

Fride Engesland Fuglestad

# Dampmotstand til klebefelt i kombinerte undertak og vindsperrer

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Tore Kvande

Medveileder: Erlend Andenæs

Juni 2022



Fride Engesland Fuglestad

# **Dampmotstand til klebefelt i kombinerte undertak og vindsperrer**

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Tore Kvande  
Medveileder: Erlend Andenæs  
Juni 2022

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



Kunnskap for en bedre verden



## Sammendrag

Strengere krav til tetthet og energibruk, samt økt fokus på bærekraft, har ført til at teip og klebede løsninger er hyppig brukt i moderne bygninger. Tetthet mot luft og fukt bidrar til beskyttelse av konstruksjonen slik at byggverk er bedre rustet mot fremtidens klimapåkjenninger. Teip regnes som den sikreste metoden for tetting av trebygninger. Derfor er teip og integrerte klebefelt en økende trend som tettelsesløsning i bygg. Tidligere er det gjennomført studier på teip og klebede løsninger for å vurdere bestandighet, styrke og lufttetthet. Først i 2020 ble dampmotstand i teip og klebede løsninger undersøkt. Forsøkene målte dampmotstand til vindsperrerteip og oppdaget at teipen var langt mer damptett enn vindsperreren. For å ta forskningen videre, er det derfor av interesse å undersøke dampmotstanden til integrerte klebefelt i kombinerte undertak og vindsperrere.

I denne oppgaven er elleve produkter av kombinerte undertak og vindsperrere med klebefelt testet i laboratorieforsøk. Forsøkene er gjennomført i henhold til NS-EN ISO 12572:2016, bedre kjent som koppmetoden. Formålene med forsøkene er både å vurdere målemetoden, samt å redegjøre for dampmotstanden til klebefelt i kombinerte undertak og vindsperrere. Det er gjort fukt- og muggvekstsimuleringer for å vurdere om klebefeltets dampmotstand påvirker bygningens evne til uttørking. I simuleringene er målte  $s_d$ -verdiene fra laboratorieforsøket benyttet. Beregningene er gjennomført i WUFI 2D og tilleggsprogrammet WUFI Mould Index VTT.

To av elleve produkter er testet ved to separate laboratorieforsøk for å validere koppmetoden for bestemmelse av dampmotstand til klebefelt i kombinerte undertak og vindsperrere. Resultatene fra de to forsøkene samsvarer og indikerer at metoden er etterprøvable. Sammenligning av resultatene til alle elleve produkter mot deres egenskaper, antyder ingen korrelasjon mellom klebeskjøtens dampmotstand og limfeltets bredde, tykkelse av klebeskjøten eller dampmotstanden til duken i seg selv. Dette indikerer at limet er en avgjørende faktor for klebefeltets diffusjonsmotstand.

Resultater fra laboratorieforsøket viser at dampmotstanden til klebefelt er svært varierende, fra 1,1 m til 32 m. Til sammenligning måler dukene i seg selv fra 0,027 til 0,20 m i  $s_d$ -verdi. For alle de testede produktene er  $s_d$ -verdien til klebeskjøtene over TEK17 sin anbefalte grense for kombinerte undertak og vindsperrere ( $\leq 0,5$  m). De tre høyeste målte  $s_d$ -verdiene er brukt i fukt- og muggvekstsimuleringer. Beregningene tar utgangspunkt i verst tenkelige scenario og varierer en parameter om gangen for å evaluere hvilke faktorer som er utslagsgivende for at muggvekst kan oppstå. Muggvekstanalyser viser at dersom en rekke ugunstige faktorer opptrer samtidig er det risiko for muggvekst under damptette klebefelt. Likevel anses det som usannsynlig og situasjonen kan enkelt unngås med få tiltak. På bakgrunn av de utførte beregningene vil det i de fleste tilfeller være lav muggvekstrisiko ved bruk av kombinerte undertak og vindsperrere med integrerte klebefelt.



## Abstract

Due to increasingly stringent requirements, tapes and adhesive joints are a commonly used method to ensure tightness and energy efficiency in modern buildings envelopes. Air and moisture tightness contribute to protection of the building envelope thus it is better equipped against climate stresses of the future. Tape is considered the most secure method for achieving airtightness in timber buildings. Hence, tape and adhesive joints are increasingly used solutions for air and moisture tightness. Previous studies have investigated properties as durability, strength, and airtightness of tapes. Water vapour resistance of wind barrier tape was first measured in 2020. The measurements uncovered much higher water vapour tightness for wind barrier tape than the wind barrier itself. Bringing the research forward, this thesis aims to investigate water vapour resistance of breather membrane adhesive joints.

Eleven products of breather membranes with adhesive joints are tested in laboratory measurements according to NS-EN ISO 12572:2016, commonly known as the cup method. The purposes of the measurements are to evaluate the measuring method, and to account for the vapour resistance of adhesive joints in products of breather membranes. In addition, moisture and mould growth simulations have been performed to assess whether vapour resistance of adhesive joints affects the building's ability to dry out. The calculations are performed in the simulation program WUFI 2D and the add-on WUFI Mould Index VTT.

Two of eleven products have been tested in two separate laboratory measurements to validate the cup method for determination of vapour resistance of breather membrane adhesive joints. Results from the two measurements correspond and indicate that the method is verifiable. Width of adhesive fields, vapour resistance of membranes themselves, and thickness of adhesive joint are compared to the measured vapour resistance of adhesive joints. There seem to be no correlation between vapour permeability of adhesive joints and the other properties.

Results from the laboratory measurements show that vapour resistance varies greatly for adhesive joints, from 1.1 to 32 m. In comparison, the membranes themselves range from 0.027 to 0.20 m. For every tested product, the  $s_d$ -value of adhesive joints exceed Norwegian recommendations of vapour tightness. The recommended  $s_d$ -value of breather membranes is  $\leq 0.5$  m. The three products with largest  $s_d$ -value are used in calculations of moisture and mould growth. The analysis show that a series of unfavourable circumstances must occur simultaneously for mould growth to become problematic. However, the risk of mould growth is low in most practical cases when using breather membranes with adhesive joints.





## Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet for Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU i Trondheim våren 2022. Oppgaven inngår i hovedprofilen bygnings- og materialteknikk og tilsvarer 30 studiepoeng.

Jeg vil takke min hovedveileder Tore Kvande, professor ved Institutt for bygg- og miljøteknikk, for god oppfølging, innspill og engasjement i prosessen. Takk også til Erlend Andenæs, postdoktor ved Institutt for bygg- og miljøteknikk, for språklig hjelp til den akademiske artikkelen. Jeg vil takke Stig Geving fra SINTEF Community for viktig kunnskap og innspill til fuktberegninger i WUFI. Til slutt en stor takk til Ole Aunrønning, avdelingsingeniør ved Institutt for bygg- og miljøteknikk, for hjelp til gjennomføring av laboratorieforsøket.

Selv om deler av studietiden har vært preget av covid-19-restriksjoner, sitter jeg igjen med en stor taknemlighet for fem minneverdige og lærerike år i Trondheim. Så takk til alle forelesere og medstudenter for en uforglemmelig studietid ved NTNU.

Trondheim, 8. juni 2022



Fride Engesland Fuglestad



# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Forord</b>	<b>v</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b>	<b>viii</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Avgrensning . . . . .	1
1.2 Oppgavens oppbygging . . . . .	2
<b>2 Teori</b>	<b>3</b>
2.1 Materialer og oppbygging av isolerte skråtak med luftet tekning . . . . .	3
2.2 Fukttransport . . . . .	4
2.3 Fuktproblematikk . . . . .	6
2.4 Muggvekst . . . . .	7
2.5 Begrepet “kombinert undertak og vindsperre” utenfor Skandinavia . . . . .	8
<b>3 Metode</b>	<b>9</b>
3.1 Laboratorieforsøk . . . . .	9
3.2 Fuktregninger . . . . .	13
3.2.1 Inputparametere . . . . .	13
3.2.2 Oppbygging av taket . . . . .	14
3.2.3 Uthenting av resultater . . . . .	16
3.3 Muggvekstanalyse . . . . .	17
3.4 Oppsummering av startbetingelser . . . . .	19
<b>4 Resultater</b>	<b>21</b>
4.1 Sammenligning av resultater for evaluering av metode . . . . .	21
4.2 Resultater fra laboratorieforsøk . . . . .	21
4.3 Resultater fra fuktsimulering og muggvekstanalyse . . . . .	29
<b>5 Diskusjon</b>	<b>35</b>
<b>6 Konklusjon</b>	<b>41</b>
<b>Referanseliste</b>	<b>43</b>
<b>Vedlegg</b>	<b>I</b>
<b>A Vitenskapelig artikkel</b>	<b>III</b>
<b>B Tykkelser av prøvestykker</b>	<b>XIX</b>

<b>C</b>	<b>Resultater fra laboratorieforsøket</b>	<b>XXIII</b>
C.1	Produkt A . . . . .	XXV
C.2	Produkt B . . . . .	XXIX
C.3	Produkt C . . . . .	XXXIII
C.4	Produkt D . . . . .	XXXVII
C.5	Produkt E . . . . .	XLI
C.6	Produkt F . . . . .	XLV
C.7	Produkt G . . . . .	XLIX
C.8	Produkt H . . . . .	LIII
C.9	Produkt I . . . . .	LVII
C.10	Produkt J . . . . .	LXI
C.11	Produkt K . . . . .	LXV
<b>D</b>	<b>Muggvekstindeks for parametervariasjoner</b>	<b>LXIX</b>
D.1	Produkt A . . . . .	LXXI
D.2	Produkt J . . . . .	LXXIII
D.3	Produkt I . . . . .	LXXV

## Figurliste

2.1	Illustrasjon av oppbygningen av et isolert skråtak med luftet tekning. Taket har én luftespalte og kombinert undertak og vindsperre. . . . .	3
2.2	Illustrasjon av fuktoppsamling under klebeskjøt i kombinert undertak og vindsperre, adaptert fra Byggforskserien 421.132. . . . .	6
2.3	Graf for relativ muggveksthastighet gitt som funksjon av temperatur og RF. . .	7
3.1	Limstrimler lagt parallelt med omtrentlig en halv strimmelbredde overlapp. Bildet er tatt etter stansing, men før sammenliming. . . . .	10
3.2	Måler tykkelse av prøvestykkene før montering av prøvebokser. . . . .	10
3.3	Forseglingsprosessen. Metallringen sørger for at forseglingsmassen ikke trekker inn i prøveområdet. . . . .	11
3.4	Ferdig montert prøveboks. Når forseglingen er herdet, fjernes metallringen og prøveområdet måler nå 164 mm. . . . .	11
3.5	En prøveboks på presisjonsvekt . . . . .	12
3.6	Oppbygging av bygningskomponent i WUFI 2D. . . . .	15
3.7	Eksempel på monitorposisjon. Her med klebefelt over taksperre . . . . .	16
4.1	Resultat for produkt A. . . . .	23
4.2	Resultat for produkt B. . . . .	23
4.3	Graf for dampmotstand for produkt C. . . . .	24
4.4	Resultat for produkt C. . . . .	24
4.5	Resultat for produkt D. . . . .	25
4.6	Resultat for produkt E. . . . .	25
4.7	Graf for vektendring for produkt F. . . . .	26
4.8	Resultat for produkt F. . . . .	26
4.9	Resultat for produkt G. . . . .	27
4.10	Resultat for produkt H. . . . .	27
4.11	Resultat for produkt I. . . . .	28
4.12	Resultat for produkt J. . . . .	28
4.13	Resultat for produkt K. . . . .	28
4.14	Grafer for temperatur og RF for produkt A over 8760 timer. Simuleringen er startet 1. september. Klebefeltet er plassert over taksperren og har $s_d$ -verdi på 32,0 m. Maksimum RF er angitt ved punktet. Den sorte linjen markerer 80 % RF. 29	
4.15	Graf for muggvekstindeks for produkt A over 8760 timer. Simuleringen er startet 1. september. Klebefeltet er plassert over taksperren og har $s_d$ -verdi på 32 m. Punktet marker maksimum muggvekstindeks. . . . .	30

## Tabelliste

2.1	Uttrykk som beskriver materialers diffusjonsegenskaper. . . . .	5
2.2	Grader av diffusjonstetthet for materialsjikt. . . . .	5
2.3	Produsenters uttrykk for kombinerte undertak og vindsperrer. . . . .	8
3.1	Testede produkter og deres relevante egenskaper gitt av TG eller leverandør. . .	9
3.2	Ekvivalent luftlagtykkelse og måletintervall fra følgeskjema. . . . .	12
3.3	Materialegenskaper . . . . .	16
3.4	Skala for muggindeks etter VTT-modellen. . . . .	17
3.5	Sensitivitetsklasser. . . . .	17
3.6	Trafikklysevaluering benyttet i WUFU Mould Index VTT. . . . .	18
3.7	Inputparametere i WUFI 2D og Mould Index. . . . .	19
4.1	Sammenligning av forsøksresultatene fra prosjekt- og masteroppgaven for produkt B. . . . .	21
4.2	Sammenligning av forsøksresultatene fra prosjekt- og masteroppgaven for produkt I. . . . .	21
4.3	Resultatene fra laboratorieforsøkene oppsummert og sammenlignet mot målt dampmotstand til duken fra SINTEFs årlige kontroller og deklarerert dampmotstand fra produktets ytelseserklæring. . . . .	22
4.4	Simuleringsmatrise med muggvekstrisiko. Beregning 1-10. . . . .	31
4.5	Simuleringsmatrise med muggvekstrisiko. Beregning 11-20. . . . .	32
4.6	Simuleringsmatrise med muggvekstrisiko. Beregning 21-30. . . . .	33

# 1 Introduksjon

De siste årene er byggebransjen i større grad blitt bevisst sitt CO<sub>2</sub>-avtrykk og det arbeides kollektivt mot bærekraftige og energieffektive løsninger for byggverk (European Commission 2022). I tillegg fører menneskeskapte klimagassutslipp til et klima i endring og det forventes varmere og våtere vær i årene fremover (Hanssen-Bauer mfl. 2015). Fremtidens bygg må derfor tåle hyppigere ekstremvær og samtidig redusere CO<sub>2</sub>-utslippene til et minimum. For å oppnå dette kreves det blant annet robuste og tette bygg med lang levetid.

Teip og klebeløsninger er i økende grad brukt i dagens bygg for å sikre regn- og lufttetthet (Fufa mfl. 2018). Produktene kommer i mange varianter og til mange formål som dampsperre- og vindsperreteip, mansjetter eller integrerte klebefelt. Disse tettelsøningene skal ha samme egenskaper som materialene de tetter, slik at dampsperreteip er damptett, mens vindsperreteip er dampåpen. Til nå er det nesten utelukkende gjort studier på teips bestandighet, styrke og lufttetthet (Fufa mfl. 2018; Langmans mfl. 2017; Sletnes og Frank 2020). I følge forskning anses teip som den mest egnede metoden for tetting av trebygg (Kalamees, Alev og Pärnalaas 2017).

Våren 2020 ble det gjennomført laboratorieforsøk av damptettheten til vindsperreteip (Johnsen mfl. 2021). Studien viser at vindsperreteip er betraktelig mer damptette enn vindsperrer og kan utgjøre en kondensrisiko i visse områder i konstruksjonen eller ved høy byggfukt. Dersom fuktinnholdet til trevirke overstiger 20 vekt-% øker risikoen for muggvekst som følge av damptette skjøter i vindsperran. I tillegg ble det oppdaget at to lag med vindsperreteip vil nesten doble dampmotstanden.

Formålet med denne masteroppgaven er å ta forskningen på damptetthet i limfelt videre. Oppgaven skrives i samarbeid med kompetanseprosjektene TightEN og Klima 2050 ved SINTEF og NTNU, og undersøker klebefeltet i kombinerte undertak og vindsperrer og hvorvidt dette området er like dampåpent som resten av sjiktet. Følgende forskningsspørsmål skal besvares:

1. Hvordan kan dampmotstanden til klebefelt i kombinerte undertak og vindsperrer bestemmes?
2. Hva er dampmotstanden til klebefelt i kombinerte undertak og vindsperrer som er kommersielt tilgjengelige?
3. Hva er konsekvensene av dampmotstanden i klebefelt i forbindelse med takkonstruksjoners evne til uttørking?

