspærre, Sd=70 m <sup>3</sup>									X								X
	Fuktadaptiv dampspærre <sup>4</sup>										X							
Vanndamp-motstand KLT	Lav (Trevirke, furu)	X		X	X	X							X	X	X	X	X	X
	Høy (Stora Enso)		X				X	X	X	X	X	X						
Fukttilskudd i innelufta	Moderat (4 g/m <sup>3</sup> )	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
	Svømmehall (t= 30°C, RF= 60 %)															X	X	X
	Våtrom: (t= 26 °C, fukttilskudd på 6 g/m <sup>3</sup> )												X	X	X <sup>5</sup>			
Byggfukt, startbetingelse	80 %	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X
	90 % + 100 % RF i ytterste 5 mm						X	X	X	X	X	X						

<sup>2</sup> Antatt 70 mm elementer – 3 sjikt, 100 mm elementer – 5 sjikt.

<sup>3</sup> Som dampspærre er det forutsatt 0,2 mm PE-folie

<sup>4</sup> Fuktadaptiv dampspærre – variabel S<sub>d</sub>-verdi (S<sub>d</sub>=10m/RF=41,5%- S<sub>d</sub>=0,5m/RF=82%)

<sup>5</sup> Flisesjikt med 100% RF (dusjsone)

## 2.7 Resultater

Beregningsresultatene fremgår av tabell 6 og Vedlegg 1. Der vises kurver for RF og temperatur, samt muggindeks, i valgte monitorpunkt.

Tabell 6 Beregningsresultater - muggvekstrisiko

Variant	Monitorposisjon (se fig 2)	Muggindeks, år 1	Muggindeks, driftssituasjon, år 3	Kommentar (avvik fra standardverdier)
A1	1	0	0	
A2	1	0	0	- høyere dampmotstand i KLT, $\mu=500$
B	1	0,1	0	- Tromsøklima
C	1	0	0	- Kristiansundklima
D	1	0,6	0	- vindspærre av GU - klimasted Kristiansund
E1	1	3,5	2,5	- Tykkere KLT-element (100 mm) - større isolasjonstykkelse (300 mm) - Høyere dampmotstand ved vindsperra (sd=0,5m) - klimasted Kristiansund - Byggfukt over konstruksjonen: 90 %
	2	2,5	1,0	
E2	1	0,8	0	Samme som beregningstilfelle E1, men med mer dampåpen vindspærre (Sd=0,1 m)
E3	1	0,1	0	Samme som beregningstilfelle E1, men med mer dampåpen vindspærre (Sd=0,025 m)
E4	2	5,5	2,5	Samme som beregningstilfelle E1, men med dampspærre mellom KLT og utenpåliggende isolasjon
F	2	3,8	1,0	Likt som beregningstilfelle E1, men med fuktadaptiv dampspærre mellom KLT og isolasjon
	1	2,2	1,3	
G	1	0,1	0	- Kristiansundklima Dampspærre mellom KLT og utenpåliggende isolasjon - kun 100 mm utvendig isolasjon. - Høy vanddampmotstand i KLT-elementene, $\mu=500$ - Byggfukt over konstruksjonen: 90 %
H1	1	1,8	0,8	- Kristiansundklima - høyt innvendig fukttilskudd - Vindspærresjikt utenpå isolasjonen, Sd=0,5m
H2	1	0,1	0	Samme som beregningstilfelle H1, men med vindspærresjikt med Sd=0,025 m utenpå isolasjonen
H3	1	1,8	0,4	Samme som beregningstilfelle H1, men med flisesjikt og smøremembran med Sd=20m. 100% RF bak flisesjikt.
	2	0	0	
I	1	1,6	3,5	- Kristiansundklima - innvendig klima som i en svømmehall, dvs T=30 grader og RF= 60% (konstant over året). - 100 mm KLT - 300 mm isolasjon
J	2	0	0	- Kristiansundklima - innvendig klima som i en svømmehall, dvs T=30 grader og RF= 60% (konstant over året). - 100 mm KLT - 100 mm isolasjon
K	2	1,3	0,4	Samme som for beregningstilfelle I, men med dampspærre mellom KLT og utenpåliggende isolasjon. 100 mm isolasjon

### Oppsummering av funn fra beregninger:

- Det er høyest fuktnivå i første halvår etter simuleringsoppstart (mens byggfukten i KLT-elementet tørker ut) i ytre del av mineralullsjiktet for en konstruksjon i Tromsø-klima. Dette skyldes trolig lave temperaturer vinterstid. Etter at byggfukten er tørket ut vil RF over året være litt høyere for Kristiansund-klima. Dette er derfor brukt videre som klima i beregningene.
- Fuktnivå i ytre del av veggen øker uten bruk av dampsperre, og det vil derfor være hensiktsmessig å benytte en dampåpen vindsperre på utvendig side av isolasjonen ( $S_d < 0,1$  m)
- For tilfeller med ekstra høyt byggfuktnivå i KLT-elementet (og ingen dampsperre) vil det oppstå risiko for muggvekst (maksimal muggindeks = 3,5) i ytre del av isolasjonen dersom vindsperren har en  $S_d$ -verdi på 0,5 m. Med  $S_d$ -verdi under 0,1 m (tilsvarende en GU-plate) blir imidlertid muggvekstrisikoen lav (muggindeks under 1,0).
- Beregningene viser også at det er problematisk med dampsperre på utvendig side av KLT-elementer dersom det er høyt byggfuktnivå i ytre del av KLT-elementene.
- I bygninger og rom med høyt innvendig fukttilskudd ( $\approx 6 \text{ g/m}^3$ ) vil det ved bruk av dampsperre på utvendig side av KLT-elementene være behov for å vurdere konstruksjonsoppbygningen særskilt.
- I våtrom (uten dampsperre mellom KLT og utenpåliggende isolasjon) vil man få høyt fuktnivå og høy muggindeks i ytre del av isolasjonssjiktet dersom det benyttes en for tett vindsperre ( $S_d=0,5$  m)
- Dersom det benyttes en relativt damptett vindsperre ( $S_d \approx 0,5$  m) vil det være gunstig med fuktadaptiv dampsperre som lufttettende sjikt mellom KLT og utvendig isolasjon. Dette vil både begrense fukttilførsel utover i veggen og tillate uttørking mot varm side.

## 3 Vurderinger og konklusjon

---

### 3.1 Vurdering av fuktsikkerhet for yttervegger av KLT

Funn fra parameterstudie (pkt 2.7) viser at det for tørre bygninger og rom hvor innvendig fukttilskudd  $\leq 4 \text{ kg/m}^3$  ikke er nødvendig med et separat dampspersesjikt mellom KLT og utenpåliggende isolasjon. Dette forutsetter at vindspersesjiktet på utsiden av isolasjonen har en  $S_d$ -verdi som er  $< 0,1 \text{ m}$ , det vil si vesentlig lavere enn den generelle anbefalingen fra SINTEF Community om  $S_d$ -verdi  $\leq 0,5 \text{ m}$  for yttervegger [Byggforskserien].

Gullbrekken og Bunkholt (2019) har gjennom laboratorieforsøk dokumentert behovet for ekstra persesjikt for KLT-elementer med tykkelse  $< 100 \text{ mm}$  for å sikre tilstrekkelig lufttetthet ved yttervegger med KLT-elementer. God lufttetthet i indre del av yttervegger av KLT er viktig for å redusere risiko for fuktilførsel grunnet luftlekkasjer. En fordel med å benytte et vindspersesjikt mellom KLT-elementet og isolasjonen i stedet for en dampsperre, er at risikoen for muggvekst på utvendig overflate på KLT-elementet ved høyt byggfuktnivå blir mindre.

Bruk av vindspersesjikt mellom KLT og utenpåliggende isolasjon vil også bidra til at det blir enklere å sikre lufttetthet mellom KLT-elementer og vinduer.

I yttervegger ved rom og bygninger med høyt fukttilskudd ( $> 4 \text{ g/m}^3$ ) bør det gjøres særskilte fukttekniske vurderinger for å kontrollere fuktsikkerheten i veggen.

### 3.2 Anbefaling rundt oppbygning av KLT-elementer

- Det går bra å ikke bruke dampsperre i yttervegger av KLT under forutsetning av:
  - Lavt/normalt innvendig fukttilskudd
  - Dampåpen vindsperre i ytre del av isolasjon ( $S_d \leq 0,1 \text{ m}$ )
- Bruk av dampsperre kan gi muggsopproblemer i ytre del av KLT-element ved høyt byggfuktnivå, eller høyt innvendig fukttilskudd
- Svært dampåpen vindsperre utenpå isolasjonen ( $S_d \leq 0,1 \text{ m}$ ) gir god fuktsikkerhet i veggen, og er ekstra viktig dersom det ikke benyttes dampsperre
- Bruk av KLT i yttervegger i svømmehaller vil være risikabelt
- Våtrom mot vegger av KLT må vurderes nærmere



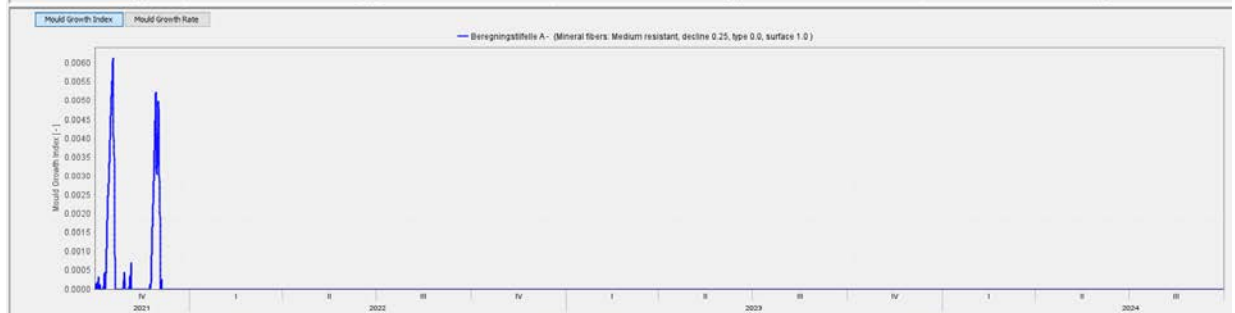
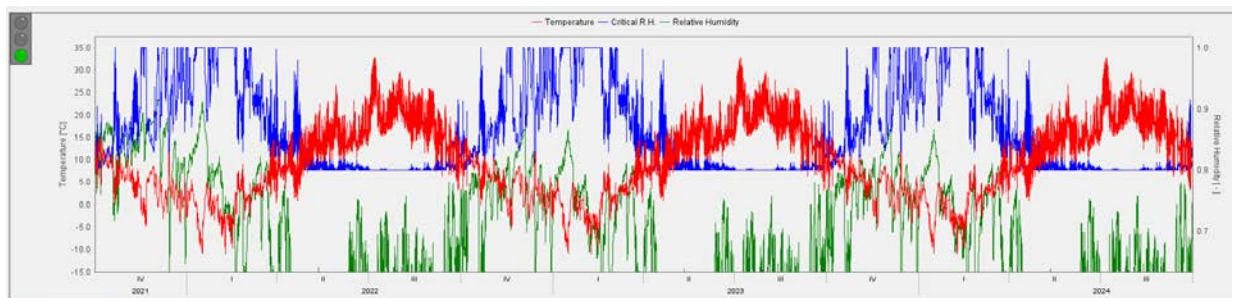
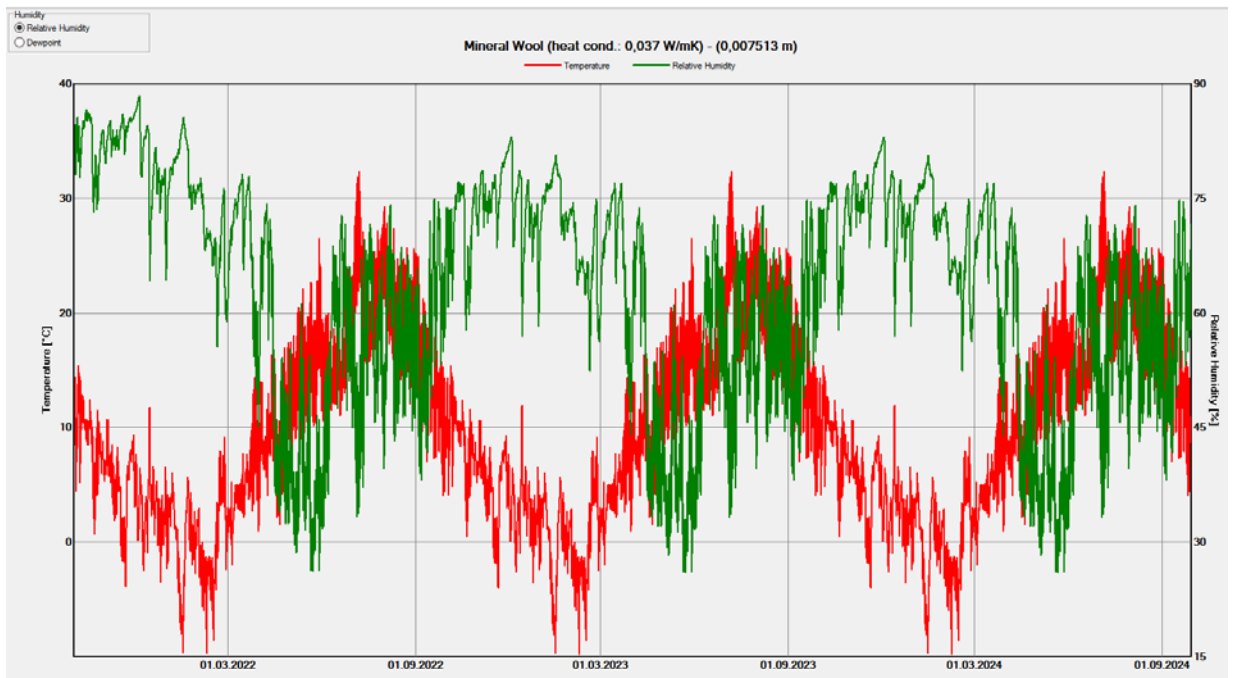
## 4 Referanseliste