## 1.1 Avgrensning

Per dags dato er det 15 produkter med SINTEF Teknisk godkjenning (TG) av typen kombinerte undertak og vindsperrer med integrerte klebefelt. Av disse er 11 produkter testet i denne oppgaven. I tillegg finnes produkter på det norske markedet uten TG. Det betyr at kun et utvalg av eksisterende produkter er testet.

I fuktberegningene er det antatt at taket er perfekt oppført uten lekkasjer forårsaket av skader eller feilmonteringer. Parameterstudien er begrenset til simuleringstart, plassering av og damp-tetthet til klebefelt, byggfukt og uteklima. En utvidet studie kunne gitt enda større forståelse av hvilke kritiske forhold som fører til muggvekst. Eksempelvis burde beregningene inkludere flere lokasjoner for uteklima og ulike takhelninger.

## 1.2 Oppgavens oppbygging

En vitenskapelig artikkel utgjør hoveddelen av denne masteroppgaven og inkluderer metode for laboratorieforsøkene gjennomført for måling av dampmotstand til klebefelt, samt fukt- og muggvekstsimuleringer. Artikkelen er å finne i vedlegg A. Teori, metode og resultater som ikke får tilstrekkelig rom for utbrodering i artikkelen er tatt med i denne teksten.

Oppgaven er bygget opp av seks kapitler, der introduksjonen er det første. Kapittel 2 definerer teoretisk rammeverk som er nødvendig for forståelse av oppgaven. Det inkluderer prinsipiell oppbygging av luftede skråtak og typiske materialer. Kapittelet tar også for seg begreper og fenomener innenfor fukttransport og -problematikk. Teorigrunnlaget for muggvekst er presentert i korthet. Avslutningsvis i kapittelet er engelske begreper for kombinert undertak og dampsperre vist i tabell.

Kapittel 3 gjør rede for metoden benyttet til måling av dampmotstand i klebefelt og utførelse av fukt- og muggvekstberegninger. Første delen omhandler hvordan forsøkene er gjennomført i fuktlaboratoriet der dampmotstanden til klebefelt i kombinerte undertak og vindsperrer ble testet. Dette inkluderer sammensetning av prøvestykker, montering av prøvebokser og prosessen for måling. Siste delen tar for seg hvordan beregninger av fukttransport og muggvekst er gjennomført i henholdsvis WUFI 2D og WUFI Mould Index VTT. Det består av oppbygning av takkomponenten, valg av inputparametere og hvilke verdier som varieres.

I kapittel 4 presenteres resultatene fra laboratorieforsøk for alle produktene som er testet. I tillegg vises utfallet av muggvekstanalysene som er gjennomført basert på fuktsimuleringer.

Oppgavens forsøks spørsmål og resultater diskuteres i kapittel 5. Avslutningsvis konkluderes oppgaven i kapittel 6. Forslag til videre arbeid presenteres også i dette kapittelet.

Vedlegg A inneholder som nevnt den vitenskapelige artikkelen. I vedlegg B vises regnearket over tykkelser til hvert prøvestykke. Vedlegg C presenterer laboratorieresultatene for hvert produkt som er testet. Det siste vedlegget, D, inneholder grafer for muggvekstindeks for ulike parametervariasjoner.



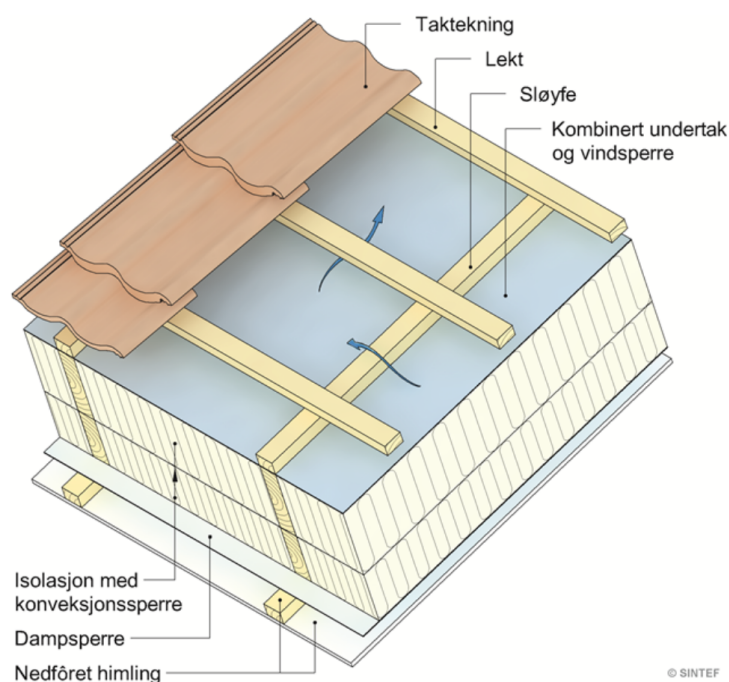
## 2 Teori

Kapittelet presenterer teorien som trengs for å besvare oppgavens forskningsspørsmål og som ikke er inkludert i den vitenskapelige artikkelen. Takkonstruksjonens oppbygning og typiske materialer forklares i korthet. Teorien bak fuktransport og -problematikk redegjøres for å danne grunnlaget til analytisk vurdering.

### 2.1 Materialer og oppbygning av isolerte skråtak med luftet tekning

Figur 2.1 viser en prinsipiell oppbygning av et isolert skråtak med luftet tekning. Taksperrene er konstruksjonens lastbærende komponent og plasseres med 600 mm senteravstand (Edvardsen og Ramstad 2014). Mineralull mellom taksperrene utgjør konstruksjonens varmeisolasjon. Tykkelsen på isolasjonen, og dermed også taket, bestemmes av U-verdikrav og varmekonduktiviteten til isolasjonsmaterialet. I henhold til byggeteknisk forskrift (TEK17) skal tak ha en U-verdi  $\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$  (DiBK 2017). Tabeller i Byggforskserien 471.013 (2003) anslår 350 mm isolasjon med varmekonduktivitetsevne  $0,04 \text{ W/mK}$  for å oppnå krav til U-verdi.

En konveksjonssperre deler isolasjonssjiktet i to og skal begrense naturlig konveksjon og risiko for kondens i isolasjonen (Edvardsen og Ramstad 2014). Isolasjonen bør ikke monteres før taksperrene har et fuktinnhold på under 20 vekt-% for at overskuddsfukt ikke blir forhindret.



**Figur 2.1:** Illustrasjon av oppbygningen av et isolert skråtak med luftet tekning (Byggforskserien 525.101 2021). Taket har én luftespalte og kombinert undertak og vindsperre.

Trematerialer er fuktsensitive og må beskyttes fra fuktighet fra innvendig og utvendig side. Dampsperran stopper fuktig inneluft å trekke inn i takkonstruksjonen. Forskjeller i inne- og utetemperatur fører til innvendig overtrykk og gjør takkonstruksjoner utsatt for fuktpåkjenninger

gjennom store deler av året (Byggforskserien 421.132 2018). Overtrykket skyldes at varm inneluft er lettere enn kald uteluft og er kjent som skorsteinseffekten. Størrelsen på overtrykket avhenger av romhøyde, temperaturforskjeller og luftlekkasjer. Det betyr at effekten er størst i de høyeste rommene og på de kaldeste vinterdagene.

På utvendig side hindrer undertak og vindsperre at regnvann og fukt trenger inn (Byggforskserien 525.101 2021). Undertak og vindsperre kan monteres som separate sjikt med to luftespalter eller som et kombinert sjikt med én luftespalte som vist i figur 2.1. Oppbygning med kombinert undertak og vindsperre er material- og tidsbesparende og derfor den mest brukte løsningen (Edvardsen og Ramstad 2014). Dette sjiktet må tilfredstille egenskapene til både undertak og vindsperrer. Det stilles krav til vindtetthet fra utsiden og dampåpenhet fra innsiden. I henhold til TEK17 er det ikke spesifisert høyeste tillatte dampmotstand, men at vindsperreren skal være “mest mulig dampåpen” (DiBK 2017). Etter anbefalinger fra SINTEF Byggforsk bør ikke undertak overstige 0,5 m i  $s_d$ -verdi (Byggforskserien 525.866 2009; Byggforskserien 573.121 2003). Sjiktet kan være av plate- eller rullprodukt. Fordelen med plateprodukter er at de bidrar med vindavstiving av konstruksjonen under bygging. Kombinerte undertak og vindsperrer på rull kan monteres både langs med eller på tvers av taksperrene. Ved montering langs med taksperrene klemmes skjøtene mellom sperre og sløyfe, mens dersom produktet monteres på tvers av sperrene benyttes lim til tetting i skjøtene. Montering på tvers av taksperrene er en effektiv metode og et økende antall produkter kommer i dag med integrerte klebefelt langs kantene.

## 2.2 Fukttransport

Nedbør, fukt fra inneluft og byggfukt er hovedkildene til fuktpåkjenninger i kombinerte undertak og vindsperrer (Byggforskserien 421.132 2018). Byggfukt defineres som overskudd fuktighet i materialene ved lukking av konstruksjonen. Mange materialer, spesielt av tre, inneholder mer fukt under bygging enn i bruksfasen når fuktigheten i materialene er i likevekt med innneklima (Byggforskserien 474.533 2021). Trematerialer har 6-8 vekt-% fuktighet ved likevekt med innneklima, men leveres med 18-25 vekt-% (Thue 2016). Det tilsier at 10-17 % må tørke ut gjennom konstruksjonen, hovedsaklig mot utvendig side. Konstruksjonen er derfor avhengig av et dampåpent sjikt ytterst. Tørkeprosessen kan ta flere år, og det er kritisk at byggfukt har mulighet til å tørke ut for å unngå sopp- og muggvekst i takkonstruksjonen (Geving og Thue 2002).

Innvendig dampsperre sørger for fukt fra inneluft ikke trekker inn i konstruksjonen. Likevel kan punkteringer og lekkasjer oppstå og det er essensielt at ytre del av konstruksjonen er tilstrekkelig dampåpen. I tillegg må det være et ventilert hulrom på utvendig side slik at konstruksjonen får selvuttørkingsevne (DiBK 2017). Ventilerte hulrom, ofte kalt luftespalter, gjør at nedbør som trenger gjennom taktekkingen effektivt kan dreneres bort.

Vanndampdiffusjon utgjør en av hovedmekanismene for fukttransport og er den mest aktuelle for kombinerte undertak og vindsperrer i denne oppgaven. Forskjeller i damptrykk fører til at vannmolekyler beveger seg gjennom porøse materialer slik at konsentrasjonen av damp jevnes ut (Thue 2016). I litteraturen er diffusjon av vanndamp angitt på mange måter, de vanligste er

presentert i tabell 2.1 (Geving og Thue 2002).

**Tabell 2.1:** Uttrykk som beskriver materialers diffusjonsegenskaper fra Geving og Thue (2002).

Begrep	Enhet	Definisjon
Diffusjonsekvivalent luftlagtykkelse	$s_d$ [m]	Tykkelsen stillestående luft som har lik diffusjonsmotstand som et materiale.
Vanndamppermeabilitet	$\delta_v$ [ $m^2/s$ ]	Transport av vanndamp gjennom et materiale. Økt vanndamppermeabilitet fører til økt damptransport.
	$\delta_p$ [ $kg/(m^2*s*Pa)$ ]	
Vanndamppermeans	$W_v$ [m/s]	Ledningstall for vanndamp for tynne materialsjikt. Transport av vanndamp gjennom et materiale med gitt tykkelse.
	$W_p$ [ $kg/(m^2*s*Pa)$ ]	
Vanndampmotstand	$Z_v$ [s/m]	Motstand mot gjennomtrengning av vanndamp på grunn av trykkforskjell. Invers verdi av permeans.
	$Z_p$ [ $(m^2*s*Pa)/kg$ ]	

Fukttransport ved vanndampdiffusjon alene kan beskrives med følgende ligning (NS-EN ISO 13788: 2012):

$$g = \frac{\delta_0}{\mu} \frac{\Delta p}{d} = \delta_0 \frac{\Delta p}{s_d}, \quad (kg/(m^2s)) \quad (2.1)$$

I ligning 2.1 er  $g$  diffundert dampmengde per tids- og flateenhet.  $\Delta p$  er differanse i trykk, mens  $\mu$  er vanndampmotstandsfaktor og  $d$  er sjiktets tykkelse.

Produkter og materialer graderes etter damp tetthet fra svært dampåpent til svært damptett. Graderingen er presentert i tabell 2.2. Merk at enhetene for permeans og dampmotstand er justert til samme størrelsesorden som  $s_d$ -verdiene.

**Tabell 2.2:** Grader av diffusjonstetthet for materialsjikt. Hentet fra Geving og Thue (2002).

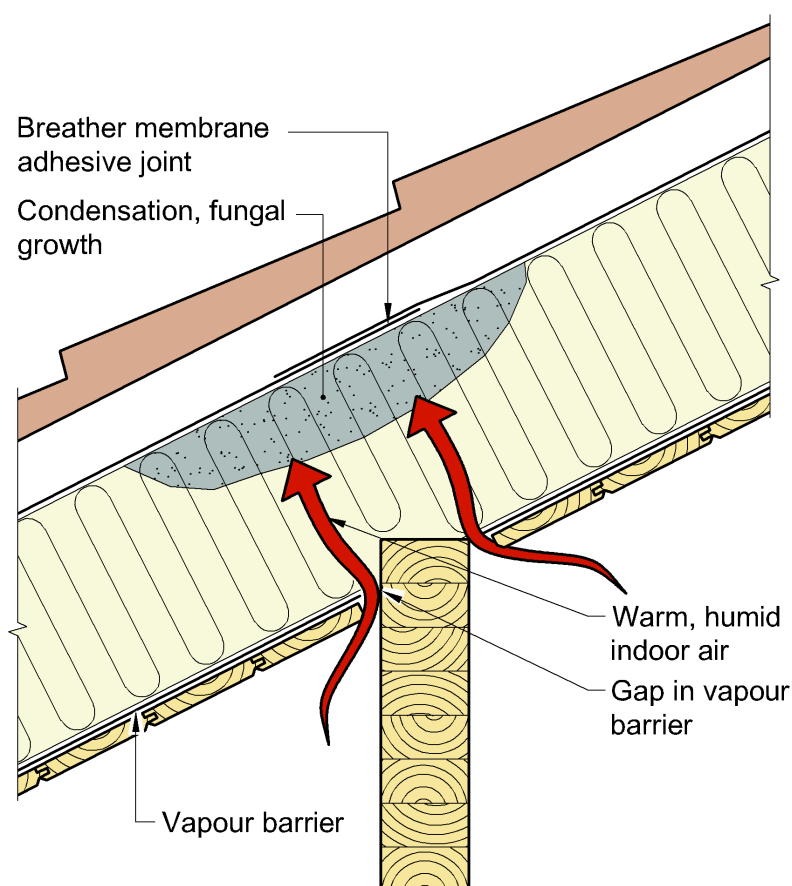
Diffusjonstetthet	Permeans $W_p$ [ $g/(m^2*h*kPa)$ ]	Dampmotstand $Z_p$ [ $(m^2*h*kPa)/g$ ]	Ekvivalent luftlagtykkelse $s_d$ [m]
Svært diffusjonsåpent	> 10,0	< 0,1	< 0,07
Diffusjonsåpent	1,0 - 10,0	0,1 - 1,0	0,07 - 0,7
Diffusjonstett	0,1 - 1,0	1 - 10,0	0,7 - 7,0
Svært diffusjonstett	< 0,1	> 10,0	> 7,0

Luftlekkasjer er en annen form for vanndamptransport og skyldes utettheter i ytterkonstruksjonen (Edwardsen og Ramstad 2014). Skorsteineffekten vil lede varm og fuktig inneluft gjennom utettheter i taket. Når fuktig inneluft beveger seg gjennom takkonstruksjonen fra varm til kald side kan store mengder kondens oppstå. Denne formen for fukttransport skyldes som oftest feil i utførelsen av damp- og vindspærremontering.

## 2.3 Fuktproblematikk

Det anslås at omkring 75% av alle byggskader skyldes fukt, enten i form av nedbør, fra fuktig inneluft eller fra byggfukt (Bunkholt mfl. 2021; Byggforskserien 421.132 2018; Thue 2016). Store mengder og ugunstige plassering av fukt kan føre til sopp- og muggvekst, forverret innelima og økt energibruk (Geving og Thue 2002). Bygg bør i størst mulig grad prosjekteres slik at fukttilførselen er kontrollert (Thue 2016). I løpet av de siste hundre årene har temperatur og nedbør økt med omtrent 20%, og det forventes at økningen vil fortsette fremover (Miljøverndepartementet 2013). Det er derfor viktig at byggverk prosjekteres for fremtidens klimapåkjenninger og unngår økning i fuktrelaterte byggskader.

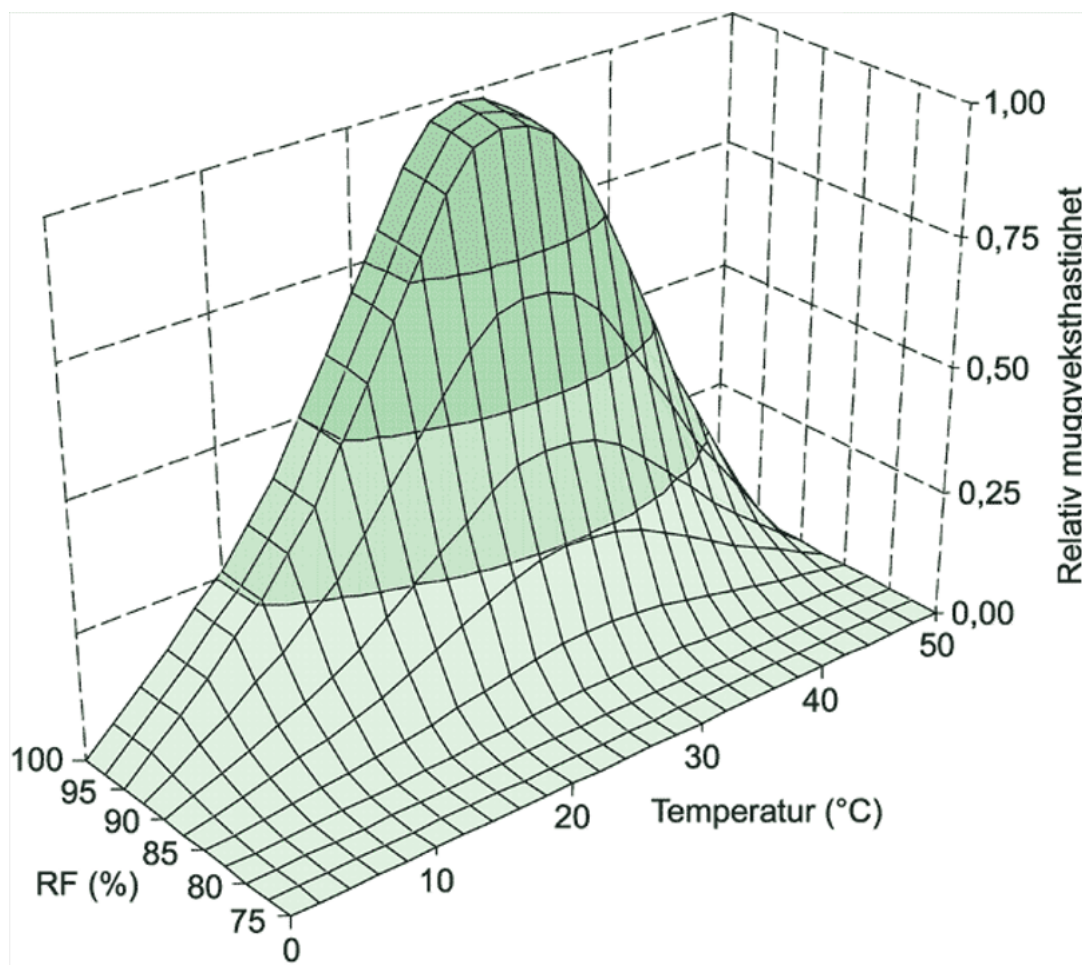
Det er ønskelig at nedbør ledes bort fra bygget så fort som mulig uten å trenge inn i konstruksjonen. På samme måte er det å foretrekke at fuktig inneluft skiftes ut gjennom vifter og ventiler, slik at fuktigheten ikke trekker inn i tak og vegger. Det er også avgjørende at materialene har tilstrekkelig fuktbestandighet. I figur 2.2 vises det hvordan lekkasjer i dampsperreren kan føre til at fuktig inneluft siger inn i takkonstruksjonen. I illustrasjonen er det en fuktoppsamling på undersiden av en skjøt i kombinert undertak og vindsperrsjiktet. Dersom skjøtene ikke er tilstrekkelig dampåpne kan den oppsamlede fukten føre til sopp- og muggvekst.



**Figur 2.2:** Illustrasjon av fuktoppsamling under klebeskjøt i kombinert undertak og vindsperre, adaptert fra Byggforskserien 421.132 (2018).

## 2.4 Muggvekst

Mugg er soppvekster som kan produsere soppsporer og giftstoffer, og kan skade både konstruksjonen i seg selv og brukerne av bygget (Byggforskserien 701.401 2005). Soppsporer finnes naturlig over alt i luften og kan utvikle seg til muggvekst dersom de kommer i kontakt med overflater med gunstige vekstbetingelser. Sopp trenger næring fra organiske materialer, vann eller fuktighet, temperatur og tid for å vokse (Geving og Thue 2002). Figur 2.3 viser hastigheten for muggvekst som en funksjon av relativ fuktighet (RF) og temperatur.



**Figur 2.3:** Graf for relativ muggveksthastighet gitt som funksjon av temperatur og RF (Byggforskserien 701.401 2005).

Dersom konstruksjonen ikke har mulighet til å tørke ut kan det oppstå sopp- og muggvekst i fuktsensitive materialer. Muggvekst kan oppstå på de fleste materialer som er utsatt for relativ fuktighet over 80% i en lengre periode (Byggforskserien 421.132 2018). Slik figur 2.3 viser er muggvekst også temperaturavhengig. Muggsoppen går i dvale når temperaturen nærmer seg 0 °C og muggveksten stopper opp. Dersom temperaturen stiger mot 40-50 °C dør de fleste muggsopper.

## 2.5 Begrepet “kombinert undertak og vindsperre” utenfor Skandinavia

Det har vært en gjennomgående utfordring i denne oppgaven å finne et engelsk begrep for det som på norsk betegnes “kombinert undertak og vindsperre”. Utfordringen kan skyldes at produktet er mindre brukt i land med andre klimapåkjenninger enn Norge. Totrinnstetting er et godt innarbeidet prinsipp her til lands og er avgjørende for håndtering av fukt og nedbør. Kombinert undertak og vindsperre spiller en sentral rolle i takkonstruksjoner med totrinnstetting. Utenfor Skandinavia er klimaet annerledes, hvilket påvirker takoppbygningen og bruk av kombinert undertak og vindsperre.

I forbindelse med litteraturstudiet gjennomført som en del av prosjektoppgaven, ble det funnet ulike engelske uttrykk for kombinerte undertak og vindsperrer. Uttrykkene er hentet fra produsenter av kombinerte undertak og vindsperrer, og ble brukt for å finne internasjonale artikler om egenskapene til klebefelt i slike produkter. I tabell 2.3 er det listet opp de engelske versjonene av uttrykket “kombinert undertak og vindsperre” benyttet av kjente, store leverandører.

**Tabell 2.3:** Produsenters uttrykk for kombinerte undertak og vindsperrer.

<b>Uttrykk</b>	<b>Produsent</b>	<b>Land</b>
Breathable membrane Diffusion-open layer	Siga (Vogdt 2020)	Sveits
Underlay membrane and roof protection film	Würth (Würth 2022)	Tyskland
Breathable roof underlays	Masterplast (Masterplast Group 2019)	Ungarn
Vapour permeable membrane Pitched roof breather membrane	BMI (BMI Redland 2019)	Storbritannia
Breather membrane	DuPont (DuPont 2018)	USA

## 3 Metode

Kapittelet tar for seg metodene brukt i henholdsvis laboratorieforsøk og fuktsimuleringer. Den første delen beskriver hvordan dampmotstand til klebefelt til kombinerte undertak og vindsperrer kan måles. Andre del av metodekapittelet redegjør for valgene tatt i forbindelse med beregninger i WUFI.

### 3.1 Laboratorieforsøk

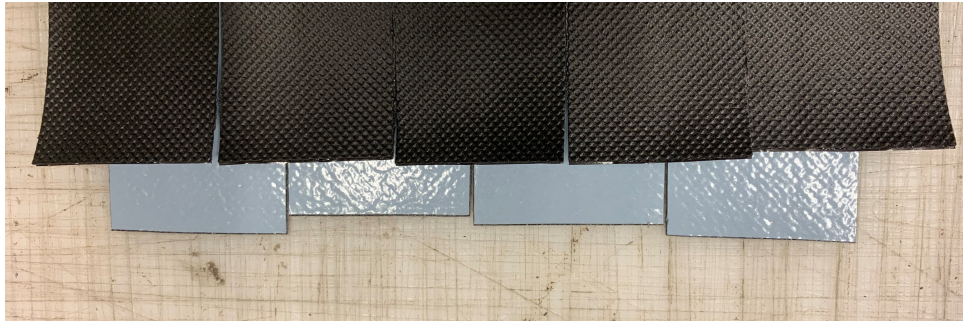
Dampgjennomgang i klebefelt til kombinerte undertak og vindsperrer måles etter NS-EN ISO 12572: (2016), kjent som *koppmetoden*. Metoden består av sirkulære kopper der materialet som testes fungerer som lokk. Koppene fylles med saltløsning og lokket forsegles til koppen slik at prøven blir lufttett. I kontrollerte omgivelser veies prøveboksene jevnlig for å måle mengden fukt som har diffundert gjennom testmaterialet.

De elleve testede produktene er gitt i tabell 3.1. Ni av elleve produkter er sertifisert med SINTEF Teknsik Godkjenning (TG) (SINTEF Certification 2022). Produktene er fått fra lageret til SINTEF Community eller kjøpt hos byggevareforhandler og, er anonymisert i denne oppgaven. Alle de testede produktene har en limkant på overside og en på underside på motsatt ende. Foruten produkt F er bredden på limkantene like brede for over- og undersiden. Produkt F har limbredde på 45 mm på oversiden og 90 mm på undersiden.

**Tabell 3.1:** Testede produkter og deres relevante egenskaper gitt av TG eller leverandør. \*Produkt F har 90 mm bredt klebefelt på oversiden, og 45 mm på undersiden.

Identifikasjon	Bredde klebefelt	Tykkelse prøvestykke
A	60 mm	1,83 mm
B	50 mm	2,10 mm
C	40 mm	1,32 mm
D	45 mm	1,63 mm
E	75 mm	1,80 mm
F	90 mm / 45 mm*	1,33 mm
G	50 mm	1,57 mm
H	50 mm	1,61 mm
I	70 mm	1,34 mm
J	30 mm	1,58 mm
K	50 mm	0,843 mm

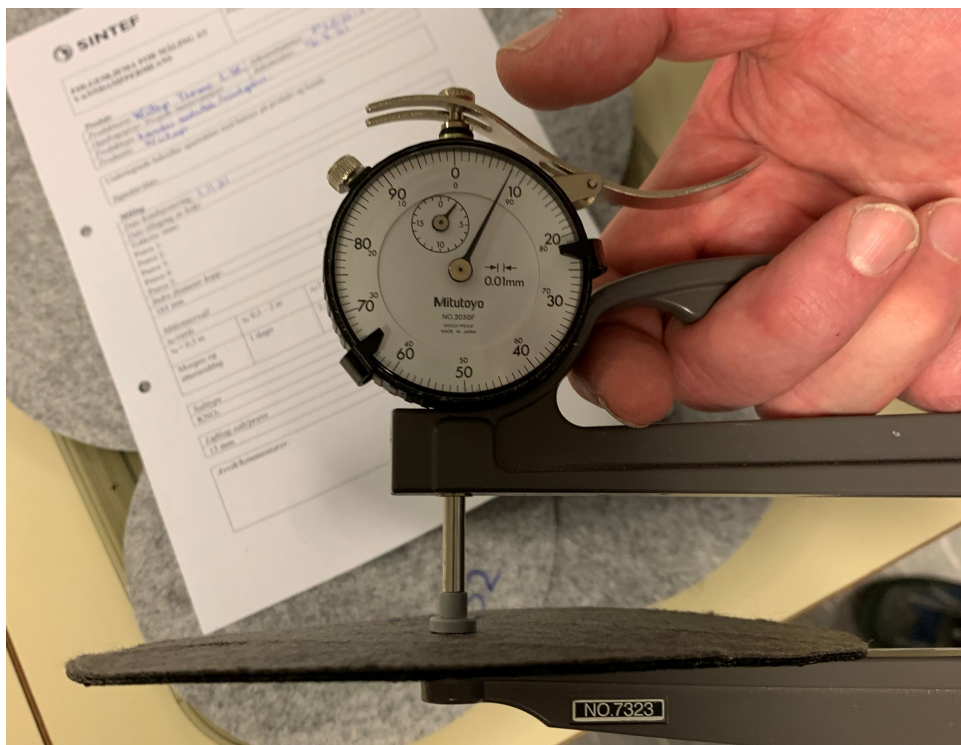
200 mm lange strimler av klebefeltet skjæres ut fra produktrullen. For å unngå menneskelige feil og unøyaktigheter kuttet kantene med en stansemaskin. Stanseformen legges like innenfor klebefeltet, hvilket gjør at limstrimlene blir noe smalere enn bredden oppgitt i tabell 3.1. Strimlene limes mot hverandre med minimum 5 mm overlapp, men helst en halv strimmelbredde som vist i figur 3.1.



**Figur 3.1:** Limstrimler lagt parallelt med omtrentlig en halv strimmelbredde overlapp. Bildet er tatt etter stansing, men før sammenliming.

Etter at over- og underside er limt sammen, stanses prøvestykkene ut med en sirkulær form. Prøvestykkene får en diameter på 174 mm. Det lages seks prøvestykker fra hvert produkt, der fem av disse monteres i prøvebokser, mens den siste fungerer som reserve.

Tykkelsen til prøvestykkene måles ved hjelp av et micrometer, instrumentet som vist i figur 3.2. Det tas fem mål på tilfeldige steder på hvert prøvestykke. De målte tykkelsene er presentert i sin helhet i vedlegg B. Basert på disse målingene beregnes gjennomsnittet av seriens tykkelse. Tykkelse oppgis i regnearket som benyttets til beregning av dampmotstand.