---

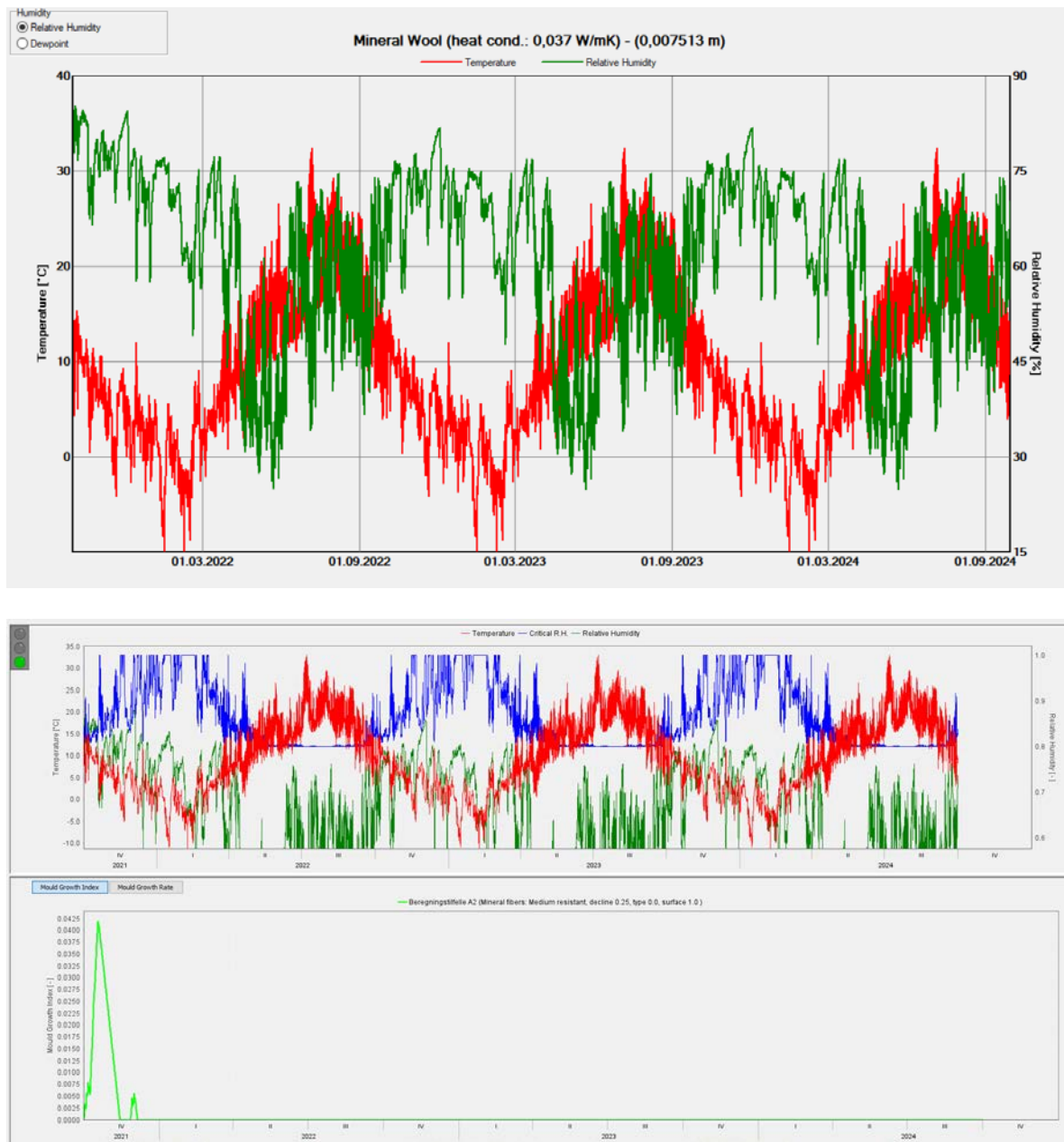
- Gullbrekken, Bunkholt (2019) Bygging med KLT-elementer Rapport, SINTEF Community
- Time, B et. al "Tak basert på massivtreelementer" Prosjektrapport 30 (2008)
- Geving, S. (2021) *Praktisk Bygningsfysikk*
- Geving, S. og Holme, J., (2011) Mean and diurnal indoor air humidity loads in residential buildings. *Journal of Building Physics*, 35(4): 392–421.
- Popper, R, Niemz, P og Eberle, G (2004) Untersuchungen zu Diffusionsvorgängen in mehrschichtigen Massivholzplatten. *European Journal of Wood and Wood Products* 62 (4), 253-260
- Volkmer, T, Schmidt, J-A, Kranitz, K, Niemz, P (2012) Untersuchungen zum Einfluss der Klebstoffart auf den Diffusionswiderstand von Holzverklebungen. *Bauphysik* 34, 55-60
- A. Hukka and H. A. Viitanen, "A mathematical model of mould growth on wooden material", *Wood Science and Technology*, vol. 33, no. 6, pp. 475–485, 1999. doi: 10.1007/s002260050131
- H. A. Viitanen, A. Hanhijärvi, A. Hukka, and K. Koskela, "Modelling mould growth and decay damages", in *Proceedings of Healthy Buildings*, vol. 3, 2000, pp. 341–346.
- H. A. Viitanen, *Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures*, English. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Forest Products, 1996.

## Vedlegg 1

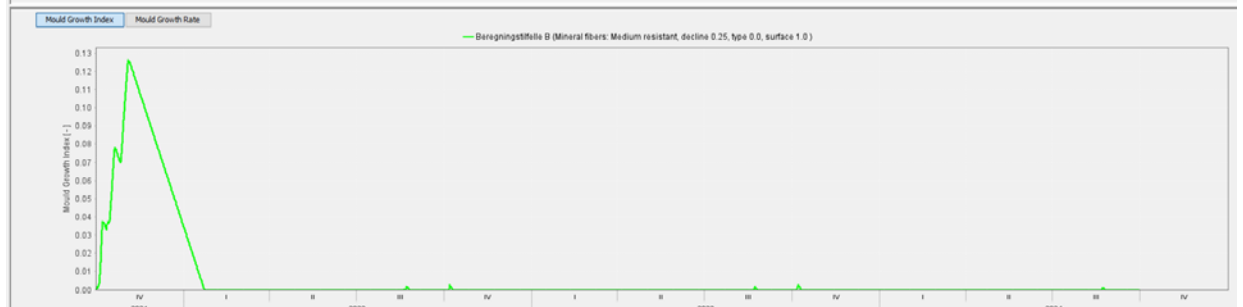
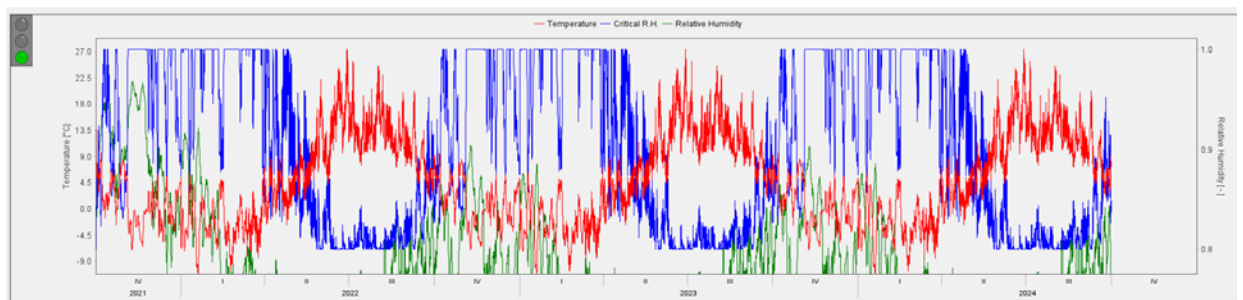
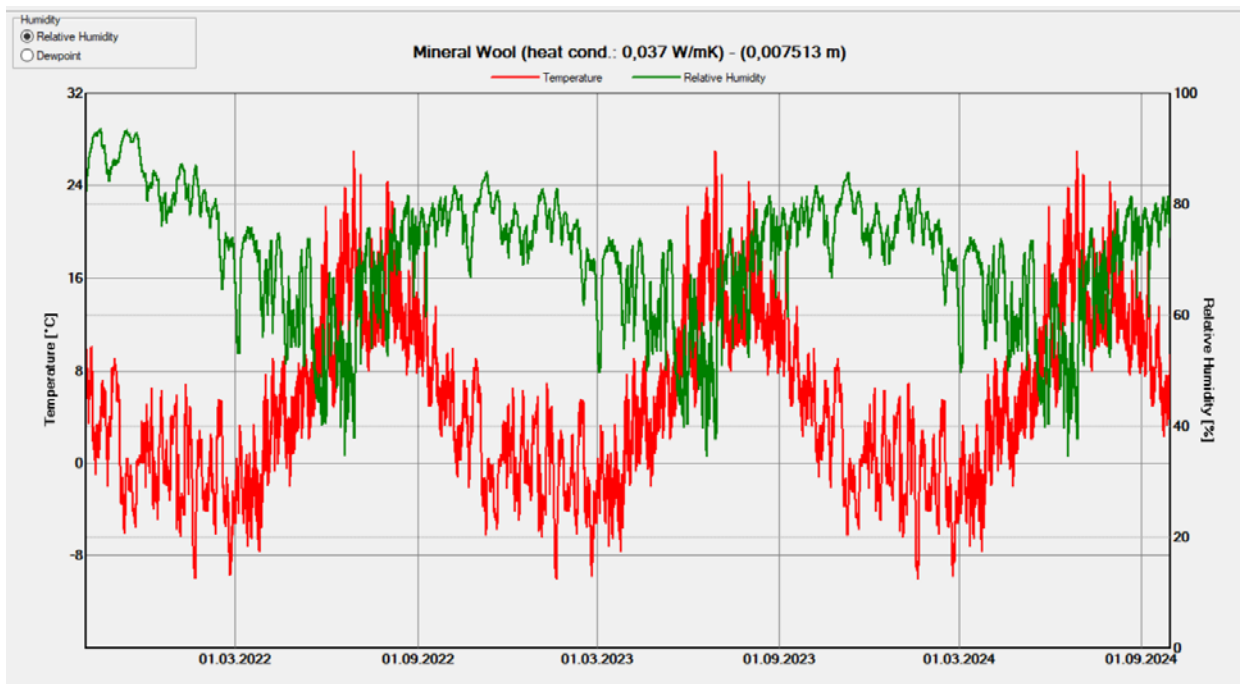
# Beregningstilfelle A1 (monitorpunkt 1, se Figur 2)