**Figur 3.2:** Måler tykkelse av prøvestykkene før montering av prøvebokser.

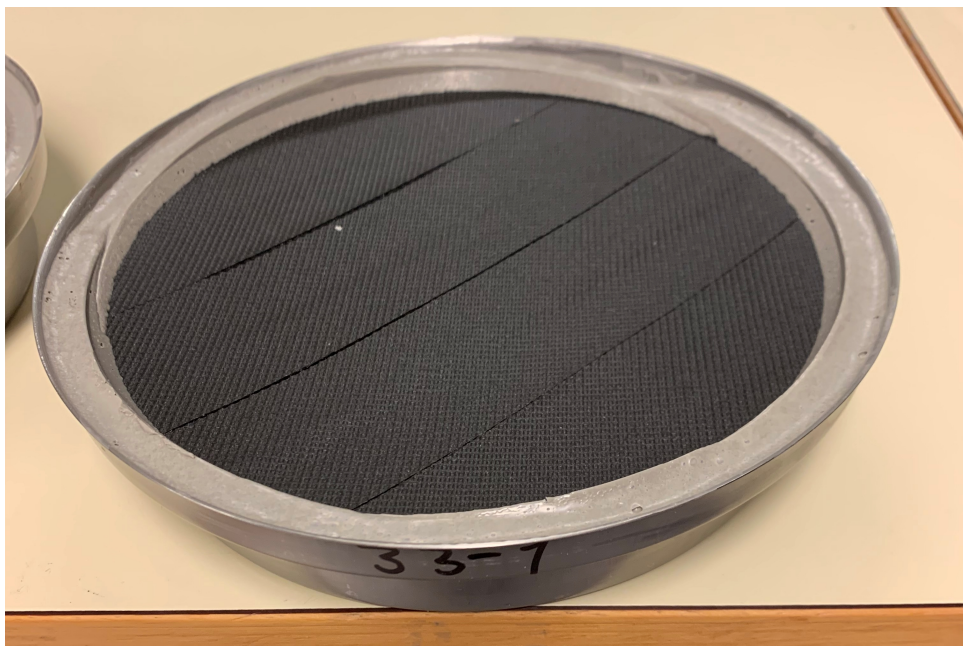
Innen prøveboksene monteres, kondisjonerer prøvestykkene i fuktlaboratoriet. Det vil si at prøvestykkene hviler i det kontrollerte rommet til materialet er i likevekt med inn klima. Fuktlaboratoriet har et stabilt klima innenfor kravene til NS-EN ISO 12572: (2016), med temperatur på  $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$  og  $(50 \pm 5) \% \text{RF}$ .



Før prøvestykkene plasseres i prøveboksene, fylles koppene med kaliumnitrat,  $\text{KNO}_3$ . Væsken skal fylles til det er 15 mm luftrom opp til prøvestykket. I hulrommet mellom væsken og prøvestykket vil luften oppnå 94 % RF ved 23 °C. For å forsegle prøveboksen benyttes en blanding av 300 g modelleire og 60 g bivoks. Forseglingsmassen helles mellom koppkanten og en metallring, se figur 3.3. Etterhvert som forseglingsmassen herder kan ringen fjernes og prøven er ferdig montert, se figur 3.4.



**Figur 3.3:** Forseglingsprosessen. Metallringen sørger for at forseglingsmassen ikke trekker inn i prøveområdet.



**Figur 3.4:** Ferdig montert prøveboks. Når forseglingsmassen er herdet, fjernes metallringen og prøveområdet måler nå 164 mm.

## Måleintervall

Tidsintervall mellom måling av vektreduksjon avhenger av forventet dampmotstand, produktets karakteristikk eller justeres underveis i testperioden (NS-EN ISO 12572: 2016). I tabell 3.2 vises korrelasjonen mellom  $s_d$ -verdi og måleintervall. Tabellen er hentet fra følgeskjema som hører med fuktlaboratoriet til SINTEF. Alle seriene startet med 7 døgns måleintervall basert på antagelsen om at klebefelt er damptette. For produktene med  $s_d$ -verdi  $< 2$  m, justeres måleintervallet til 1 døgns.

**Tabell 3.2:** Ekvivalent luftlagtykkelse og måleintervall fra følgeskjema.

$s_d$ -verdi	$< 0,5$ m	0,5 - 2 m	2 - 10 m	$> 10$ m	$> 50$ m
Måleintervall	Morgen og ettermiddag	1 døgns	2 - 7 døgns	7 - 14 døgns	14 - 28 døgns

Prøveboksene veies på presisjonsvekt inne i fuktlaboratoriet. Vekten er omkranset av et glassbur slik at veiingen er beskyttet fra luftbevegelser, se figur 3.5.



**Figur 3.5:** En prøveboks på presisjonsvekt

Når en serie med produkter har minimum 5 påfølgende veiinger med vektendring innenfor  $\pm 5\%$  fra gjennomsnittet er forsøket ferdig. Forsøkets varighet avhenger derfor av hvor raskt en prøve oppnår stabile vektendringer. I dette laborieforsøket varierer lengden fra 4 uker til 11 uker.

## 3.2 Fuktberegninger

For å undersøke konsekvensen av klebefelt med høy dampmotstand, gjennomføres det beregninger i programmet WUFI 2D (versjon 4.3). Programmet beregner varme- og fukttransport for bygningskomponenter basert på klimadata og materialers fuktkapasitet (Fraunhofer IBP 2019a). Formålet med beregningene er å vurdere hvorvidt uttørkingsforholdene i en takkonstruksjon påvirkes av klebefeltene i kombinerte undertak og vindsperrer.

Konsekvensvurderingen undersøker om damptette klebefelt kan påvirke uttørkingen av byggfukt i de mest ugunstige scenario. Dette kommer fram i parametervalg som blant annet damptetthet til klebefelt, lokasjon for uteklima og orientering. Dersom damptette skjøter ikke forårsaker fuktproblemer med disse gitte forholdene kan det antas at limskjøter ikke vil være et hinder for fukttransport med andre forhold eller med andre produkter.

### 3.2.1 Inputparametere

Alle beregningene er gjort med samme modell og med like inputparametere som utgangspunkt. Det er gjennomført innledende beregninger for å bestemme visse inputparametere som simuleringstid og numerisk rutenett.

#### Simuleringstid

Sammenligning av eksakte beregninger der den ene har simuleringstid på ett år, mens den andre simulerer to år viser at konstruksjonens fuktinnhold er stabilt etter ett år. Dette påvises med at maksimum RF i det første året er høyere enn maksimum RF i år to. Påfølgende simuleringer beregnes derfor over et år, 8760 timer. Redusert simuleringstid medfører også redusert beregningstid for WUFI 2D.

#### Numerisk inndeling

En annen måte å redusere beregningstiden på er ved å begrense numerisk inndeling. En grovere inndeling vil gi mindre presise resultater. Nøyaktigheten kan vurderes basert på antall konvergensfeil i en beregning. Det er valgt grov numerisk inndeling i x-retning ettersom fukt beveger seg hovedsaklig i y-retning i dette beregningseksempelet. Numerisk inndeling i y-retning er beholdt til medium. Grovere inndeling medfører ikke økning i antall konvergensfeil og antas tilstrekkelig nøyaktig. Både medium og grov numerisk inndeling i x-retning gir to konvergensfeil, hvilket er akseptabelt. Dersom en beregning gir mer enn 10 konvergensfeil bør numerisk inndeling justeres til et finere rutenett og beregningen kjøres på nytt.

#### Simuleringsstart

Hastigheten av uttørkingen er avhengig av klima og det er derfor valgt å beregne fuktakkumulasjon ved lukking av bygget på våren og på høsten, henholdsvis 1. april og 1. september. Ved tett bygg 1. april vil uttørkingen starte momentant og i hovedsak forgå påfølgende sommer. Varme

temperaturer medfører hurtig tørking, men også gunstige forhold for muggvekst ved begrensede luftutskiftninger. Dersom taket lukkes på høsten forhindres uttørkingen av lave temperaturer og tørkeprosessen starter først når temperaturen tar seg opp utover våren. I områder med milde vintre medfører dette en lengre periode der temperatur- og fuktbetingelsene for muggvekst er oppfylt. Simulering som er like bortsett fra simuleringsstart 1. april eller 1. september gjennomføres for å undersøke hvilket tilfelle som er verst. Den startdatoen som gir størst utslag for muggvekst vil bli benyttet som standardvalg for videre beregninger.

## **Uteklima**

Simuleringen er satt til Kristiansund, en lokasjon med ubeleilig klima med tanke på fukt og uttørking. Klimaet i Kristiansund består av milde vintre, kjølige sommere og nedbør gjennom hele året (Fraunhofer IBP 2019a). Nærhet til kysten medfører høy luftfuktighet. Kombinasjonen av disse klimapåkjenningene utgjør forhold der muggvekst og råte kan florere. For sammenligning er det også gjennomført simuleringer med uteklima i Oslo, Tromsø og Trondheim.

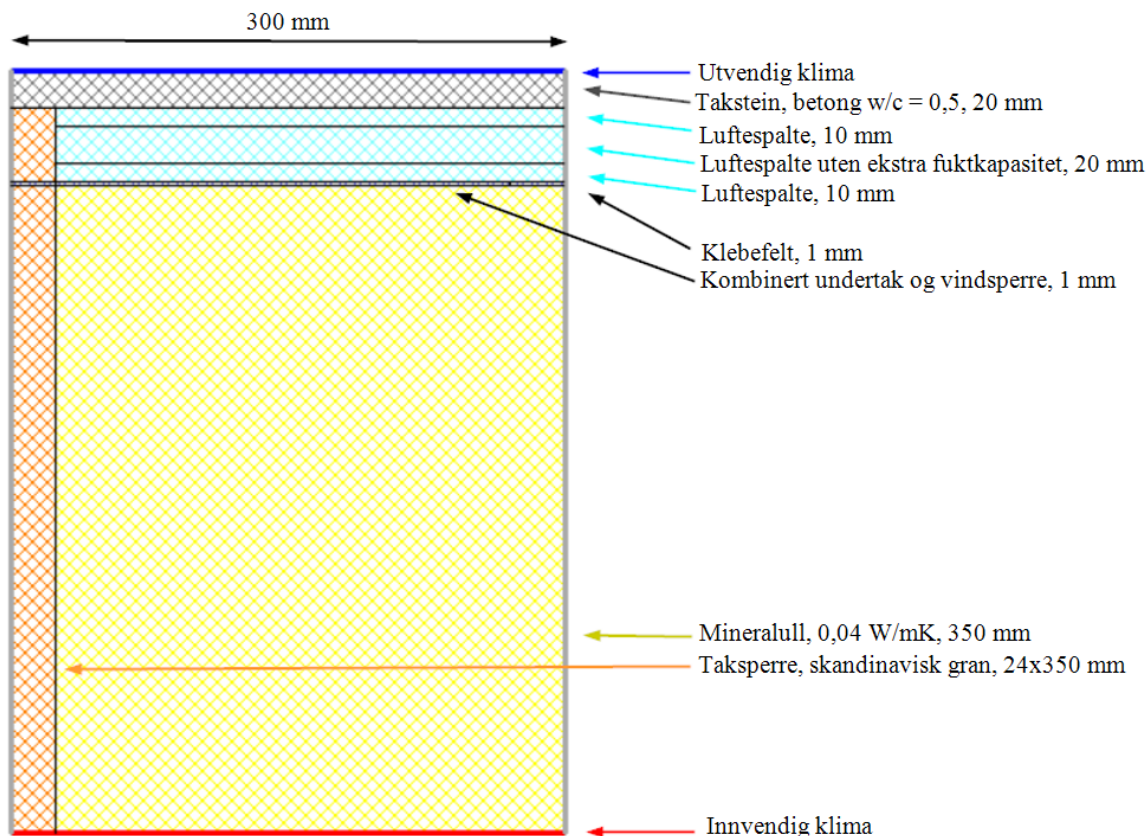
## **Orientering, helning og inneklima**

For å oppnå mest mulig ugunstig uttrøkningsforhold er taket vendt mot nord i alle beregningene. Takkonstruksjonen har en helning på 30 °. Basert på NS-EN ISO 13788: 2012 er inneklima satt til fuktklasse 2 med 4 g/m<sup>3</sup> innvendig fukttilskudd. Gjennomsnittlig innetemperatur er satt til 20 °C.

### **3.2.2 Oppbygning av taket**

I alle simuleringene er bygningskomponenten bygget opp likt, som vist i figur 3.6. Utsnittet på 300 mm er halvparten av en standard senteravstand og er symmetrisk om adiabatisk grense. Antagelsen om symmetri er en forenkling og stemmer for alle materialer utenom klebefeltet. Med denne oppbyggingen vil det være klebeskjøt ved hver 600 mm, mens i virkeligheten er det 1200 mm mellom klebefeltene. Denne forenklingen er gjort for å begrense beregningstiden. De siste syv simuleringene tester muggvekstforholdene dersom senteravstanden halveres. I de beregningene er komponenten 150 mm, men ellers lik og antas fortsatt å være symmetrisk om adiabatisk grense.

I denne takoppbyggingen er kombinert undertak og vindsperre montert langs taksperrene. Kombinerte undertak og vindsperrer med klebefelt skal vanligvis monteres på tvers av sperrene, men kan også monteres på langs. For å simulere fukttransport med klebefelt på tvers av sperrene vil det kreves simulasjon i tre dimensjoner. Med andre ord, er monteringsretningen valgt fordi dette lar seg gjennomføre med WUFI 2D.



**Figur 3.6:** Oppbygging av bygningskomponent i WUFI 2D.

På innvendig side er konstruksjonen avsluttet med et overgangssjikt til inneklimate. Dampsperre, påføring og innvendig kledning er utelatt for å begrense beregningstiden. Denne forenklingen vil ikke påvirke uttørking i ytre del av konstruksjonen.

Plasseringen av klebefeltet varierer mellom over taksperran eller over isolasjonen midt mellom sperrene. Det vil si, enten helt til venstre eller helt til høyre i figur 3.6. Det er benyttet samme materiale for klebefeltet til kombinert undertak og vindsperre i alle beregningene. Alle materialegenskapene er derfor like foruten dampmotstanden. Det er benyttet avrundet verdier for dampmotstand i klebefeltet, 32 m, 18 m og 11 m.

Slik figuren viser er luftespalten delt inn i tre lag, der to av dem har ytterligere fuktkapasitet. Det midterste laget på 20 mm har ikke ekstra fuktkapasitet. Denne oppdelingen gir en bedre etterligning av luftespaltens drenerings- og tørkeeffekt.

Taket er valgt med 350 mm tykt isolasjonslag og taksperre av konstruksjonsvirke. Det gir en bygningskomponent med relativ høy byggfukt, men er likevel en reell takoppbygging. Trevirke har 20 % byggfukt i standardkonstruksjonen. Det vil si 20 vekt-% fuktighet ved lukking av bygget. 20 % byggfukt er øvre grense for hva som anbefales for luftede tretak (Byggforskserien 474.533 2021). Vanligvis leveres trevirke med 18 % byggfukt. Det er derfor også gjennomført simuleringer med lavere byggfukt, 18 % og 15 %.

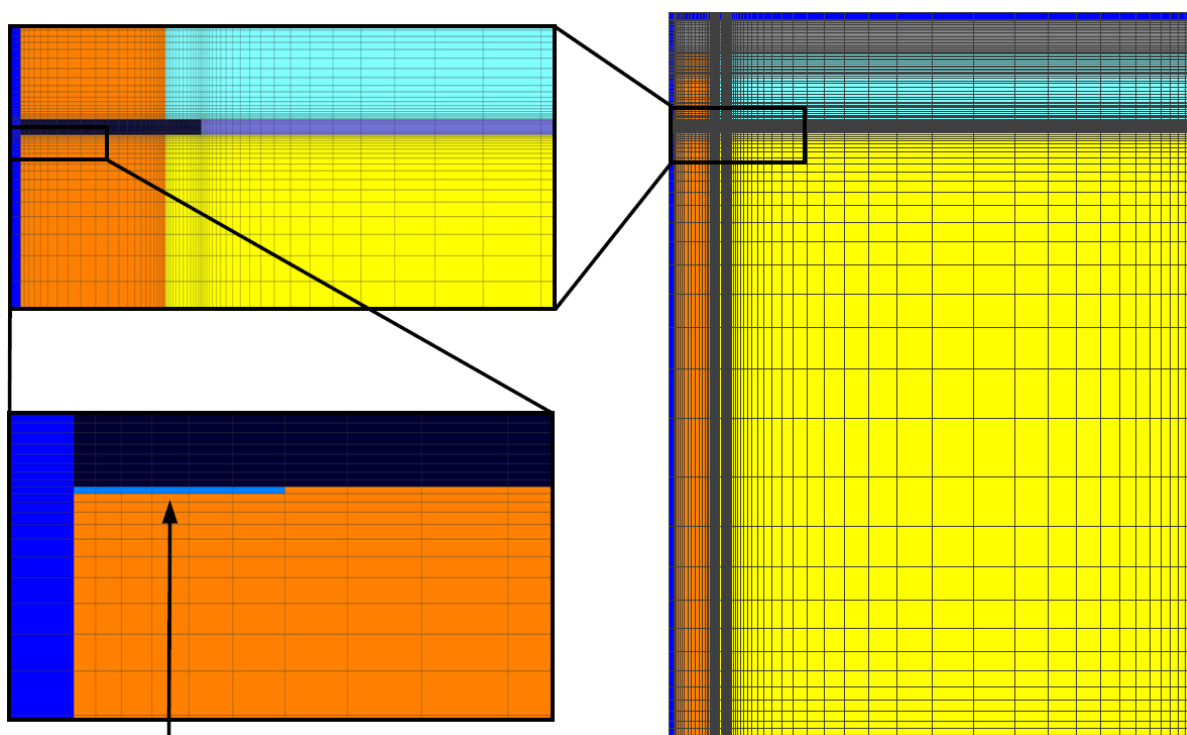
Materialenes hygrotermiske egenskaper er hentet fra databasene i WUFI og er gjengitt i tabell 3.3. Diffusjonsmotstanden til klebefelt er satt til resultatene fra laboratorieforskene.