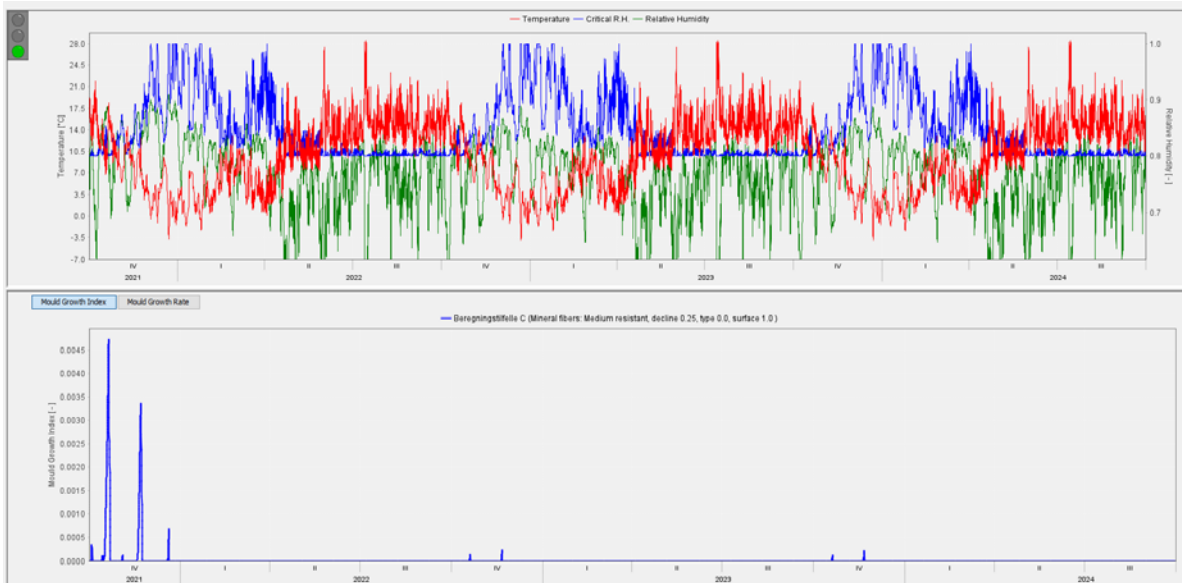
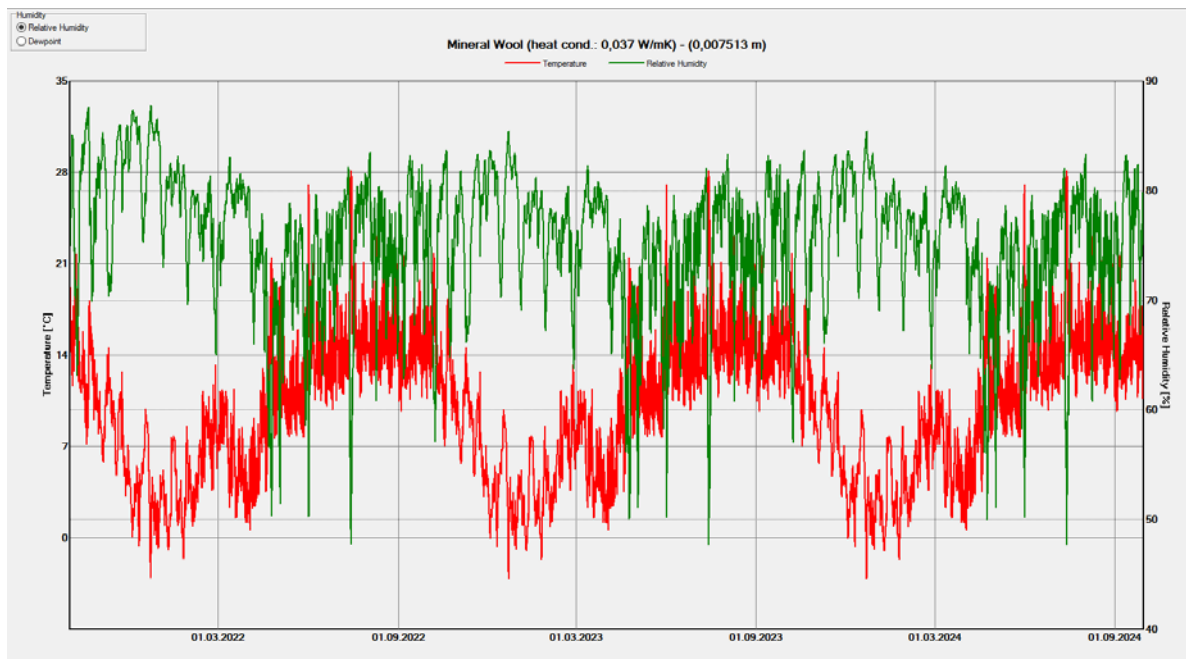
Beregningstilfelle A2 (monitorpunkt 1, se Figur 2)



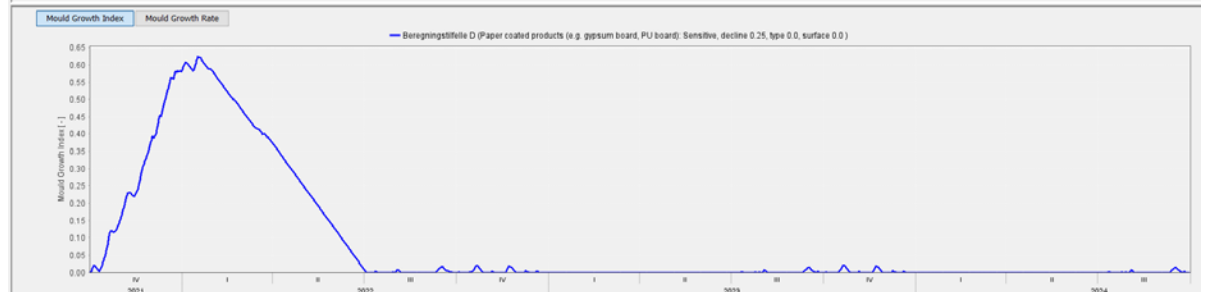
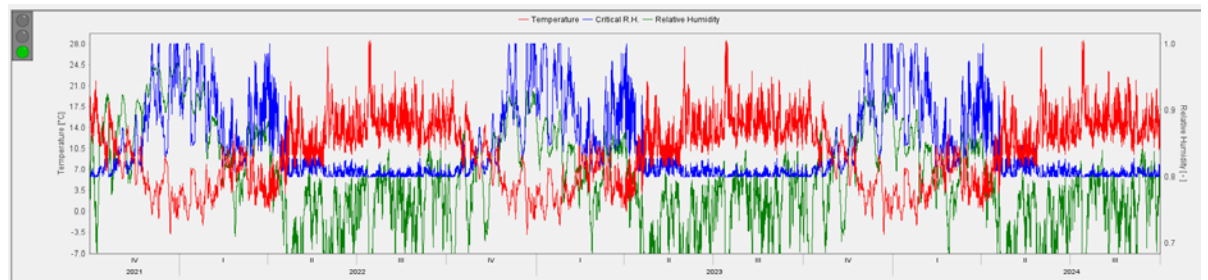
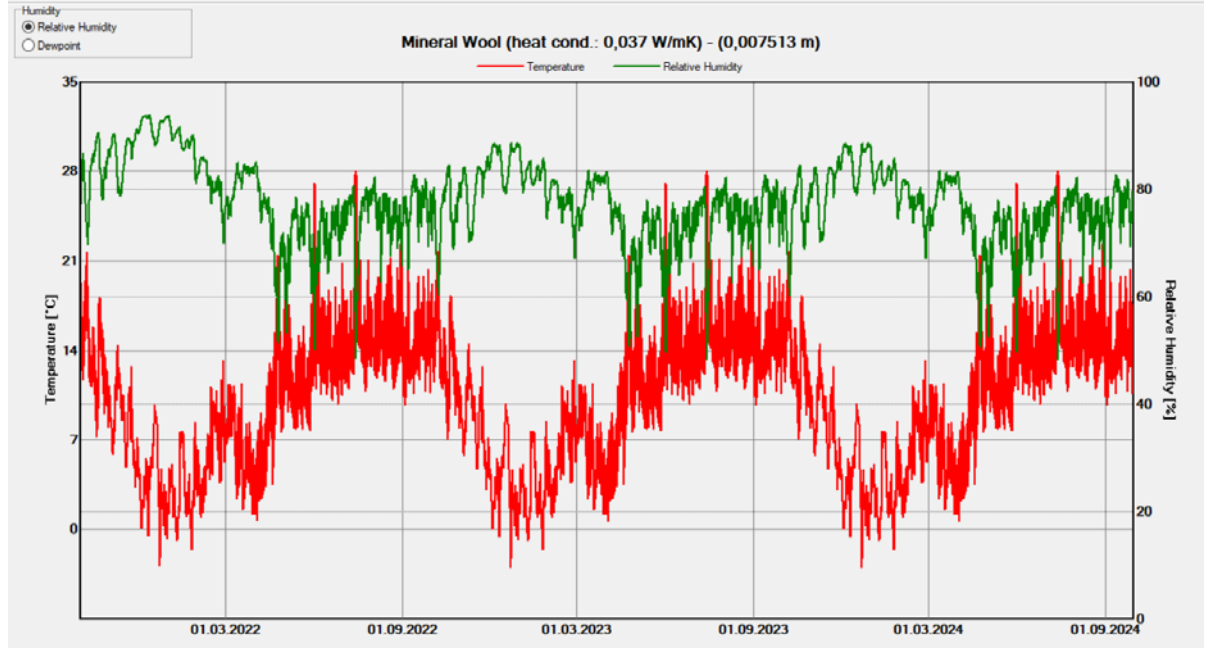
Beregningstilfelle B (monitorpunkt 1, se Figur 2)



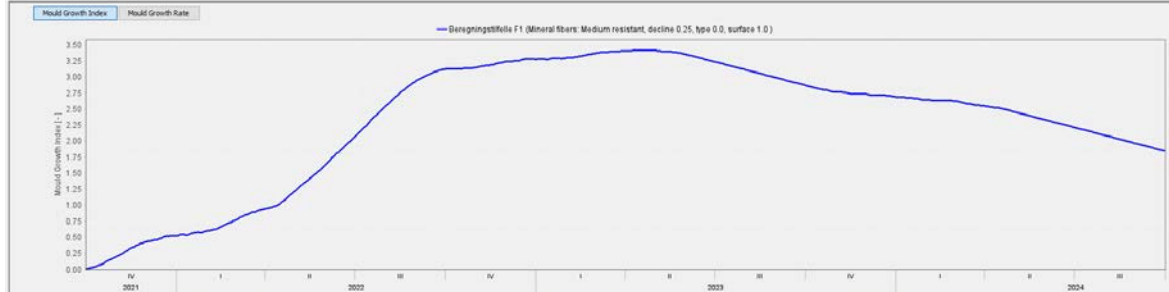
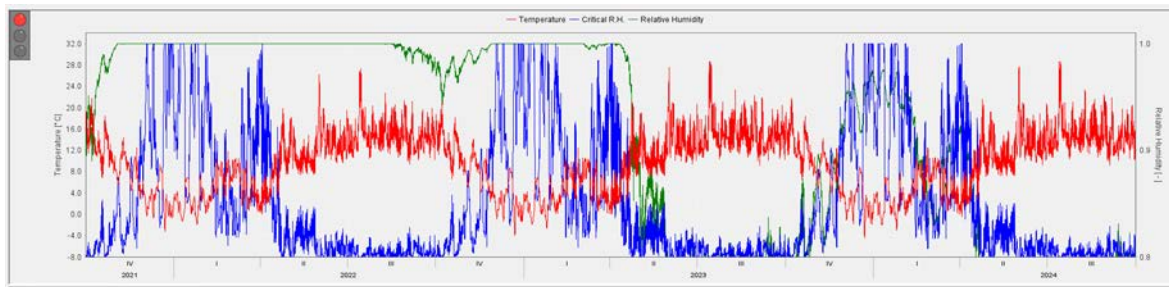
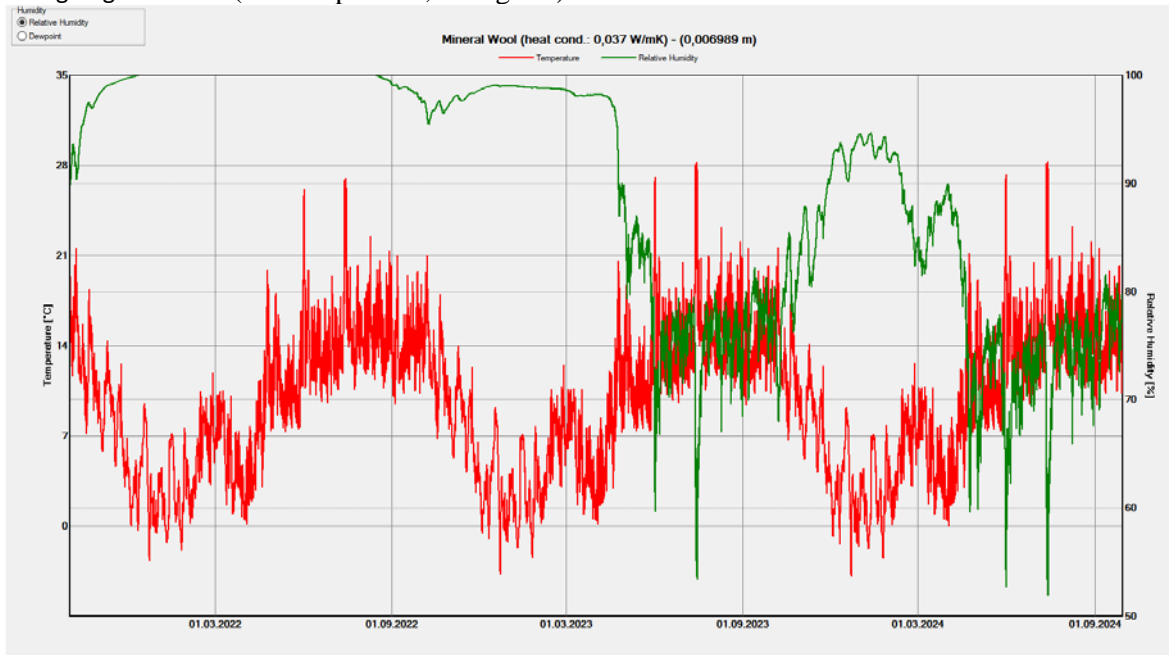
## Beregningsstifelle C (monitorpunkt 1, se Figur 2)



Beregningstilfelle D (monitorpunkt 1, se Figur 2)

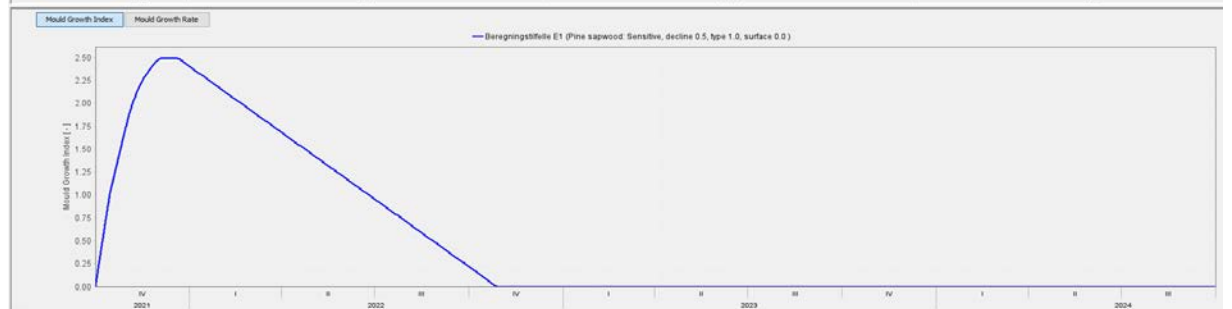
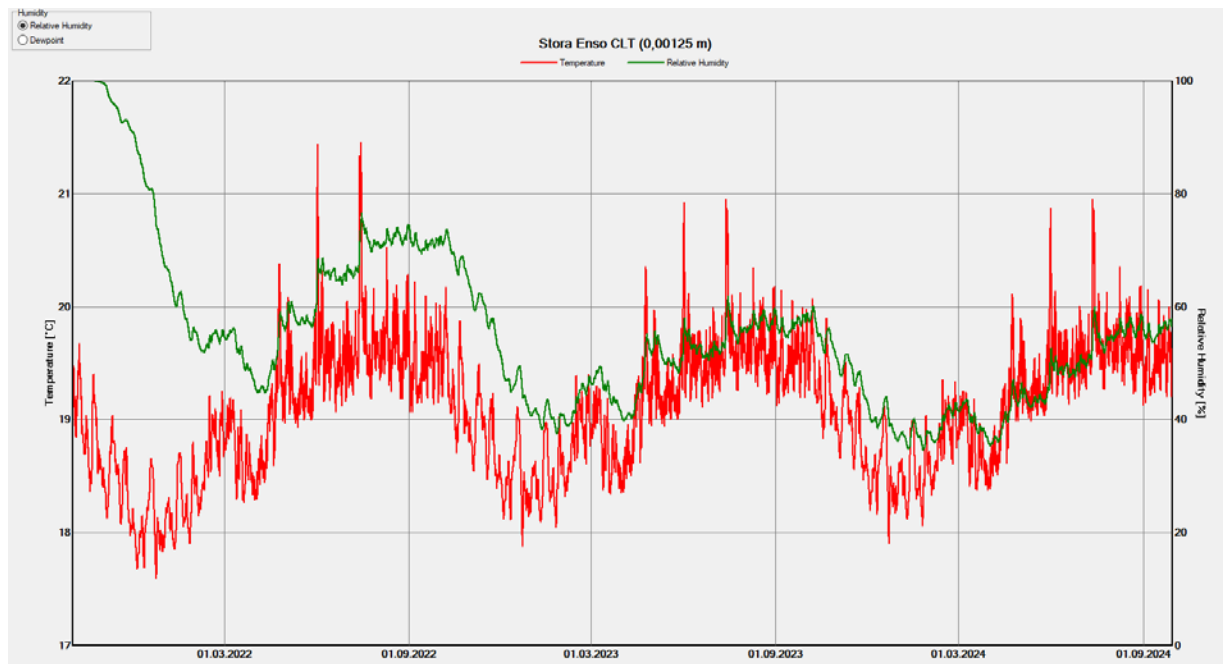


Beregningstilfelle E1 (monitorpunkt 1, se Figur 2)

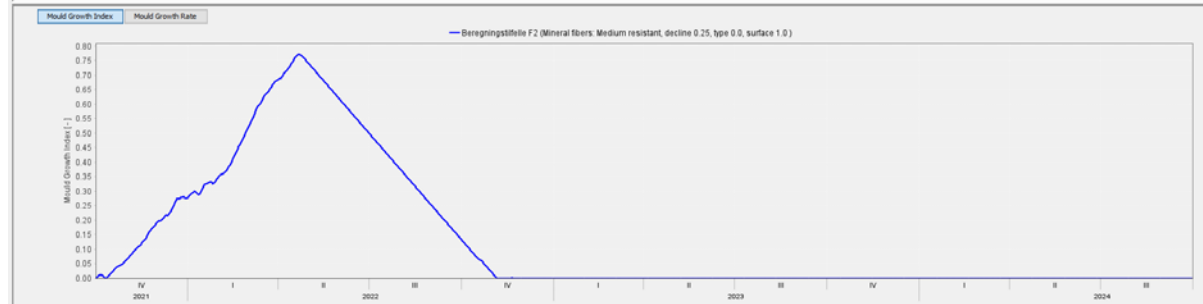
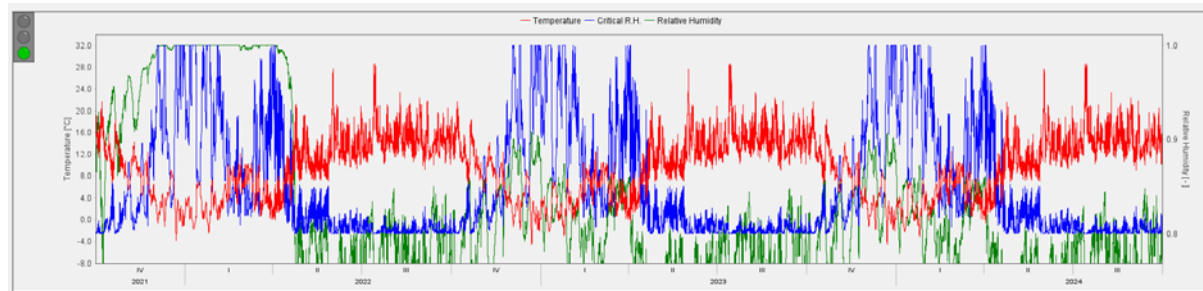
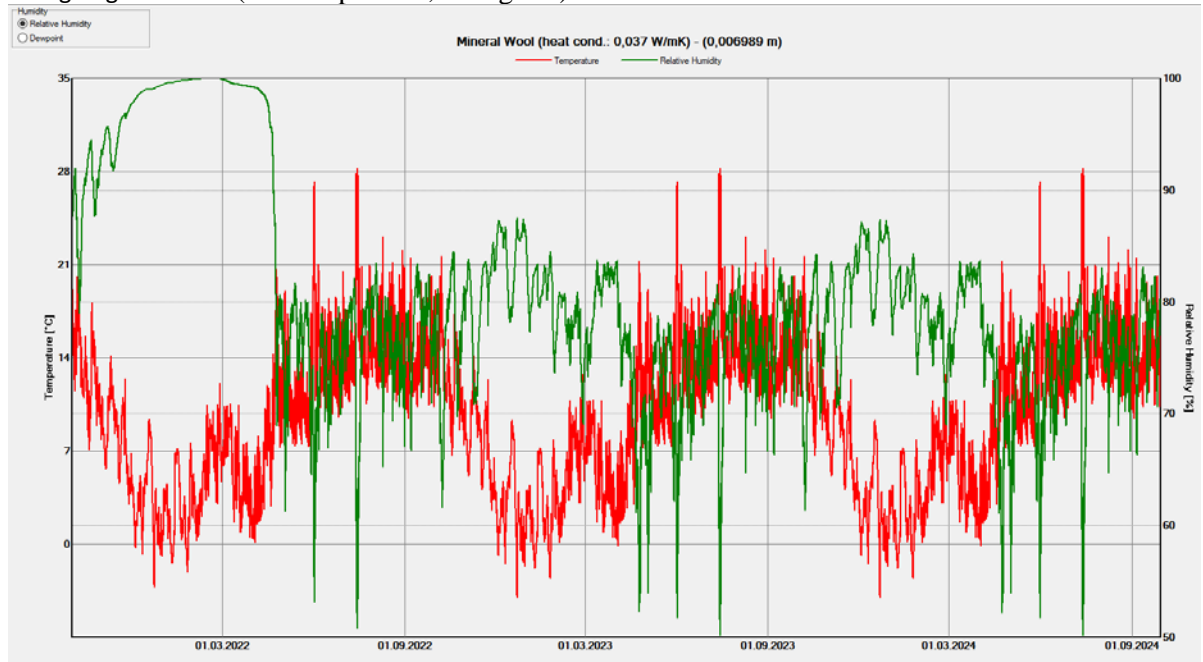