**Tabell 3.3:** Materialeegenskaper (Fraunhofer IBP 2019a).

Materiale	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Varmekonduktivitet [W/mK]	Diffusjonsmotstand [-]
Skandinavisk gran	390	0,13	108
Mineralull	60	0,04	1,3
Kombinert undertak og vindsperre	210	2,3	99
Klebefelt	210	2,3	32 000, 18 000 og 11 000

### 3.2.3 Uthenting av resultater

Hver node i komponenten har sine tilhørende verdier. Resultatverdiene kan hentes ut fra en node eller gjennomsnittet av flere noder. Ved endt simulering hentes det ut timesverdier for temperatur og RF. Området som skal undersøkes er like på innsiden av klebeskjøten. Det er derfor valgt monitorposisjon i nodene nærmest klebefeltet mot adiabatisk grense. I figur 3.7 vises det hvilke seks noder som velges dersom klebefeltet er plassert over taksperran. Dersom klebefeltet er over isolasjonen velges seks noder ved motsatt adiabatisk grense. Monitorposisjonen er den samme for uthenting av data for temperatur, RF og muggvekst.



**Figur 3.7:** Eksempel på monitorposisjon. Her med klebefelt over taksperre

### 3.3 Muggvekstanalyse

Beregninger av muggvekst er gjennomført i tilleggsprogrammet WUFI Mould Index VTT. Programmet simulerer muggvekst basert på matematiske modeller (Fraunhofer IBP 2019b; Viitanen og Ritschkoff 1991). Resultatene fra fuktberegninger i WUFI 2D undersøkes med hensyn på risiko for muggvekst. Modellen for muggindeks skalerer vekstraten slik gjengitt i tabell 3.4. Innvendige overflater eller materialer som er i direkte kontakt med inneluft bør være under muggindeks 1. Det betyr at det aldri skal forekomme muggvekst på innvendige overflater, til og med ikke på mikroskopisk nivå. På den ytre delen av konstruksjonen kan det tillates høyere muggindeks, men den bør ikke overskride muggindeks 3. Dette kriteriet vil være avgjørende for konsekvensevaluering av dampette klebeskjøter.

**Tabell 3.4:** Skala for muggindeks etter VTT-modellen (Fraunhofer IBP 2019b; Viitanen og Ritschkoff 1991).

Muggindeks	Beskrivelse av muggvekst
0	Ingen muggvekst
1	Små mengder mugg på overflate (mikroskopisk)
2	Flere lokale muggkolonier på overflate (mikroskopisk)
3	<10 % dekning av synlig mugg på overflate, eller <50 % mikroskopisk dekning
4	10 - 50 % dekning av synlig mugg på overflate, eller >50 % mikroskopisk dekning
5	Mye muggvekst på overflate, >50 % synlig dekning
6	Mye og tett muggvekst på overflate, rundt 100 % synlig dekning

De fire følgende faktorene er avgjørende ved beregning av muggvekst; relativ fuktighet, temperatur, eksponert tid og materialets fuktsensitivitet. Data inneholdende disse faktorene hentes ut fra beregnede resultater i WUFI 2D. Simuleringstiden må være minimum ett år.

Hvorvidt konstruksjonen er fuktsensitiv avhenger av materialene, se tabell 3.5. For denne takkonstruksjonen er sensitivitetsskassen satt til "Sensitiv". Det er valgt høvlet bartre i muggvekstanalysene da taket er bygget opp av taksperer av gran. Reduksjonsfaktor forteller om avtagende muggindeks dersom forholdene for muggvekst opphører. For denne konstruksjonen er det valgt "Relativ reduksjon".

**Tabell 3.5:** Sensitivitetsskasser (Fraunhofer IBP 2019b).

Sensitivitetsklasse	Materialer
Veldig sensitiv	Ubehandlet treverk inneholder store mengder næringsstoffer for biologisk vekst
Sensitiv	Høvlet treverk, produkter dekket av papir, trebaserte plater
Medium motstandsdyktig	Sement- eller plastbaserte materialer, mineralfiber
Motstandsdyktig	Glass- og metallprodukter, materialer med effektive beskyttende behandling

WUFI Mould Index VTT benytter trafikklysgredning for å evaluere muggvekstforholdene i en konstruksjon. Slik tabell 3.6 presenterer er det strengere krav for muggvekst på overflater i direkte kontakt med inneluft enn for materialer inni konstruksjonen. For beregningseksempellet med klebefelt til kombinerte undertak og vindsperrer er det risiko for muggvekst inni konstruksjonen som evalueres.

**Tabell 3.6:** Trafikklysevaluering benyttet i WUFU Mould Index VTT (Fraunhofer IBP 2019b; Viitanen og Ritschkoff 1991).

	<b>Muggvekst</b>		<b>Kommentar</b>
	Innvendig overflate	Inni konstruksjonen	
<b>Grønn</b>	$\leq 1$	$\leq 2$	Vanligvis akseptabelt
<b>Gul</b>	1 - 2	2 - 3	Krever videre vurdering/undersøkelse
<b>Rød</b>	$> 2$	$> 3$	Vanligvis ikke akseptabelt



### 3.4 Oppsummering av startbetingelser

Valgte parametere for simuleringsberegninger i WUFI 2D og WUFI Mould Index VTT er presentert i tabell 3.7. Tabellen oppsummerer parameterene i standardkonstruksjonen og hvilke parametere som varieres.

**Tabell 3.7:** Inputparametere i WUFI 2D og Mould Index.

Parametere i WUFI 2D		Standardkonstruksjon	Variasjoner
Simuleringsstart		1. september	1. april
Simuleringstid		1 år (8760 timer)	
Numerisk rutenett	X-retning	Grov	
	Y-retning	Medium	
Plassering klebefelt		Over takspærre	Over isolasjon
$s_d$ -verdi klebefelt		32 m	18 m, 11 m
Uteklima		Kristiansund	Oslo, Tromsø, Trondheim
Byggfukt		20 %	18 %, 15 %
Senteravstand		600 mm	300 mm
Orientering		Nord	
Takvinkel		30°	
Absorptans		0,8	
Innetemperatur		20 °C	
Innvendig fukttilskudd		4 g/m <sup>3</sup>	
Parametere i Mould Index			
Sensitivitetsklasse		Sensitiv	
Materialklasse		Relevant reduksjon	
Overflate		Plan	
Tremateriale		Bartre	
Eksponeringsklasse		Innvendig overflate uten direkte kontakt med inneluft	



## 4 Resultater

Kapittelet presenterer resultater fra laboratorieforsøket og fuktsimuleringen. Først sammenlignes labresultatene for de to produktene som er testet på nytt. Deretter legges det fram resultater for hvert produkt som er testet i forbindelse med denne oppgaven. Videre presenteres resultatene fra fuktsimuleringer i WUFI 2D. Til slutt vises resultatene fra muggvekstanalysen gjennomført i WUFI Mould Index VTT.

### 4.1 Sammenligning av resultater for evaluering av metode

Under prosjektoppgaven ble metoden testet ved å gjennomføre prøver på tre produkter av kombinerte undertak og vindsperrer på det kommersielle markedet i Norge. To av disse prøvene gav stabile resultater og ble regnet som vellykkede forsøk. Det tredje produktet hadde svært varierende resultater og forsøket gav ikke et entydig svar på klebefeltets dampåpenhet. For å verifisere metoden er to av produktene fra prosjektoppgaven testet på nytt i forbindelse med masteroppgaven. Det mest stabile produktet ble valgt for å sikre at metoden er etterprøvable og at resultatet fra prosjektoppgaven er korrekt. Produktet med sprikende resultater og ikke-konkluderbar dampmotstand ble valgt for å undersøke eventuelle feilkilder. Resultater av dampmotstand er sammenlignet i tabell 4.1 og 4.2. Prøvestykkene er laget av materialer fra samme rull i begge forsøkene.

**Tabell 4.1:** Sammenligning av forsøksresultatene fra prosjekt- og masteroppgaven for produkt B.

Produkt B		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 4	Prøve 5	Middel
$s_d$ -verdi [m]	Høst 2021	3,4	14	8,4	8,6	15	<b>7,5</b>
	Vår 2022	11	3,5	13	13	12	<b>8,1</b>

**Tabell 4.2:** Sammenligning av forsøksresultatene fra prosjekt- og masteroppgaven for produkt I.

Produkt I		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 4	Prøve 5	Middel
$s_d$ -verdi [m]	Høst 2021	10	9,7	10	10	10	<b>10</b>
	Vår 2022	11	11	11	11	11	<b>11</b>

### 4.2 Resultater fra laboratorieforsøk

Følgende presenteres resultatene fra laboratorieforsøkene. Inkludert et forsøk fra høsten 2021 ble det gjennomført elleve tester av ulike produkter av kombinerte undertak og vindsperrer. Se vedlegg C for laboratorieresultatene i sin helhet.

Tabell 4.3 viser resultatene oppsummert. Verdiene for målt  $s_d$ -verdi av duk er hentet fra årlige kontroller fra SINTEF. Deklarert  $s_d$ -verdi er presentert slik den er oppgitt i produktets ytelseserklæring eller TG.

**Tabell 4.3:** Resultatene fra laboratorieforsøkene oppsummert og sammenlignet mot målt dampmotstand til duken fra SINTEFs årlige kontroller og deklarerert dampmotstand fra produktets ytelseserklæring.

Produkt-identifikasjon	Målt $s_d$ -verdi av duk [m]	Deklarert $s_d$ -verdi av duk [m]	Målt $s_d$ -verdi av klebefelt [m]	Standardavvik [m]
A	0,18	< 0,14	32	1,4
B	0,073	< 0,08	8,1	3,9
C	-	< 0,06	2,9	0,74
D	-	0,08 -0,02/+0,10	1,5	0,053
E	0,20	0,08 (0,05-0,19)	1,1	0,032
F	0,027	0,03	3,7	0,41
G	0,10	< 0,10	4,8	1,1
H	-	0,03 +/-0,02	1,7	0,12
I	0,077	0,06 +/-0,01	11	0,20
J	0,12	0,12	18	0,38
K	0,049	0,03 +/-0,02	1,7	0,033

Dersom produktene plasseres i gradering av diffusjonsåpenhet, vil alle falle under kategoriene diffusjonstett eller svært diffusjonstett. Med andre ord er ingen klebefelt i de testede produktene tilstrekkelig dampåpne med  $s_d$ -verdi  $\leq 0,5$  m.

Resultatene fra målt dampmotstand for alle testede produkter er inkludert som figurer. I figurene presenteres vanndamppermeans og vanndampmotstand for hver prøve og middelveiden til serien. Enkeltresultatene er et gjennomsnitt over de fem måleintervallene med stabil vanndampgjennomgang.

## Produkt A

Dette produktet er av et tykt materiale med fleecelag for fuktmagasinerings på undersiden. Det kan være en av årsakene til  $s_d$ -verdi på 32 m, som gjør det til det mest damptette produktet. Gjennomsnittlig tykkelse på prøvestykkene er 1,83 mm, og det er blant de tykkeste klebeskjøtene som er testet. Resultatene er jevne, hvilket bekreftes med et standardavvik på 1,4 m. Ved så damptette prøvestykker er det snakk om milligram som fører til ujevnheter i resultatene, og kan føre til en prøve utenfor  $\pm 5\%$ -grensen. Resultatene for dampmotstand hver prøve og middelveiden til produkt A er presentert i figur 4.1. Klebefeltet har en bredde på 60 mm hvilket gir hvert prøvestykke få skjøter sammenlignet med andre serier.

Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	6,76E-12	29,000	1,48E+11
2	6,16E-12	32,000	1,62E+11
3	6,08E-12	32,000	1,64E+11
4	5,99E-12	33,000	1,67E+11
5	6,27E-12	32,000	1,59E+11
Middel	6,25E-12	32,000	1,60E+11

**Figur 4.1:** Resultat for produkt A.

Produktet er testet høsten 2021. Resterende produkter er testet våren 2022, i perioden februar til mai.

### Produkt B

Dette er et av de to produktene som er testet på nytt for å validere forsøksmetoden. I likhet med forsøket som ble gjennomført i høst er resultatene fortsatt sprikende. Her har en av de fem prøvestykkene betydelig lavere dampmotstand enn de andre, se figur 4.2. Det fører til et svært høyt standardavvik på 3,9 m. Som i forsøket i høst er det ingen synlige tegn til at den ene prøveboksen har lekkasjer eller saltutslag. Det er derfor ikke mulig å avgjøre hva som er årsaken til at en av dem avviker så mye fra resten. De fire andre prøvene er stabile og dersom en ser på disse utelukkende vil klebefeltet ha en dampmotstand på omtrent 12 m. Serien ble veid 9 ganger før vektendringen var stabil.

Gjennomsnittlig tykkelse for prøvestykkene er målt til 2,10 mm, hvilket er den tykkeste klebeskjøten målt i dette forsøket. Klebefeltets bredde på 50 mm skiller seg ikke ut fra de andre produktene.

Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,75E-11	11,000	5,72E+10
2	5,58E-11	3,500	1,79E+10
3	1,53E-11	13,000	6,54E+10
4	1,56E-11	12,000	6,42E+10
5	1,60E-11	12,000	6,24E+10
Middel	2,40E-11	8,100	4,16E+10

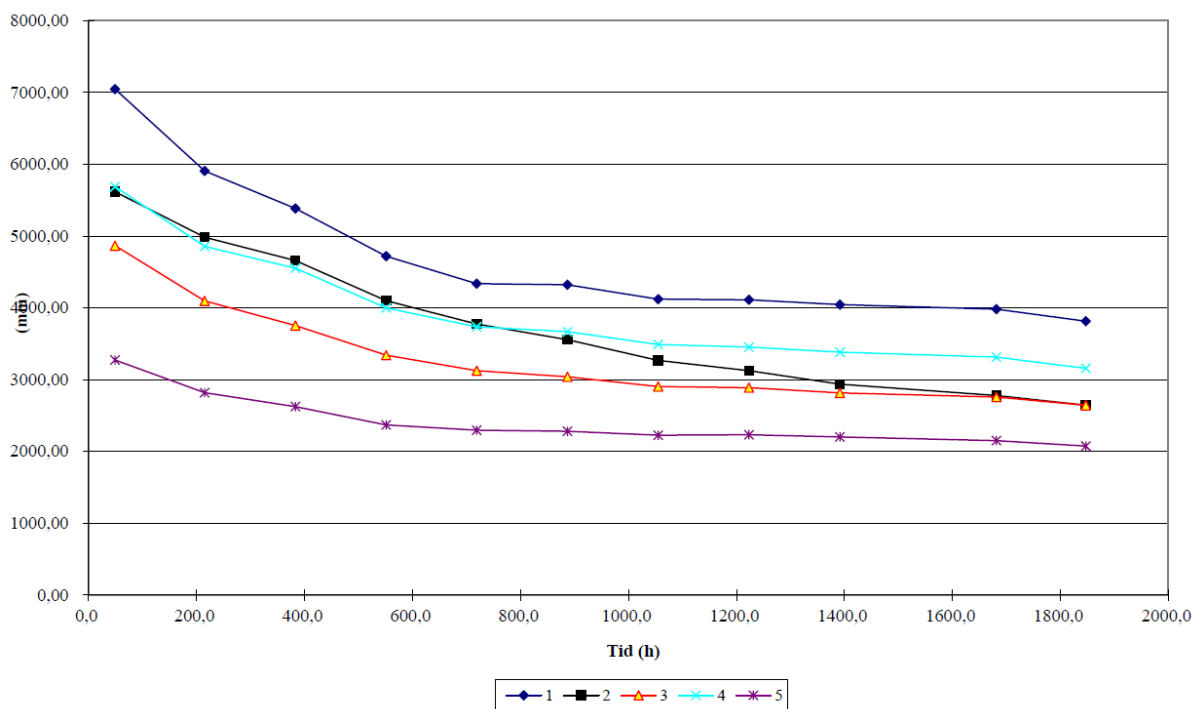
**Figur 4.2:** Resultat for produkt B.