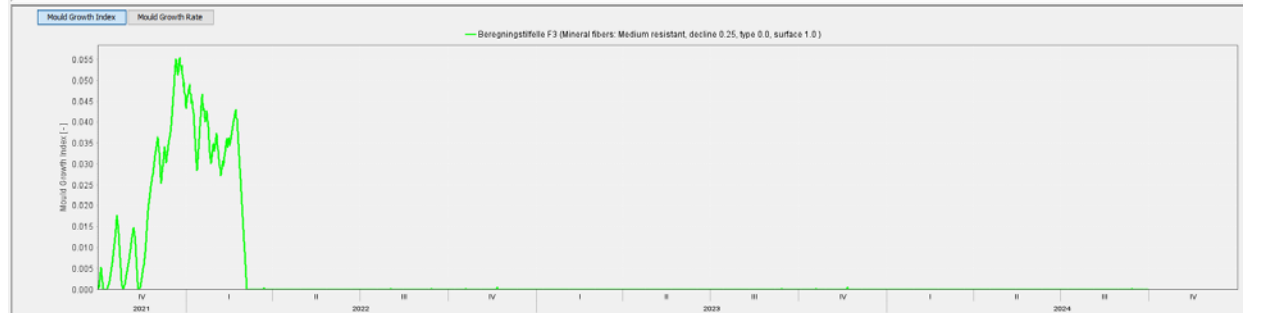
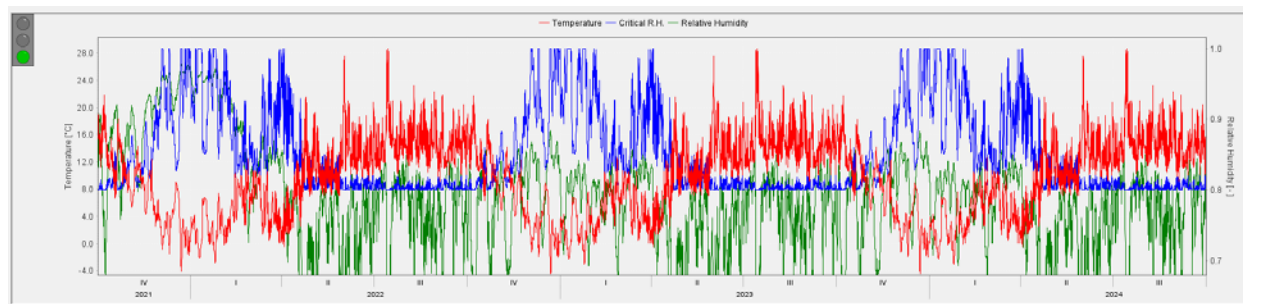
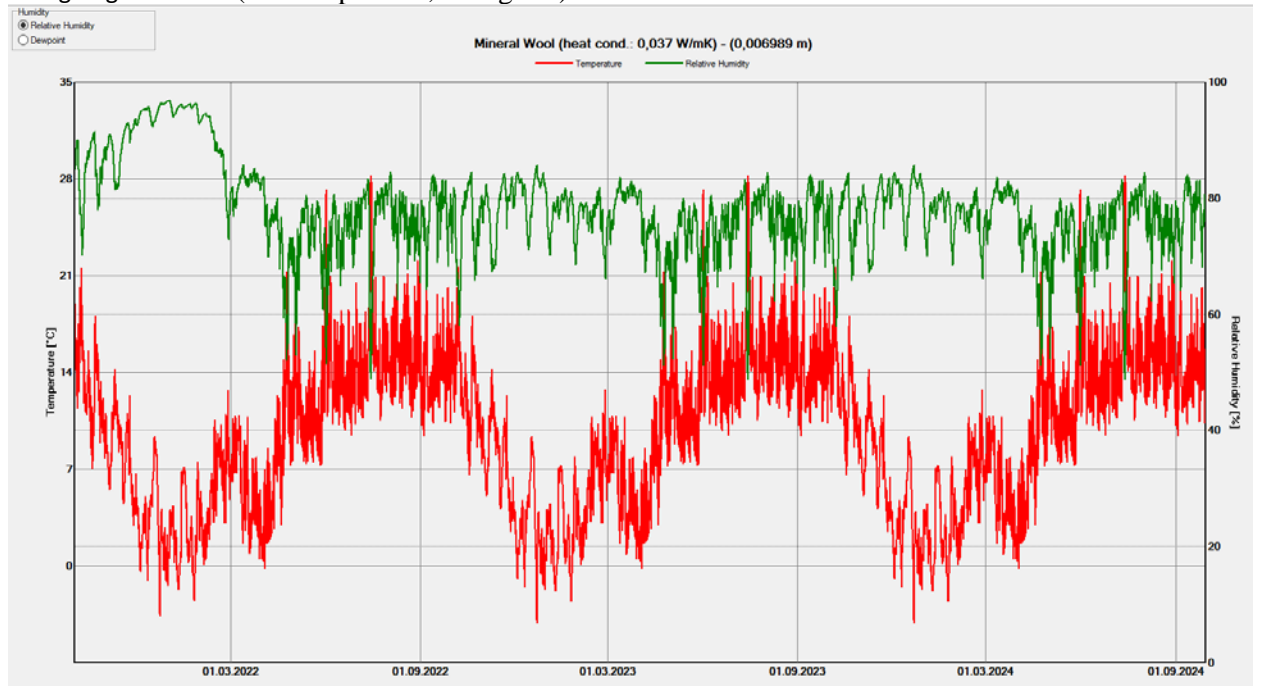
Beregningstilfelle E1 (monitorpunkt 2, se fig 2)



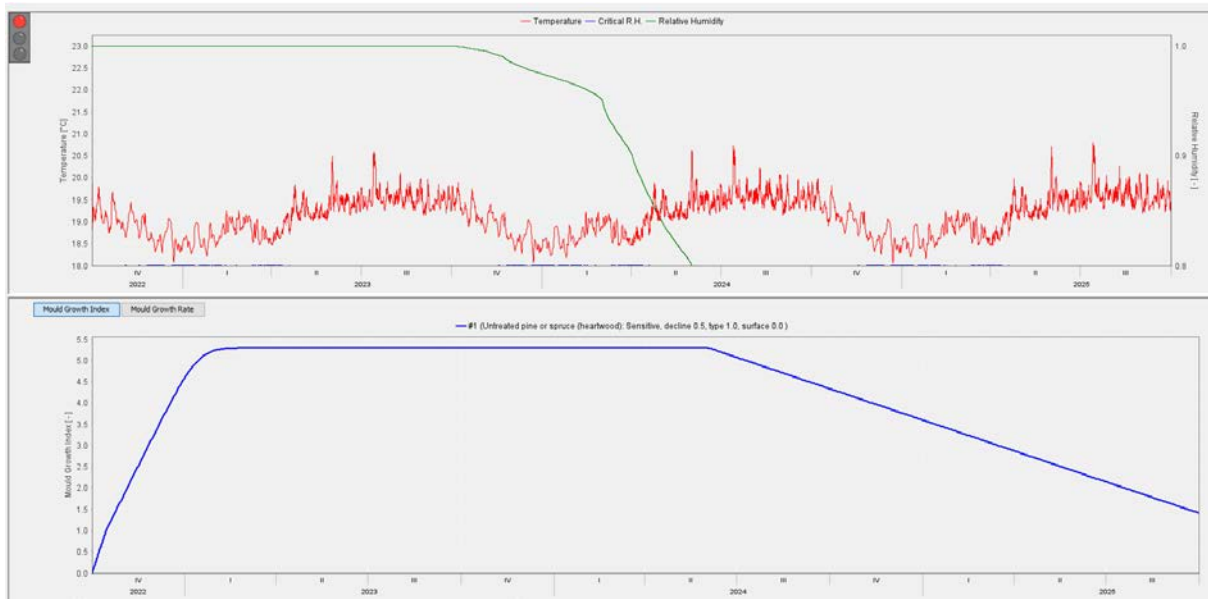
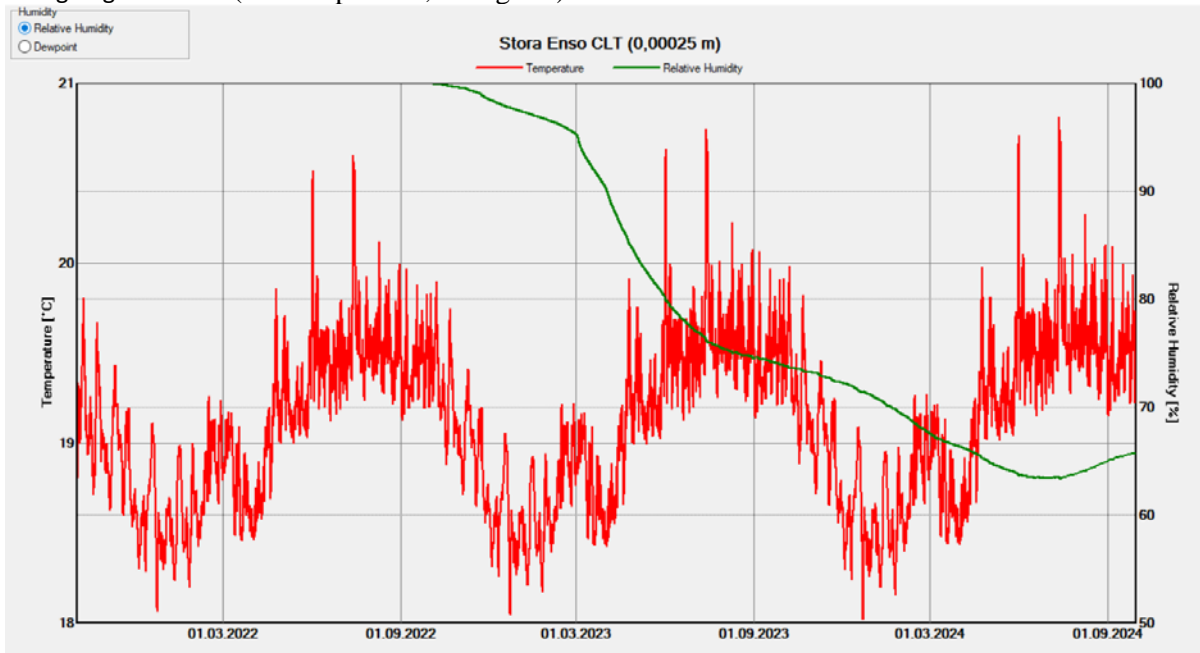
# Beregningstilfelle E2 (monitorpunkt 1, se Figur 2)



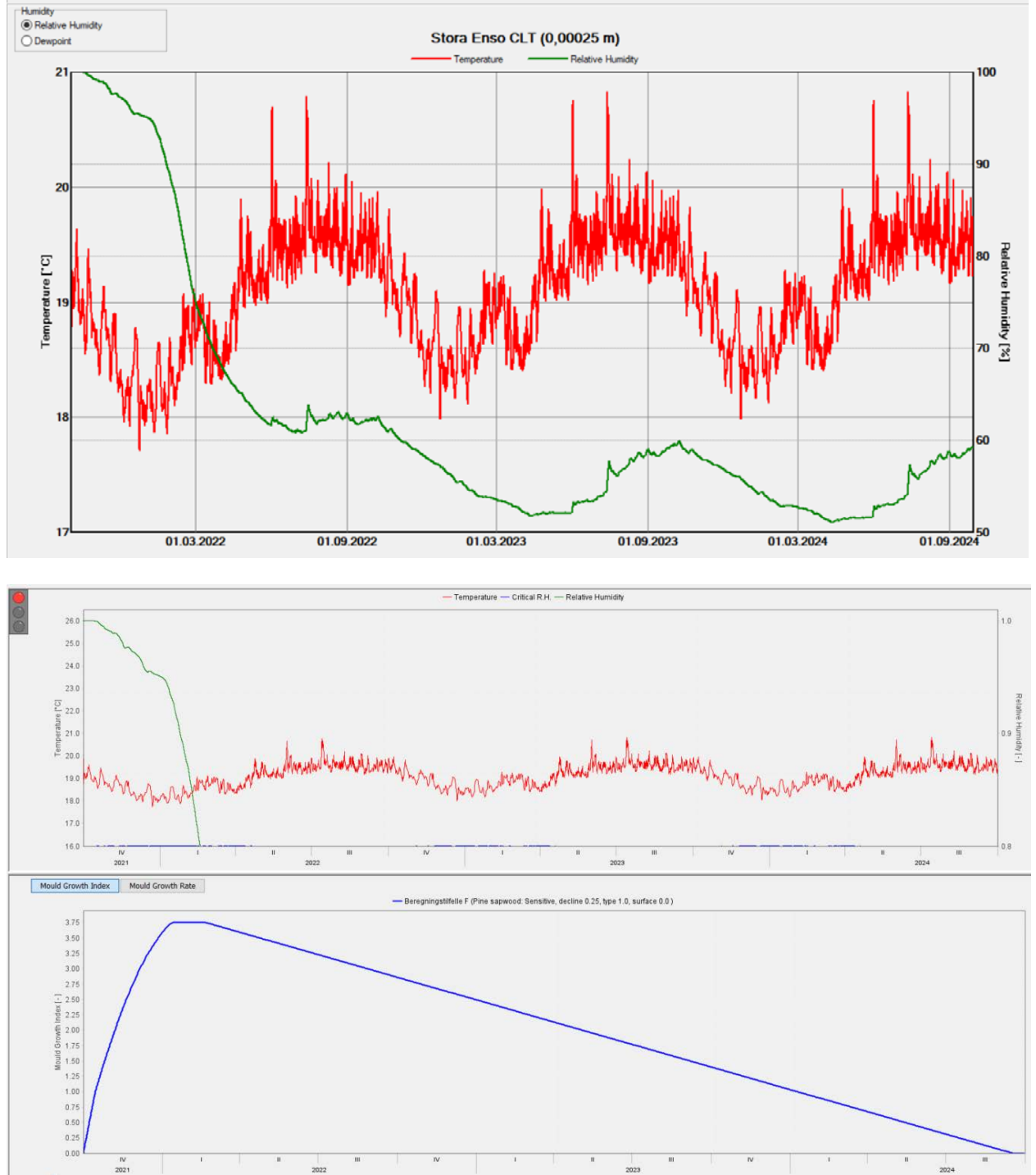
Beregningstilfelle E3 (monitorpunkt 1, se Figur 2)



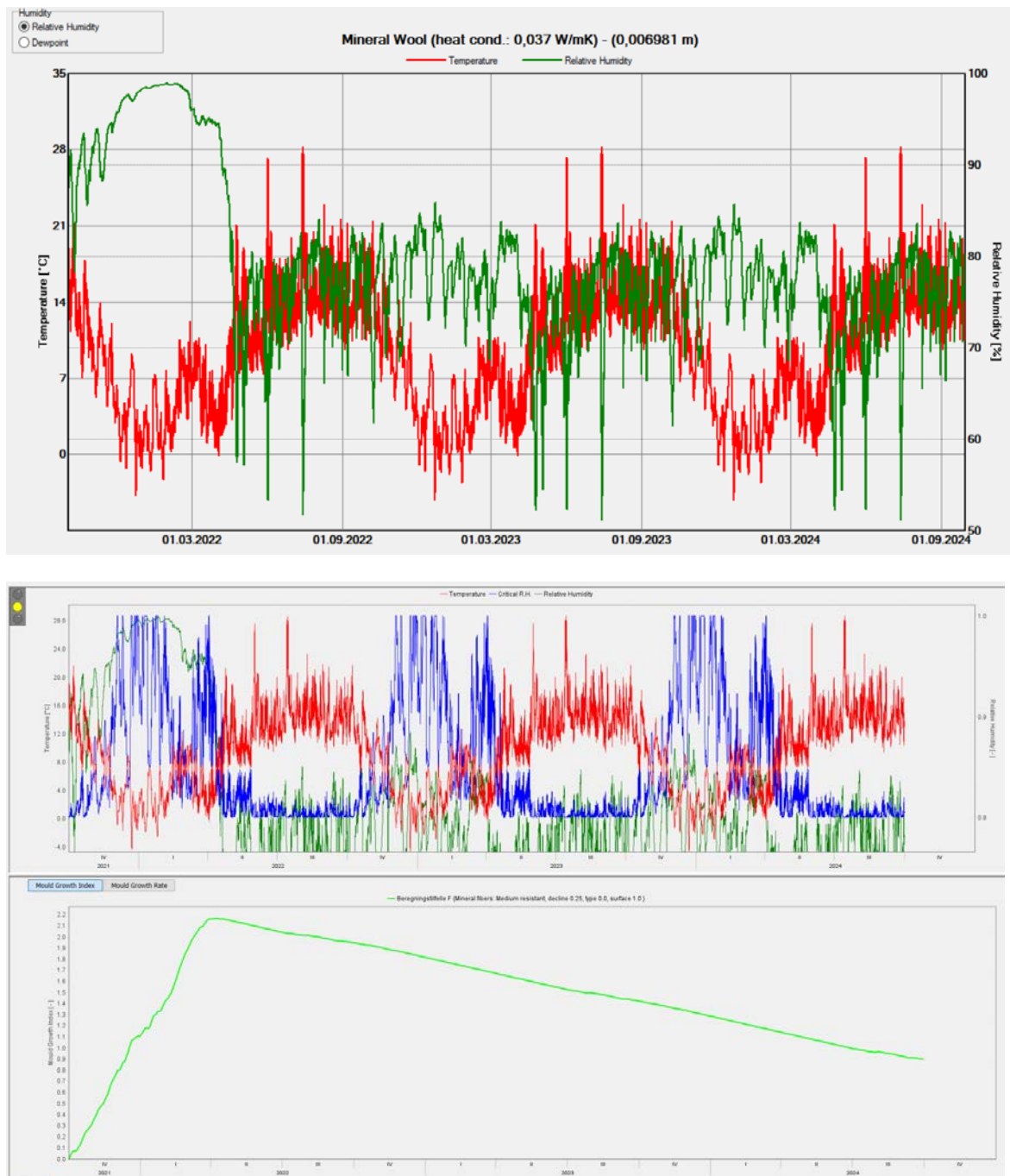
Beregningstilfelle E4 (monitorpunkt 2, se Figur 2)



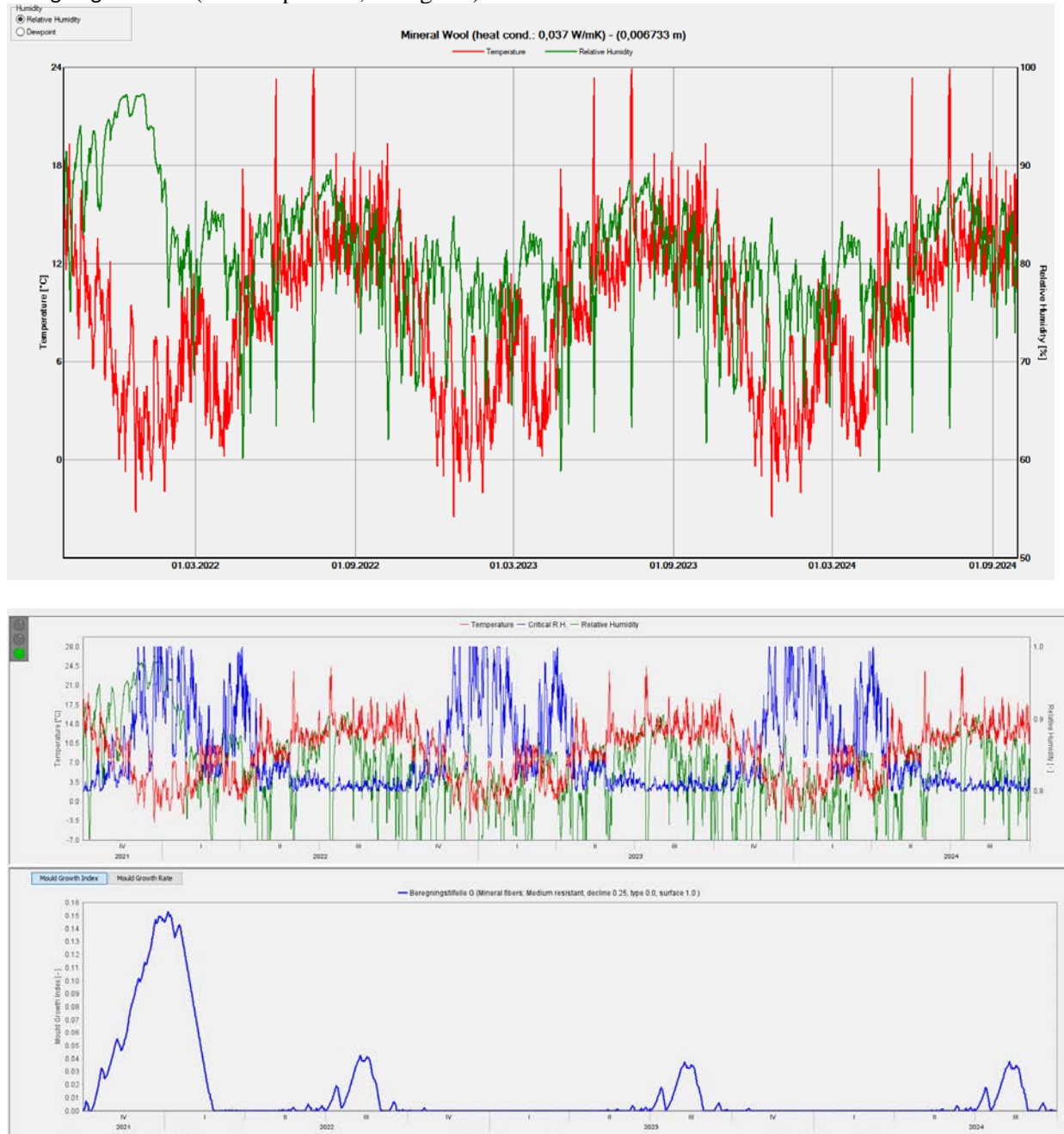
Beregningstilfelle F – (monitorpunkt 2, se Figur 2)



Beregningstilfelle F – (monitorpunkt 1, se Figur 2)



Beregningstilfelle G (monitorpunkt 1, se Figur 2)



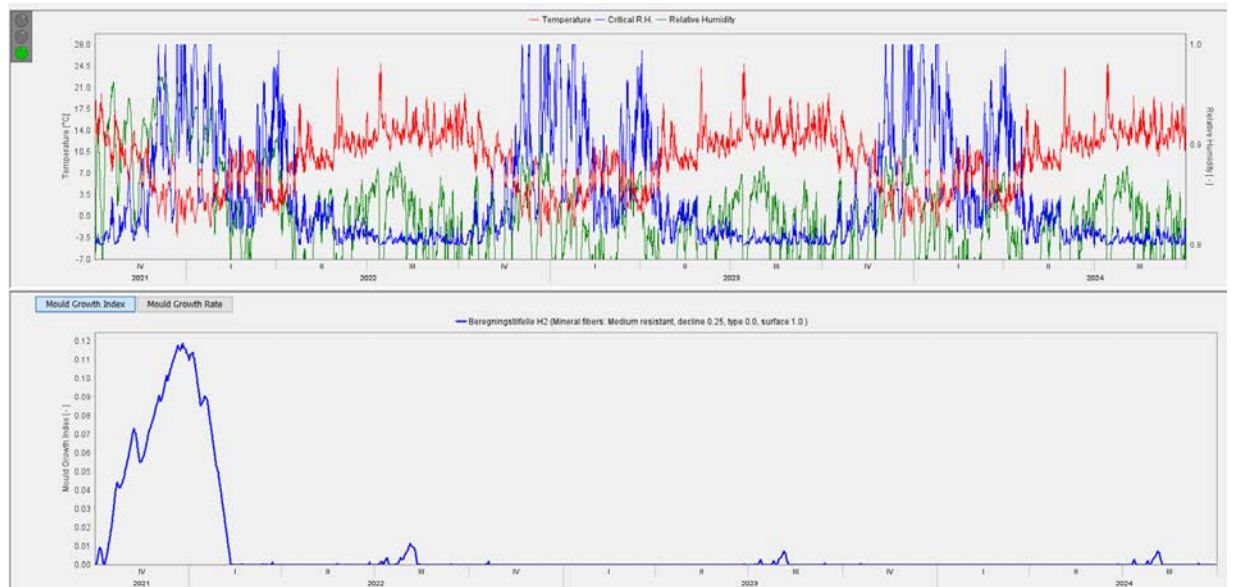
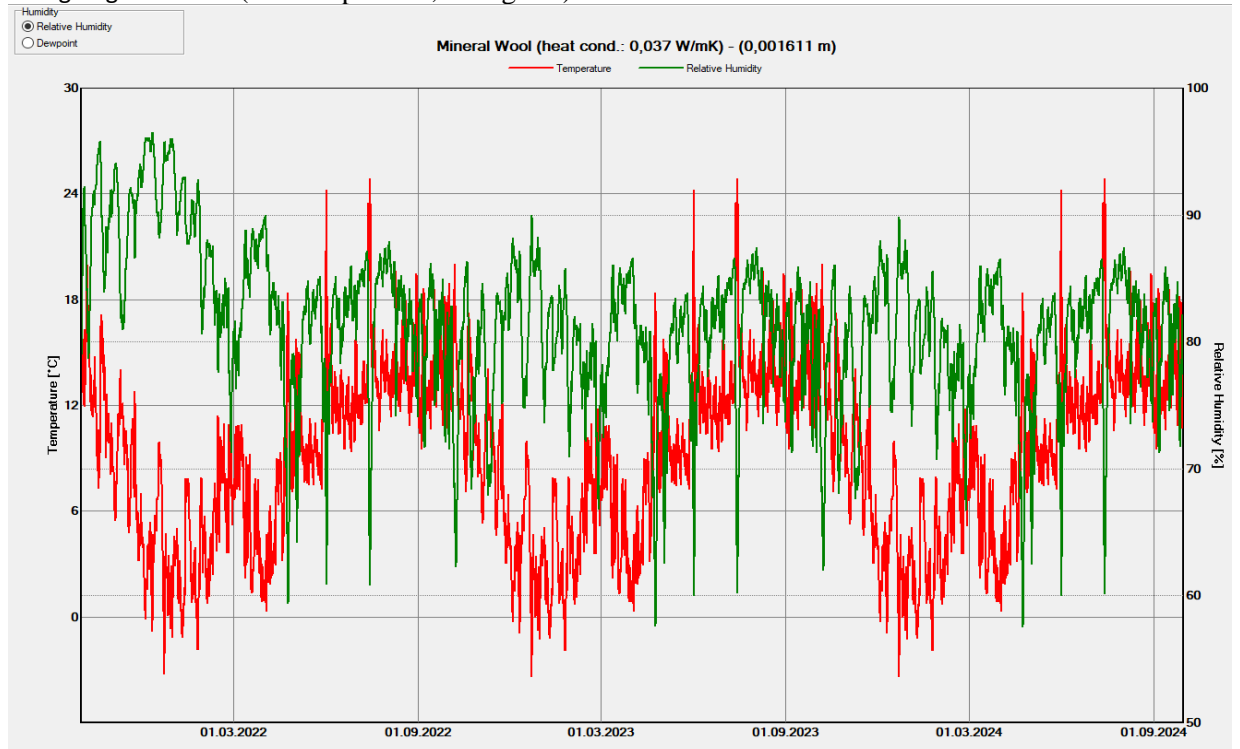