### Produkt C

Denne serien bruker lang tid på å stabilisere vektendringen og oppnå jevn dampmotstand. Serien ble veid totalt 12 ganger og testperioden varte i over 1800 timer. Figur 4.3 viser hvordan

dampmotstanden synker for hver veiing de første ukene. Etter omkring 1000 timer flater grafene ut. Grafene for dampmotstand oppfører seg relativt likt, men likevel har hver prøveboks ulike  $s_d$ -verdier.

Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



Figur 4.3: Graf for dampmotstand for produkt C.

Prøvestykkene er blant de tynnere som er testet og måler 1,32 mm. I tillegg har produkt C smale klebefelt med 40 mm bredde, som medfører mange skjøter per prøveestykke. Resultatene for dampmotstand er presentert i figur 4.4.

Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	4,88E-11	4,000	2,05E+10
2	6,72E-11	2,900	1,49E+10
3	7,00E-11	2,800	1,43E+10
4	5,84E-11	3,300	1,71E+10
5	9,01E-11	2,200	1,11E+10
Middel	6,69E-11	2,900	1,49E+10

Figur 4.4: Resultat for produkt C.

## Produkt D

Serien har en av de laveste målte  $s_d$ -verdiene i dette forsøket med en dampmotstand på 1,5 m. På grunn av lav dampmotstand ble måleintervallet endret til ett døgn. Prøvene har jevne

resultater som kommer fram av lavt standardavvik på 0,053 m. Figur 4.5 viser dampmotstanden til hvert prøvestykke og seriens middelværdi. Prøvestykkene har en tykkelse på 1,63 mm og klebefeltsbredde på 45 mm.

Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,32E-10	1,500	7,57E+09
2	1,33E-10	1,500	7,51E+09
3	1,29E-10	1,600	7,74E+09
4	1,42E-10	1,400	7,04E+09
5	1,34E-10	1,500	7,48E+09
Middel	1,34E-10	1,500	7,46E+09

**Figur 4.5:** Resultat for produkt D.

### Produkt E

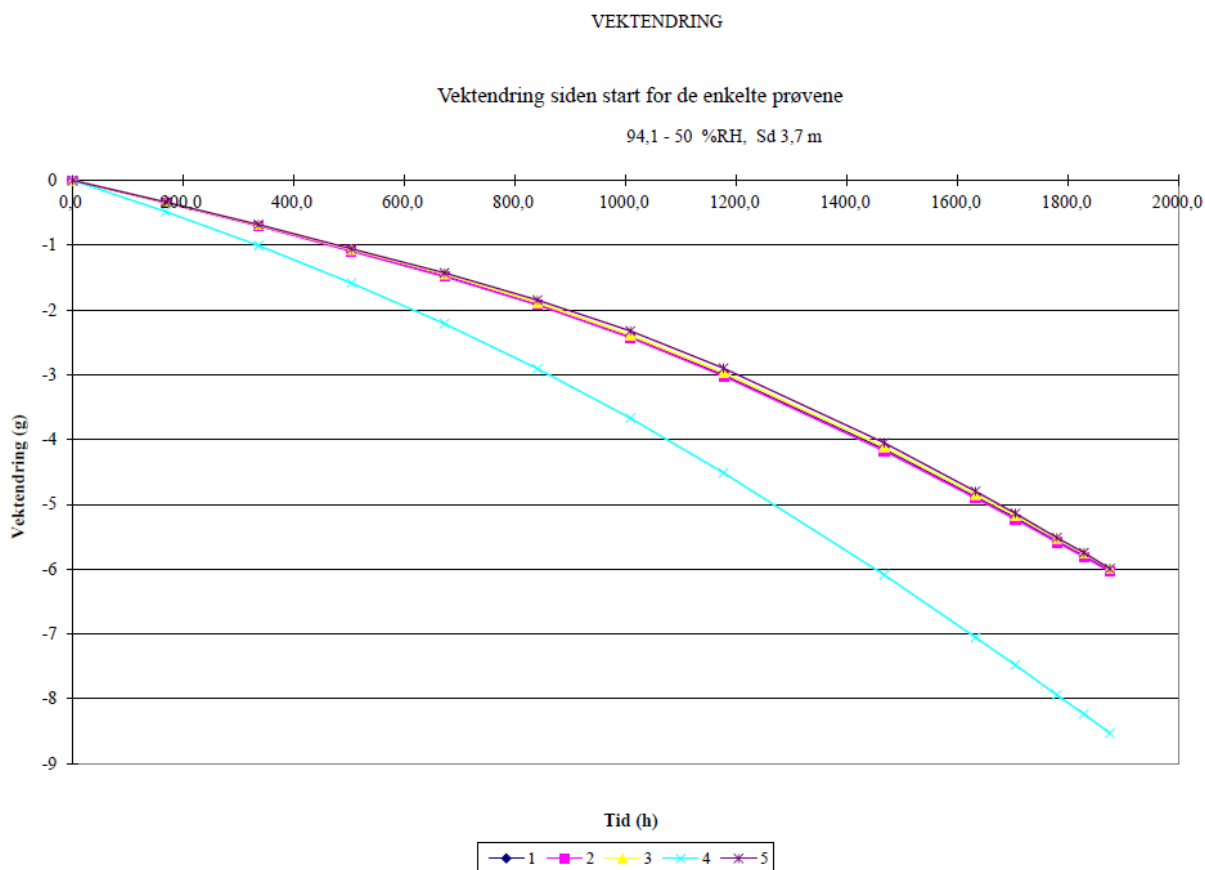
1,1 m er den laveste  $s_d$ -verdien blant de testede produktene og standardavviket på 0,032 m speiler prøvestykkenes like resultater. Resultatene for dampmotstand er vist i figur 4.6. Slik som produkt D endres måleintervallet til ett døgn. Prøvestykkene har få skjøter ettersom klebefeltet har en bredde på 75 mm. I tillegg har produkt E et av de tykkere prøvestykkene i dette forsøket med 1,80 mm.

Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,92E-10	1,000	5,21E+09
2	1,93E-10	1,000	5,18E+09
3	1,81E-10	1,100	5,52E+09
4	1,84E-10	1,100	5,44E+09
5	1,84E-10	1,100	5,43E+09
Middel	1,87E-10	1,100	5,35E+09

**Figur 4.6:** Resultat for produkt E.

### Produkt F

Til tross for jevne resultater oppnår denne serien ikke stabil vektreduksjon etter over 2 måneder i fuktlaboratoriet. Figur 4.7 viser at grafen for vektendring krummer gjennom hele testperioden. Den krumme kurven betyr at dampmotstanden blir lavere og lavere desto mer tid som går. Det antas at  $s_d$ -verdien ville blitt enda lavere dersom forsøket hadde foregått lenger. For å komme innenfor  $\pm 5\%$ -grensene, ble måleintervallet nedjustert mot slutten, fra 7 til 3 døgn.



**Figur 4.7:** Graf for vektendring for produkt F.

Produkt F skiller seg også fra de andre produktene med at det er ulik bredde på klebefeltet på over- og underside. Oversiden har 90 mm klebefelt, mens undersiden har halvparten med 45 mm. Dette gjør at prøvestykkene fra produkt F har færrest skjøter sammenlignet med de andre produktene. I tillegg er dette blant de tynnere prøvestykkene i forsøket, med gjennomsnittlig tykkelse på 1,33 mm.

Figur 4.7 og 4.8 viser at prøveboksene oppfører seg likt foruten prøve nummer 4. Den fjerde prøveboksen har gjennom hele testperioden hatt større vektendring enn de andre.

Prøve nummer	Vanndampermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	4,97E-11	3,900	2,01E+10
2	4,92E-11	4,000	2,03E+10
3	4,94E-11	3,900	2,02E+10
4	6,48E-11	3,000	1,54E+10
5	5,14E-11	3,800	1,95E+10
Middel	5,29E-11	3,700	1,89E+10

**Figur 4.8:** Resultat for produkt F.



## Produkt G

Resultatene i figur 4.9 viser at hvert prøvestykke i denne serien har en unik dampmotstand, med verdier mellom 3,9 og 6,8 m. Vektendringen for hver prøveboks stabiliserer seg likevel raskt og kun seks veiinger er nødvendig før forsøket avsluttes. Prøvestykkene til produkt G har tykkelse på 1,57 mm og klebefeltbredde på 50 mm.

Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	3,74E-11	5,200	2,67E+10
2	4,04E-11	4,800	2,48E+10
3	5,01E-11	3,900	1,99E+10
4	4,59E-11	4,300	2,18E+10
5	2,89E-11	6,800	3,47E+10
Middel	4,05E-11	4,800	2,47E+10

**Figur 4.9:** Resultat for produkt G.

## Produkt H

Med lav og jevn  $s_d$ -verdi på 1,7 m endres måleintervallet ned til ett døgn. Prøvestykkene har tykkelse på 1,61 mm og er satt sammen av klebefelt med bredde på 50 mm. Resultatene til produkt H er gitt i figur 4.10.

Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,17E-10	1,700	8,58E+09
2	1,04E-10	1,900	9,57E+09
3	1,17E-10	1,700	8,54E+09
4	1,10E-10	1,800	9,11E+09
5	1,26E-10	1,600	7,97E+09
Middel	1,15E-10	1,700	8,72E+09

**Figur 4.10:** Resultat for produkt H.

## Produkt I

Produkt I er det andre av de to produktene som er testet på nytt. Begge forsøkene har veldig jevne resultater og lavt standardavvik. Resultatene i figur 4.11 viser at klebeskjøene er svært damp tett med  $s_d$ -verdi på 11 m. Prøvestykkene i denne serien er blant de tynneste og måler 1,34 mm. Med 70 mm bredde på klebefeltene er det få skjøter per prøvestykke.

Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,71E-11	11,000	5,84E+10
2	1,77E-11	11,000	5,64E+10
3	1,77E-11	11,000	5,64E+10
4	1,72E-11	11,000	5,81E+10
5	1,77E-11	11,000	5,65E+10
Middel	1,75E-11	11,000	5,71E+10

**Figur 4.11:** Resultat for produkt I.

### Produkt J

Med det smaleste klebefeltet på 30 mm består hvert prøvestykke av mange strimler. Produkt J er det produktet med nest størst dampmotstand. Midlere  $s_d$ -verdi er målt til 18 m, slik som vist i figur 4.12.

Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,09E-11	18,000	9,21E+10
2	1,09E-11	18,000	9,18E+10
3	1,05E-11	19,000	9,54E+10
4	1,06E-11	18,000	9,39E+10
5	1,05E-11	19,000	9,54E+10
Middel	1,07E-11	18,000	9,37E+10

**Figur 4.12:** Resultat for produkt J.

### Produkt K

Alle de fem prøvene i denne serien er målt til samme  $s_d$ -verdi på 1,7 m, se figur 4.13. Det gir ingen spredning i resultatene og et standardavvik på 0,033 m. Den lave  $s_d$ -verdien medfører også at måleintervallet nedjusteres til ett døgn. Prøvestykkene er de klart tynneste i forsøket og måler 0,84 mm.

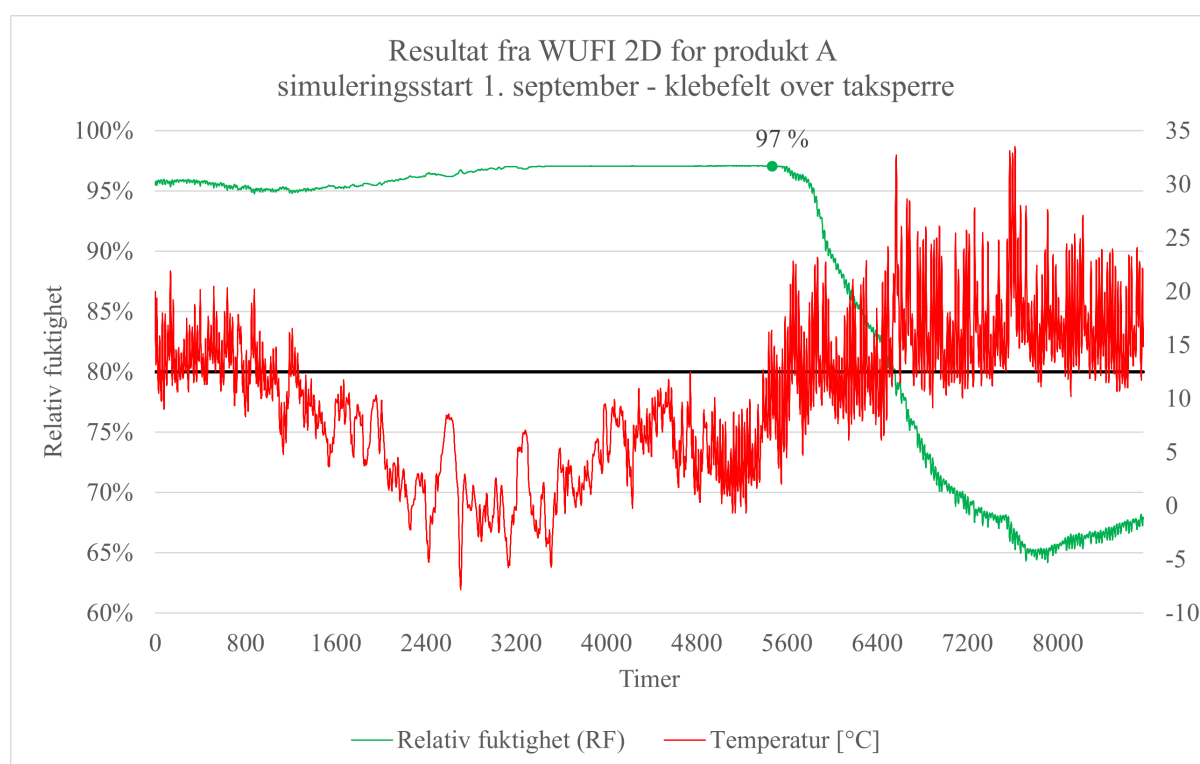
Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,16E-10	1,700	8,64E+09
2	1,13E-10	1,700	8,83E+09
3	1,12E-10	1,700	8,90E+09
4	1,14E-10	1,700	8,78E+09
5	1,18E-10	1,700	8,47E+09
Middel	1,15E-10	1,700	8,72E+09