## Beregningstilfelle H1 (monitorpunkt 1, se Figur 2)

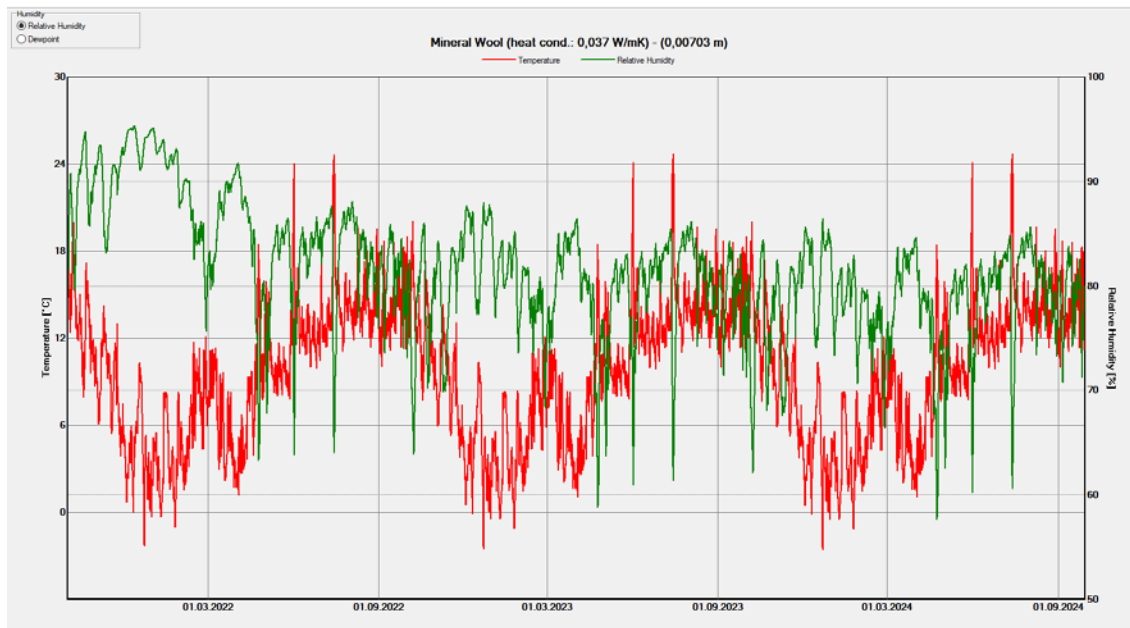




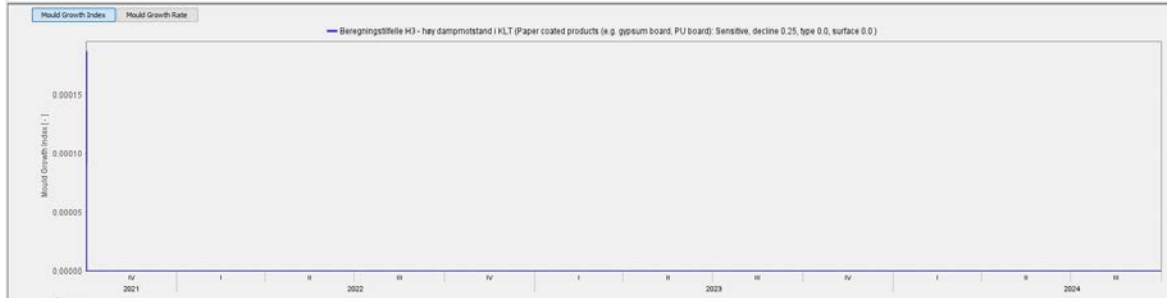
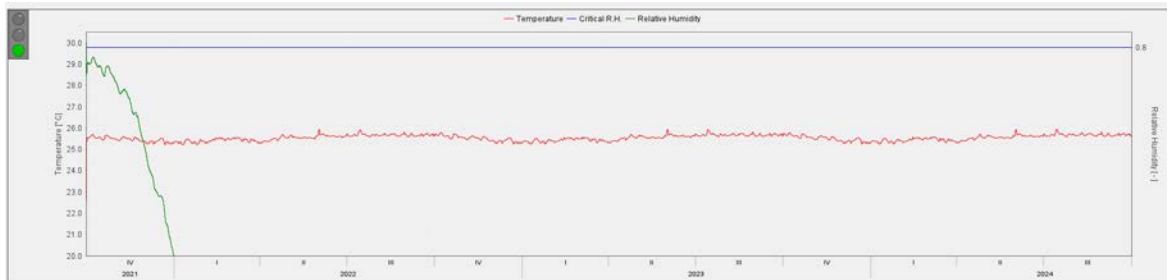
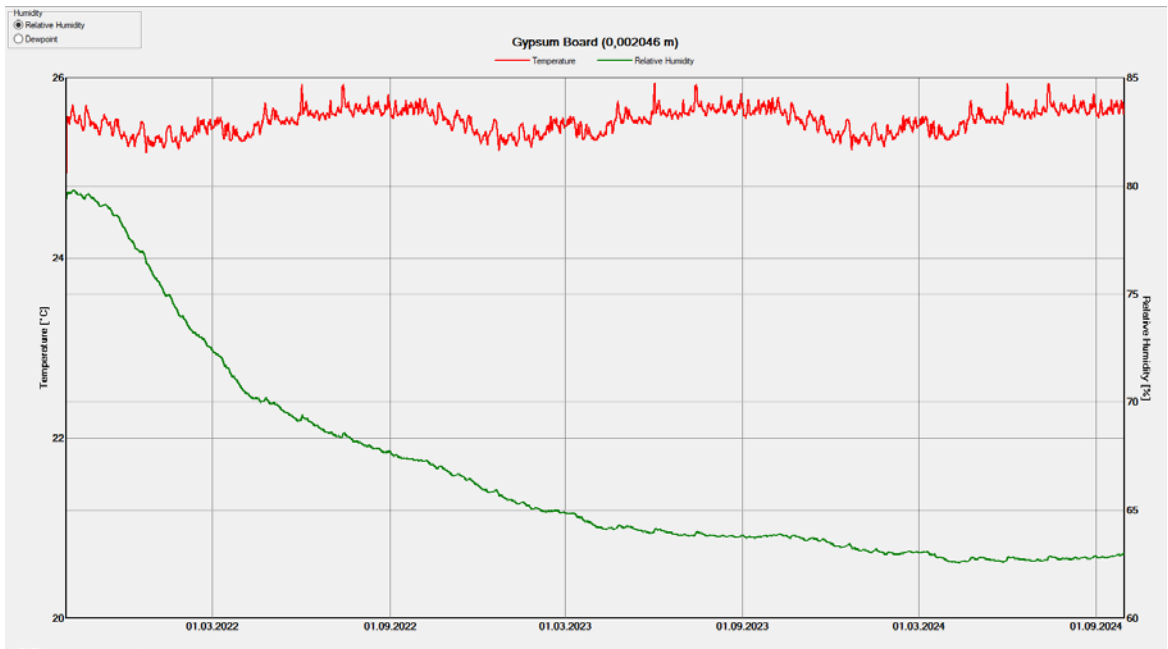
## Beregningstilfelle H2 (monitorpunkt 1, se Figur 2)



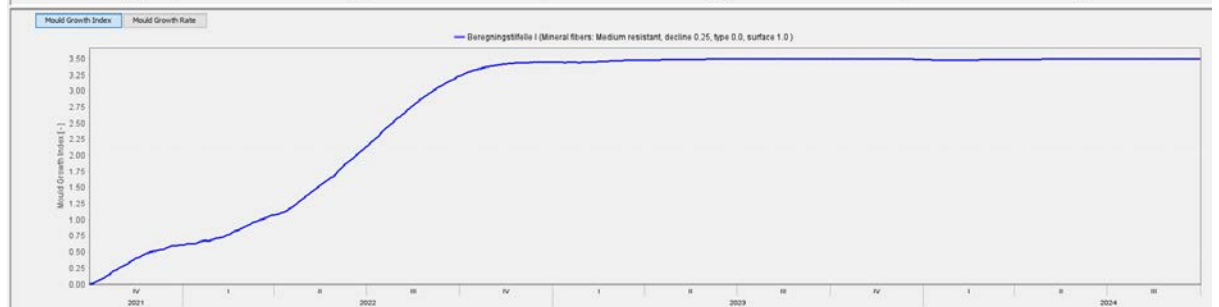
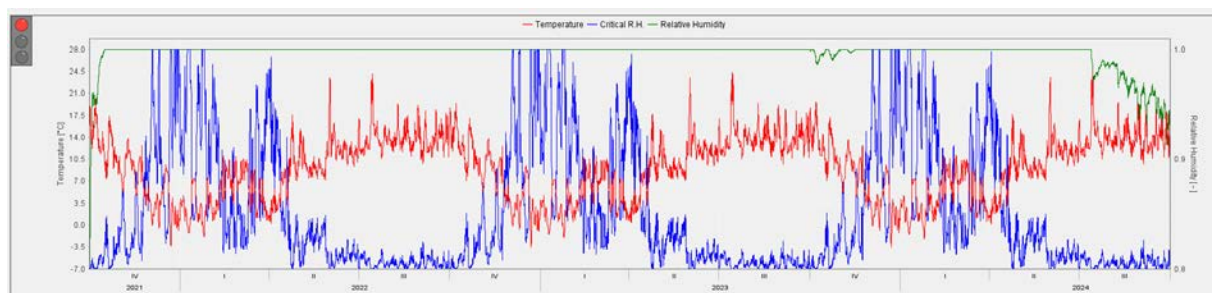
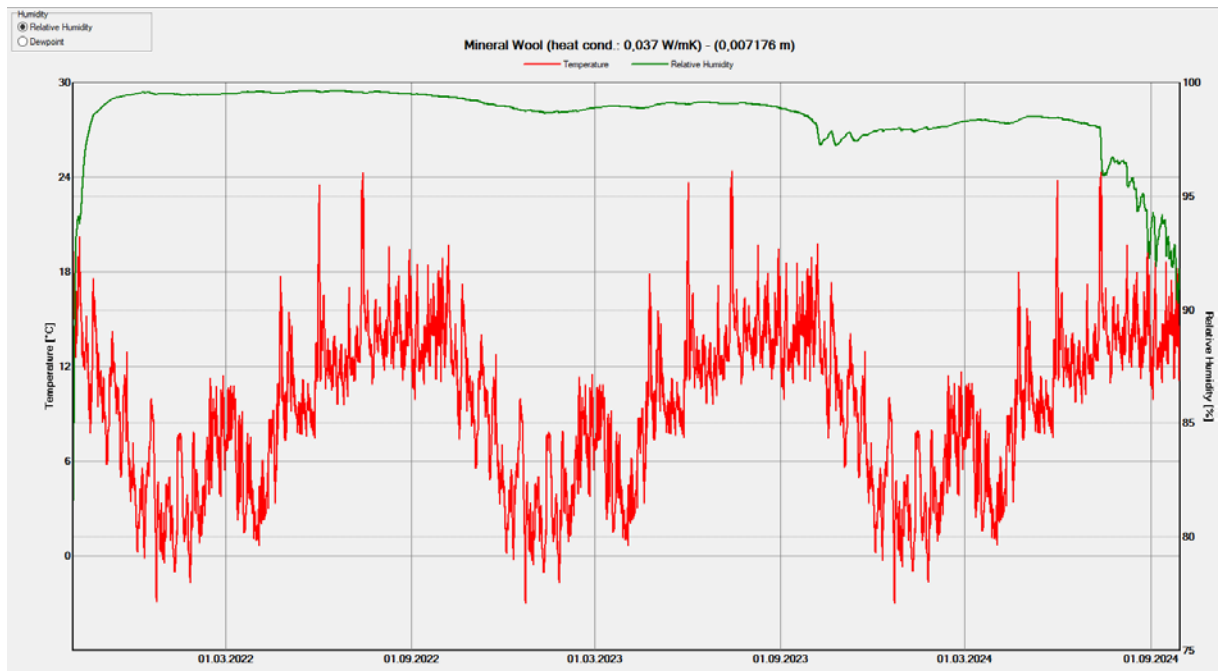
### Beregningstilfelle H3 (monitorpunkt 1, se Figur 2)