**Figur 4.13:** Resultat for produkt K.

### 4.3 Resultater fra fuktsimulering og muggvekstanalyse

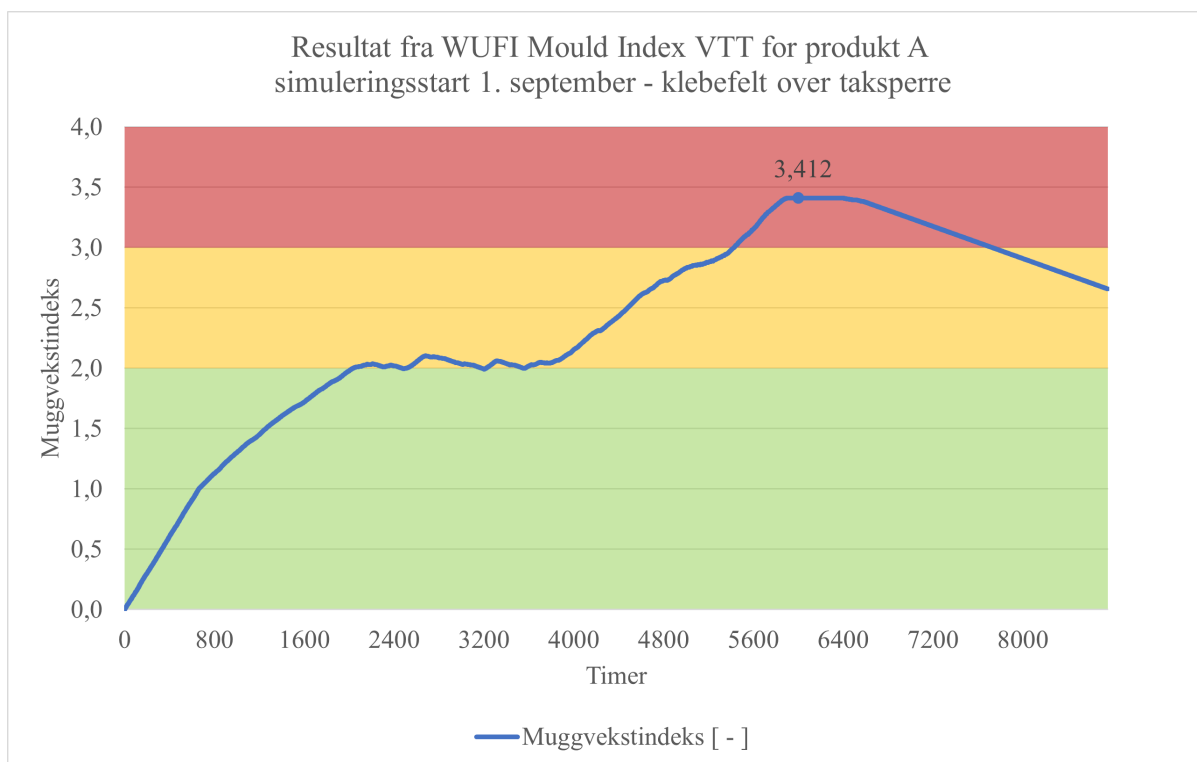
Det er gjennomført 30 beregninger i WUFI 2D. Beregningene simulerer temperatur og RF for gitt monitorpunkt basert på klima- og materialdata. Timeverdiene for temperatur og RF brukes så i WUFI Mould Index VTT for å analysere for muggvekst. Parametervariasjonene er testet med de tre mest damptette klebefeltene til produkt A, I og J, med henholdsvis dampmotstand 32 m, 11 m og 18 m.

Figurene 4.14 og 4.15 viser grafene for temperatur, RF og muggvekst for den første beregningen. Produktet A har 32 m dampmotstand i klebefeltet. Simuleringsstart er 1. september og klebefeltet er plassert over takspærren. Ellers er simuleringen som i standardkonstruksjonen, med uteklima i Kristiansund, 20 % byggfukt og 600 mm senteravstand.



**Figur 4.14:** Grafer for temperatur og RF for produkt A over 8760 timer. Simuleringen er startet 1. september. Klebefeltet er plassert over takspærren og har  $s_d$ -verdi på 32,0 m. Maksimum RF er angitt ved punktet. Den sorte linjen markerer 80 % RF.

Denne beregningen trekkes fram fordi den oppnår muggvekstindeks over 3 og kategoriseres som “ikke akseptabel” i følge trafikklysgraderingen til WUFI Mould Index VTT. I figur 4.15 er bakgrunnen farget for å fremheve resultatet. Grønt område klassifiseres om akseptabelt, mens gult område krever videre vurdering. Rødt er som nevnt uakseptabelt og krever endringer i konstruksjonen. For denne beregningen er det muggvekstrisiko for store deler av simuleringstiden.



**Figur 4.15:** Graf for muggvekstindeks for produkt A over 8760 timer. Simuleringen er startet 1. september. Klebefeltet er plassert over taksperren og har  $s_d$ -verdi på 32 m. Punktet marker maksimum muggvekstindeks.

Det er produsert tilsvarende grafer for muggvekstindeks for de tre testede produktene der en parameter er variert om gangen. Disse grafene er å finne i vedlegg D. Høyeste verdi for muggvekst er hentet ut og presentert i tabell 4.4, 4.5 og 4.6.

Parametervariasjoner og resultater fra beregningene er presentert i simuleringmatrisene i tabell 4.4, 4.5 og 4.6. Tabellene viser hvilke parametere som er valgt og utslag av muggvekst for hver beregning. Parameterene i uthevet skrift representerer standardkonstruksjonen. Nedste linje i tabellene er farget etter grad av muggvekst.

**Tabell 4.4:** Simuleringsmatrise med muggvekstrisiko. Beregning 1-10.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Klebefelt over takspærre</b>	x	x			x	x			x	x
Klebefelt over isolasjon			x	x			x	x		
<b>Simuleringsstart: 1. september</b>	x		x		x		x		x	
Simuleringsstart: 1. april		x		x		x		x		x
<b><math>s_d</math> klebefelt: 32 m</b>	x	x	x	x						
$s_d$ klebefelt: 18 m					x	x	x	x		
$s_d$ klebefelt: 11 m									x	x
<b>Uteklima: Kristiansund</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Uteklima: Oslo										
Uteklima: Tromsø										
Uteklima: Trondheim										
<b>Byggfukt: 20 %</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Byggfukt: 18 %										
Byggfukt: 15 %										
<b>c/c: 600 mm</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
c/c: 300 mm										
Muggvekstindeks	3,41	1,68	0,48	0,07	3,24	1,63	0,42	0,10	2,49	1,49

Tre av de 10 første beregningene slår ut på muggvekstanalysen. Alle tre har klebefeltet plassert over takspærre og starter simuleringen 1. september. Basert på beregning 1 - 10 regnes dampnett klebefelt som uproblematisk dersom bygget tettes på våren og har mulighet til umiddelbar uttørking. Det samme gjelder klebefelt over isolasjonen.

**Tabell 4.5:** Simuleringsmatrise med muggvekstrisiko. Beregning 11-20.

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Klebefelt over takspærre</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Klebefelt over isolasjon										
<b>Simuleringsstart: 1. september</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Simuleringsstart: 1. april										
<b>s<sub>d</sub> klebefelt: 32 m</b>	x			x			x			x
s <sub>d</sub> klebefelt: 18 m		x			x			x		
s <sub>d</sub> klebefelt: 11 m			x			x			x	
<b>Uteklima: Kristiansund</b>										x
Uteklima: Oslo	x	x	x							
Uteklima: Tromsø				x	x	x				
Uteklima: Trondheim							x	x	x	
<b>Byggfukt: 20 %</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Byggfukt: 18 %										x
Byggfukt: 15 %										
<b>c/c: 600 mm</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
c/c: 300 mm										
<b>Muggvekstindeks</b>	2,10	1,92	1,38	1,92	1,80	1,41	3,07	2,94	2,50	2,10

Beregningene 11 - 19 tester effekten av uteklima med ulik damptetthet i klebefeltet. I Tromsø vil det ikke være noe risiko for muggvekst uavhengig av damptetthet. Ved bruk av det mest dampette produktet vil det være noe utslag for muggvekst i Oslo. Trondheim har lavere risiko for muggvekst enn Kristiansund, men over akseptabel grense for alle de testede produktene.

**Tabell 4.6:** Simuleringsmatrise med muggvekstrisiko. Beregning 21-30.

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>Klebefelt over takspærre</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Klebefelt over isolasjon										
<b>Simuleringsstart: 1. september</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Simuleringsstart: 1. april										
<b>s<sub>d</sub> klebefelt: 32 m</b>	x			x			x			x
s <sub>d</sub> klebefelt: 18 m		x	x		x			x		
s <sub>d</sub> klebefelt: 11 m						x			x	
<b>Uteklima: Kristiansund</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Uteklima: Oslo										
Uteklima: Tromsø										
Uteklima: Trondheim										
<b>Byggfukt: 20 %</b>				x	x	x				
Byggfukt: 18 %		x					x	x	x	
Byggfukt: 15 %	x		x							x
<b>c/c: 600 mm</b>	x	x	x							
c/c: 300 mm				x	x	x	x	x	x	x
<b>Muggvekstindeks</b>	0,94	1,89	0,76	4,34	4,23	3,67	3,14	2,93	2,29	1,61

Beregning 20 - 23 tester hvor mye fuktinnholdet påvirker muggvekst. For standardkonstruksjonen med 18 % byggfukt vil det være noe risiko for muggvekst, men ikke for konstruksjoner med mer dampåpne klebeskjøter eller lavere byggfukt. De syv siste beregningene er gjort med halvert senteravstand. Dette er for å simulere betydningen av treandelen. Fire av dem oppnår høy muggvekstindeks og anses som problematiske. Dersom fuktinnholdet reduseres til 18 vekt-% forbedres konstruksjonen, men det er fortsatt risiko for mugg. Ved så høy treandel må det altså benyttes tørre materialer.



## 5 Diskusjon

I denne oppgaven er klebefeltene til elleve produkter av kombinert undertak og vindsperrer testet for dampmotstand. Forsøkene er gjennomført etter NS-EN ISO 12572: (2016), koppmetoden. Prøvestykkene brukt i denne metoden er større enn bredden til klebefeltene. Det betyr at et prøvestykke er satt sammen av mange strimler med klebefelt og det er skjøter i materialet. Det har vært usikkerhet knyttet til hvorvidt skjøtene kan medføre lekkasje av damp gjennom prøvestykkene. I tillegg er produktene bygd opp ulikt, bestående av flere lag med forskjellige egenskaper. Enkelte produkter har et armeringsnett i midten. Andre har tykke filtag på undersiden for fuktmagasinering. Det er uvisst hvordan materialets oppbygning kan påvirke måling av dampdiffusjon i klebefeltet.

For å teste koppmetodens validitet, er to produkter testet ved to separate forsøk. Prøvestykkene er laget av materialer fra den samme rullen i begge forsøkene. Det ene produktet hadde svært sprikende resultater ved forrige forsøk og ble testet på nytt for undersøke årsaker til  $s_d$ -verdiene varierte fra 3,4 til 15 m. Ved nytt forsøk er verdiene fortsatt sprikene, fra 3,5 til 13 m. Ut fra disse forsøkene er det ikke tydelig hva som gjør at resultatene er så ulike. Det er ikke registrert saltutslag på noen av prøvene, hvilket kunne vært en forklaring på variasjonen. Dersom en prøve har saltutslag regnes den som ødelagt og forkastes. Det er heller ingen andre synlige forskjeller på prøvene og det er derfor ikke mulig å forklare hva som fører til den store spredningen i resultater.

Det andre produktet som ble testet på nytt hadde svært jevne resultater ved forrige laboratorieforsøk. Prøven med lavest  $s_d$ -verdi målte 9,7 m, mens den med høyest  $s_d$ -verdi målte 10 m. Da produktet ble testet på nytt var dampmotstanden omtrent 1 m høyere, men fortsatt like jevn. Forsøket ble gjentatt for å bekrefte at koppmetoden er egnet for måling av damptetthet til klebefelt. Det antas at målemetoden er etterprøvable til tross for økningen i damptetthet. Det er ikke mulig å si hvorfor to identiske forsøk med materialer fra samme rull, men gjennomført med fire måneders mellomrom, får 1 m i forskjell i dampmotstand.

Slik resultatene fra forsøket viser, er det stor spennvidde i dampmotstanden til klebefelt i kombinerte undertak og vindsperrer. De mest dampåpne klebeskjøtene har 1,1 m i  $s_d$ -verdi, mens de mest damptette måler 32 m. Syv av de elleve testede produktene har klebeskjøter som klassifiseres som "diffusjonstette", mens de fire siste regnes å være "svært diffusjonstette". Flere av produktene har lavere dampmotstand, i sjiktet 1 - 3 m, noe som antas å være uproblematisk med tanke på muggvekst, ettersom klebefeltene er en så liten del av takflaten og fukt finner andre steder å diffundere ut gjennom. Antageligvis er 32 m i dampmotstand en ekstremverdi, men med så damptette skjøter kan kondens og eventuelt mugg oppstå dersom forholdene er tilstrekkelig ugunstige.

Målte  $s_d$ -verdier for duk og klebefelt settes opp mot hverandre for å undersøke om det er samsvarende mellom de mest damptette dukene og de mest damptette klebeskjøtene. Produkt A og produkt J er blant produktene med høyest dampmotstand for både klebefelt og duk, henholdsvis 32 og 18 m for klebefeltet og 0,14 og 0,12 m for duken. Produkt E har høyest  $s_d$ -verdi

for duken med 0,20 m, men dette er også produktet med lavest dampmotstand i klebefeltet, på 1,1 m. Det ser derfor ikke ut til å være korrelasjon mellom duken og klebefeltets damptetthet. Derimot antas det at limet kan være en avgjørende faktor for klebeskjøtens dampmotstand.

Videre vurderes det om det er en korrelasjon mellom klebeskjøtenes tykkelse og dampmotstand. Produkt B har forsøkets tykkeste prøvestykker på 2,10 mm. Produktet er også det mest ustabile, med høyeste standardavvik og ubestemmelig dampmotstand. De nest tykkeste prøvestykkene i dette forsøket tilhører produkt A og måler 1,83 mm. Dette produktet har som nevnt den høyeste dampmotstanden for klebefeltet. Videre måler produkt E sine prøvestykker 1,80 mm, men dette produktet har de mest dampåpne klebeskjøtene og forsøkets lavest standardavvik. Det antas derfor å ikke være en sammenheng mellom klebeskjøtenes tykkelse og damptetthet eller mellom tykkelse og standardavvik. Funnet styrker teorien om at limet spiller en viktig rolle. I tillegg viser det at dampmotstanden ikke avhenger av mengden lim, men kanskje heller typen eller jevnhet av lim.

For å undersøke om antall skjøter i prøvestykkene har en påvirkning på resultatene sammenlignes dampmotstand med klebefeltsbredde. Produkt J har forsøkets smaleste klebefelt på kun 30 mm. Det betyr at produkt J har flest skjøter per prøvestykke. Likevel har produktet nest størst dampmotstand med  $s_d$ -verdi på 18 m. I motsatt ende av skalaen, har produkt E et av de bredeste klebefeltene med bredde på 75 mm. Som nevnt, har produkt E lavest dampmotstand, målt til 1,1 m. Produkt E er derfor en av seriene med færrest skjøter per prøvestykke, men har likevel laveste dampmotstand. Overlapp av skjøter på over- og underside av prøvestykket er langt større enn 5 mm, som var minimum for dette forsøket. Av den grunn vurderes metoden for tillaging av prøvestykker som tilstrekkelig og at overlapp mellom over- og underside forhindrer lekkasje av vanddamp gjennom skjøtene. Det er med andre ord ikke sammenheng mellom klebefeltets bredde og prøvestykkenes damptetthet.

Konsekvensvurdering av damptette klebeskjøter i kombinerte undertak og vindsperrer er gjennomført i WUFI 2D og tilleggsprogrammet WUFI Mould Index VTT. Beregningene viser at en rekke faktorer må være til stede for at damptette klebefelt kan føre til muggvekst. For det første utgjør klebefelt et lite flateareal sammenlignet med resten av duken med kombinert undertak og vindsperre. For det andre må det være rikelig med trematerialer i taket. I tillegg må de riktige klimaforholdene til, samt at bygget må lukkes på høsten. Dersom disse faktorene opptrer samtidig er det en mulighet for muggvekst, men i de aller fleste tilfeller vil damptette klebefelt være uproblematisk.