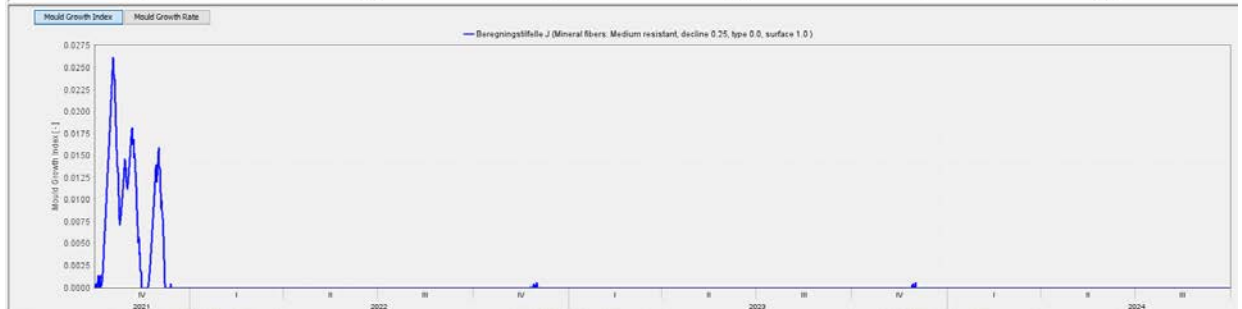
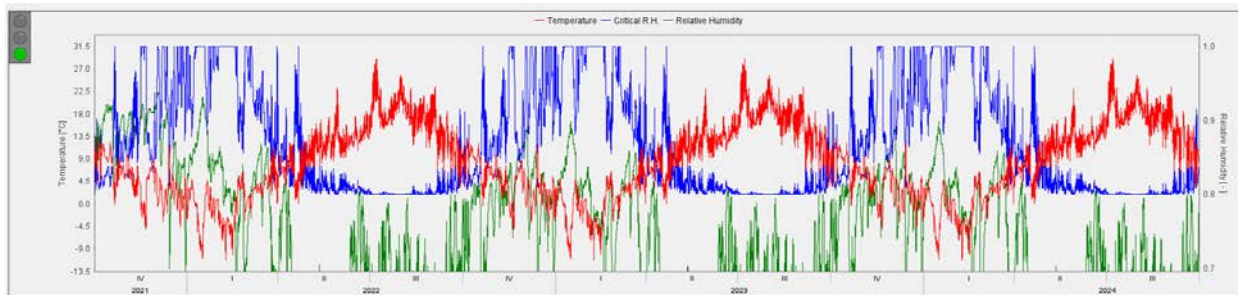
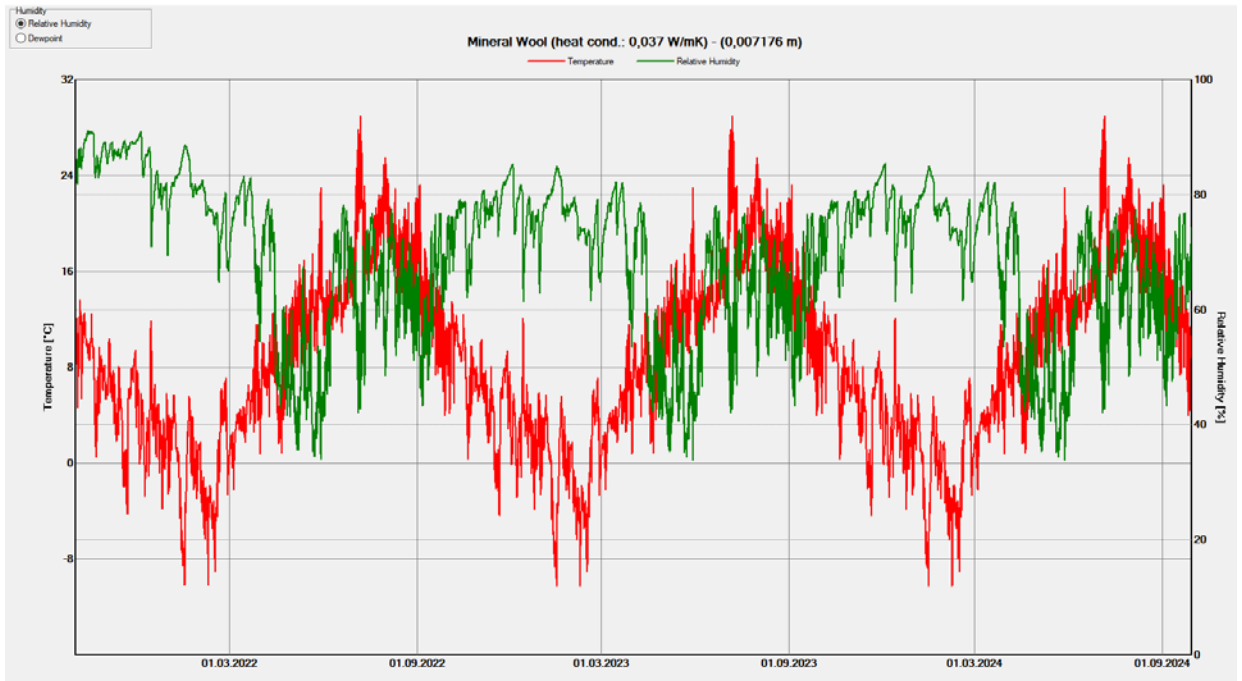
Beregningstilfelle H3 (monitorpunkt 2, se Figur 2)



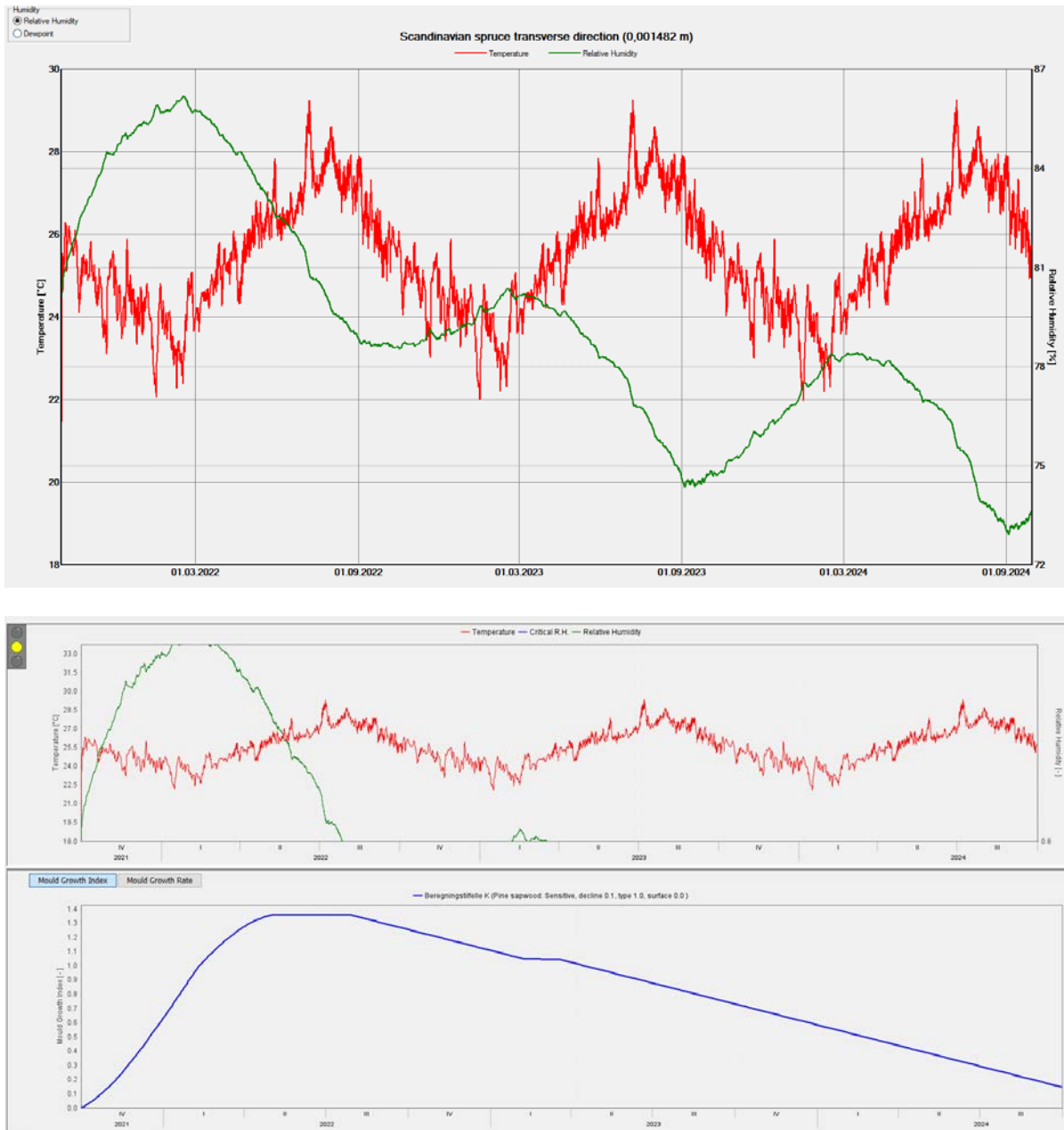
## Beregningstilfelle I (monitorpunkt 1, se Figur 2)



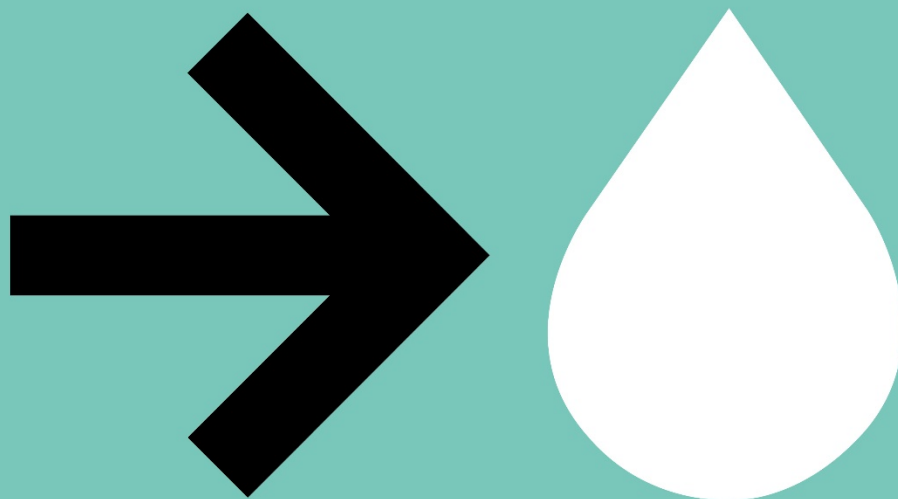
Beregningstilfelle J (monitorpunkt 1, se Figur 2)



Beregningstilfelle K – monitorposisjon 2, se fig 2







## CONSORTIUM

### Private sector

**SKANSKA**

**MG MESTERGRUPPEN**  
ARKITEKTER

**Multiconsult**

**Finans Norge**

**SKJFEVELAND**  
GRUPPEN

**NORGESHUS**

**Leca**

**isola**

**powel**

### Public sector

**Statens vegvesen**

Noregs  
vassdrags- og  
energidirektorat  
**NVE**

**AVINOR**

**Jernbane-  
direktoratet**

**STATSBYGG**

**TRONDHEIM KOMMUNE**

### Research & education

**SINTEF**

**BI**

**NTNU**

**Meteorologisk  
institutt**

**NGI**