Gjennom 30 beregninger er det undersøkt betydningen av flere parametere. Det tettete produktet med 32 m diffusjonsmotstand er brukt som standard i simuleringene. Deretter er konstruksjonen testet med damptetthet på 18 m og 11 m i klebefeltene. Dette er de tre tettete resultatene fra laboratorieforsøket og gir ikke det mest realistiske bilde av damptette klebefelt. De høyeste verdiene er valgt ettersom det er forventet at så damptette klebefelt kan være problematisk, mens lavere verdier sannsynligvis ikke vil medføre muggvekstrisiko. Standardkonstruksjonen er valgt for å teste verst tenkelig scenario, og derfra utforske hvilke parametere som er utslagsgivende for muggvekst.

De første beregningene tester plassering av klebefeltet. Undersøkelsene er gjort for å utelukke at det kan oppstå muggvekst dersom klebefeltet er plassert over isolasjonssjiktet. Med denne plasseringen vil byggfukt fra trevirke ikke bli hindret i å diffundere ut gjennom duken. For alle de fire beregningene med klebefelt over isolasjonen er muggindeks under 0,5, hvilket er langt innenfor kravet og konstruksjonen regnes som akseptabel. Ved plassering av klebefeltet over taksperrene er området direkte over fuktilden blokkert for dampdiffusjon. Fukt og damp bruker lenger tid på å diffundere og det kan oppstå muggvekst. Plassering av klebefelt over taksperran er derfor den kritiske plasseringen og brukes i de resterende beregningene.

Videre testes betydningen av når bygget lukkes. Ved tett bygg på våren kan uttørkingen starte umiddelbart på grunn av høye temperaturer over en lengre periode i sommermånedene. Dersom bygget lukkes på høsten hindres uttørkingen og fukten forblir i materialene frem til våren. Muggvekstindeksen tilsier at det langt større risiko for muggvekst ved tett bygg på høsten enn på våren. Alle av beregningene med tett bygg fra 1. april får grønne nivåer for muggvekstindeks. Resultatene slår fast at dersom konstruksjonen får tørke ut rakst er det minimal muggvekstrisiko.

Som standard er uteklima satt til Kristiansund da dette er en kjent lokasjon med ugunstige værforhold for uttørking. Standardkonstruksjonen plassert i Kristiansund gir rødt nivå av muggvekstindeks og anses som uakseptabel. Videre ble standardkonstruksjonen testet i Oslo, Tromsø og Trondheim. I Tromsø er det ingen utslag for muggvekst. Oslo oppnår gult nivå av muggvekstindeks for det mest damptette produktet, men grønt nivå for klebefelt med  $s_d$ -verdi lavere enn 32 m. Muggvekstindeksen i Trondheim er lavere enn i Kristiansund, men ikke akseptabel for de tre testede klebefeltene. Disse resultatene viser at Kristiansund har de mest ugunstige klimaforholdene blant de fire testede lokasjonene. Flere lokasjoner for uteklima bør testes for å vurdere konsekvensen av damptette klebeskjøter andre steder i landet.

Takkonstruksjonen er bygget opp av konstruksjonsvirke med senteravstand på 600 mm og 350 mm tykkelse. Dette anses som en realistisk oppbygning, men er bevisst valgt for å få høyt innhold av byggfukt. Det finnes flere tiltak for å redusere fuktinnholdet i taket på. Et av dem er å redusere volumet av tre i takkonstruksjonen. Andre sperrer kan ha betydelig mindre trevolum enn konstruksjonsvirke. For eksempel vil sperrer av I-bjelker ha et langt lavere fuktinnhold.

I tillegg er det valgt 20% byggfukt i standardkonstruksjonen. Dette er øvre grenseverdi for luftede trestak av konstruksjonsvirke i henhold til Byggforskserien 474.533 (2021). Det er vanlig at materialene leveres med lavere fuktinnhold, normalt rundt 18 vekt-%. Slik som resultatene fra beregning 20 - 23 viser, vil en reduksjon i byggfukt begrense risikoen for muggvekst. Beregninger med standardkonstruksjonen og 18% byggfukt gir muggvekstindeks like over akseptabelt nivå. For klebefelt med 18 m dampmotstand eller byggfukt justert til 15% er det ikke risiko for muggvekst. Disse resultatene understreker betydningen av mengden fukt i konstruksjonen ved tett bygg.

Figur 3.6 i kapittel 3 presenterer oppbygningen av takkomponenten. Komponentene er 300 mm bred og er symmetrisk om adiabatisk grense. Oppbygning stemmer for alle materialer utenom klebefeltet, men er forenklet for å begrense beregningstiden. Produkter av kombinerte undertak

og vindsperrer med klebefelt kommer i bredder på minimum 1200 mm. Hvilket betyr at det i virkeligheten skal være 1200 mm mellom hvert klebefelt. Den forenklede takkomponenten benyttet i denne oppgaven har derfor halvert avstand mellom klebefeltene enn slik det vil være i praksis. Det antas at denne oppbygningen ikke har vesentlig påvirkning på resultatene da monitorposisjonen er et veldig begrenset område under klebefeltet.

Avslutningsvis i parameterstudien er standardkonstruksjonen testet med halvert senteravstand. 600 mm er normal avstand mellom taksperrer, men for enkelte tak eller deler av tak kan treandelen være høyere. For eksempel kan takkonstruksjoner med lange spenn bygges med 300 mm senteravstand, og på den måten forsterke bæreevnen samtidig som modulsystemet opprettholdes. Ved gjennomføringer, piper og takvindu kan kubbing føre til høyere tetthet av trematerialer. I forbindelse med arker og opplett kan det også forekomme mer trevirke enn i taket ellers. Det er valgt å undersøke hvordan økning av tre påvirker risikoen for muggvekst under diffusjonstett klebefelt. Beregning 24 - 30 er gjennomført med halvert bredde på konstruksjonen. Bredden på takkomponenten vist i figur 3.6 er redusert fra 300 mm til 150 mm. Dette er en forenkling og gir ikke en nøyaktig oppbygging av taket fordi avstanden mellom klebefeltene til kombinert undertak og vindsperre ikke skal halveres. Med andre ord indikerer denne forenklingen at det er klebefelt ved hver 300 mm. Dette ses bort ifra i beregningene. 300 mm senteravstand og 20% byggfukt gir muggvekstrisiko for alle de tre klebefeltene. Dersom byggfuktnivået justeres til 18% er det bare det mest dampette produktet ( $s_d$ -verdi 32 m) som oppnår rødt nivå. Konstruksjonen oppnår gult nivå med dampmotstand 18 m og 11 m. Reduseres byggfukten enda mer, til 15%, vil muggvekst ikke være et problem for tak med senteravstand på 300 mm.

Beregningene i denne oppgaven er avgrenset til å undersøke parameterene beskrevet ovenfor. Det innebærer at flere parametere ikke er variert for å vurdere effekten av dem. Eksempelvis er takhelningen satt til 30° og ikke endret i noen av beregningene. Takhelningen har betydning for uttørking av fukt, der slakere takflater har bedre uttørkingsevne enn bratte takflater på grunn av økt innstråling av direkte sollys (Hummelsund 2021). Dersom forsøket skulle vært gjentatt burde takkomponenten vært testet med for eksempel 15° og 45° helning og det vil anbefales å velge det bratteste taket i standardkonstruksjonen.

I denne oppgaven er det ikke tatt hensyn til defekter eller lekkasjer, verken fra fuktig inneluft eller fra nedbør. Dersom takkonstruksjonen får fukt fra andre kilder og med jevnlig tilførsel vil trolig muggvekst oppstå der dampdiffusjon hindres. Feilmontering og skader på dampsperre og kombinert undertak og vindsperre kan lede store mengder fukt inn i taket. I følge Byggforskserien 421.132 (2018) kan en sprekke i dampsperran med størrelse på 1 mm i bredde og 6 m i lengde føre til at 700 l vann trekkes inn i taket over de tre vintermånedene. Fuktilførsel av denne størrelsen i kombinasjon med dampette klebeskjøter i kombinerte undertak og vindsperrer gjør takkonstruksjoner sårbare for defekter og lekkasjer.

Det er vesentlig å fremheve at klebefeltene er lagt parallelt med taksperrene i disse beregningene. Som anbefalt av produsentene, monteres vanligvis kombinerte undertak og vindsperrer på tvers av taksperrene. Det betyr at områdene av taksperran som dekkes av klebefelt er langt mindre enn dersom sjiktet monteres parallelt med sperrene. For denne oppgaven er det valgt

montering langs sperrene fordi det er konservativt og fordi dette er mulig å simulere i WU-FI 2D. For å beregne fukttransport ved montering på tvers av taksperrene måtte programmet operere i tre dimensjoner. Det antas at ved montering av kombinerte undertak og vindsperre på tvers av taksperrene sjeldent vil føre til fuktakkumulering og muggvekstrisiko.



## 6 Konklusjon

Det er en økende trend å sikre lufttetthet i bygg med klebede løsninger. Det er gjennomført flere studier som tar for seg bestandighet, styrke og lufttetthet til teip og klebeskjøter, men inntil nylig var det begrenset forskning på dampmotstand til slike produkter. Tidligere er dampmotstanden til vindsperreteip testet og resultatene viser at teipen er langt tettere enn vindsperreren. I denne oppgaven er lignende tester gjennomført for klebefeltene til kombinerte undertak og vindsperrer.

Elleve produkter av kombinert undertak og vindsperre med klebefelt er testet etter koppmetoden. To av produktene er testet i to separate forsøk for å teste om koppmetoden er egnet for bestemmelse av diffusjonsmotstanden til klebefelt. I tillegg er produktenes egenskaper sammenlignet med resultatene fra laboratorieforsøket. Blant annet er det sjekket for korrelasjon mellom klebefeltens bredde, klebeskjøtenes tykkelse og dampmotstanden til duken i seg selv. Sammenligning av resultatene fra de to forsøkene viser at koppmetoden egner seg for måling av dampmotstand av klebefelt. Resultatene indikerer at metoden er etterprøvbart. Likeså virker det som at antall skjøter ikke påvirker dampdiffusjon og det utelukkes at fukt lekker ut gjennom skjøtene i prøvestykket. Basert på laboratorieresultatene og hvordan de samsvarer med produktenes egenskaper, anses limet å være avgjørende faktor for et klebefelts diffusjonsmotstand. Jevne og stabile resultater antyder at metode for tillaging av prøvestykker og måling av dampmotstand er pålitelig.

Studien viser at klebeskjøtene til kombinerte undertak og vindsperrer har en høyere dampmotstand enn det som er anbefalt for dette sjiktet. I alle resultatene fra laboratorieforsøkene er dampmotstanden til klebeskjøtene over anbefalt  $s_d$ -verdi på 0,5 m. Resultatene er også svært varierende, fra 1,1 m til 32 m, som også er langt høyere enn dukenes dampmotstand som ligger mellom 0,027 og 0,2 m. Det er stor forskjell på hvor raskt klebefeltene oppnår regulær dampgjennomgang. Enkelte produkter har klebefelt som stabiliseres fort og trenger kun minimum antall veiinger, mens andre produkter bruker flere måneder på å oppnå jevn diffusjon.

Likevel utgjør klebefeltene en liten del av takets flateareal og det er gjennomført fukt- og muggvekstberegninger for å undersøke konsekvensen av damptette klebefelt. Datasimuleringene indikerer at en rekke uheldige faktorer må opptre samtidig for at det skal oppstå betydelig muggvekst under klebefeltene. Det er derfor svært sjeldent risiko for muggvekst ved bruk av damptette klebeskjøter i kombinerte undertak og vindsperrer.

For videre arbeid kan det være aktuelt å undersøke om resultatene fra fukt- og muggsimuleringene gjenspeiler fullskalatester gjennomført i felt eller laboratorium. Det kan også være fordelaktig å se nærmere på komplekse takutførelser der kombinert undertak og vindsperre og taksperre må tilpasses takvindu, piper og andre gjennomføringer.





## Referanser

- BMI Redland (2019). *Divoroll Elite 200 2S*. URL: <https://www.roofgiant.com/resources/files/915700.pdf>.
- Bunkholt, N S mfl. (2021). "Process induced building defects in Norway – development and climate risks". en. I: *Journal of Physics: Conference Series* 2069.1, s. 012040. ISSN: 1742-6588, 1742-6596. DOI: 10.1088/1742-6596/2069/1/012040.
- Byggforskserien 421.132 (2018). *Fukt i bygninger. Teorigrunnlag*. URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt\\_i\\_bygninger\\_teorigrunnlag](https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag) (sjekket 09.12.2021).
- Byggforskserien 471.013 (2003). *U-verdier. Tak*. URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/212/u-verdier\\_tak](https://www.byggforsk.no/dokument/212/u-verdier_tak) (sjekket 08.11.2021).
- Byggforskserien 474.533 (2021). *Uttørking og forebygging av byggfukt*. URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/227/byggfukt\\_uttørking\\_og\\_forebyggende\\_tiltak](https://www.byggforsk.no/dokument/227/byggfukt_uttørking_og_forebyggende_tiltak) (sjekket 09.12.2021).
- Byggforskserien 525.101 (2021). *Skrå, luftede tretak med isolerte takflater*. URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/382/skrå\\_luftede\\_tretak\\_med\\_isolerte\\_takflater](https://www.byggforsk.no/dokument/382/skrå_luftede_tretak_med_isolerte_takflater) (sjekket 09.11.2021).
- Byggforskserien 525.866 (2009). *525.866 Undertak*. URL: <https://www.byggforsk.no/dokument/410/undertak> (sjekket 24.09.2021).
- Byggforskserien 573.121 (2003). *Materialer til luft- og damptetting -*. URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/598/materialer\\_til\\_luft\\_og\\_damptetting](https://www.byggforsk.no/dokument/598/materialer_til_luft_og_damptetting) (sjekket 24.05.2022).
- Byggforskserien 701.401 (2005). *Muggsopp i bygninger. Forekomst og konsekvenser for inneklimate*. URL: [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) (sjekket 03.05.2022).
- DiBK (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. no. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/> (sjekket 22.10.2021).
- DuPont (2018). - *DuPont Tyvek*. URL: [https://www.roofgiant.com/resources/files/341/Pocket\\_Booklet\\_Tyvek\\_Pocket\\_EN\\_July\\_2018.pdf](https://www.roofgiant.com/resources/files/341/Pocket_Booklet_Tyvek_Pocket_EN_July_2018.pdf).
- Edvardsen, Knut Ivar og Trond Ø. Ramstad (2014). *Håndbok 5 - Trehus*. Oslo: SINTEF akademisk forlag. ISBN: 978-82-536-1391-8.
- NS-EN ISO 12572: (2016). *Byggematerialers og -produkters hygrotermiske egenskaper. Bestemmelse av egenskaper med hensyn til vanndampgjennomgang. Koppmetode*. Standard Norge (2016).
- NS-EN ISO 13788: (2012). *Bygningskomponenters og bygningsdelers hygrotermiske egenskaper. Innvendig overflatetemperatur for å unngå kritisk overflatefuktighet og kondensasjon i mellomrom*. Standard Norge (2012).
- European Commission (2022). *Energy performance of buildings directive*. en. URL: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en) (sjekket 03.03.2022).
- Fraunhofer IBP (2019a). *WUFI® 2D*. en-US. URL: <https://wufi.de/en/software/wufi-2d/> (sjekket 05.04.2022).
- (2019b). *WUFI® Mould Index VTT*. en-US. URL: <https://wufi.de/en/2017/03/31/wufi-mould-index-vtt/> (sjekket 25.04.2022).

- Fufa, Selamatwit Mamo mfl. (2018). “Durability evaluation of adhesive tapes for building applications”. en. I: *Construction and Building Materials* 161, s. 528–538. ISSN: 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.056.
- Geving, Stig og Jan Vincent Thue (2002). *Håndbok 50 - Fukt i bygninger*. Oslo: Norges byggforskning sinstitut. ISBN: 978-82-536-0747-4.
- Hanssen-Bauer, I. mfl. (2015). *Klima i Norge 2100 - Miljødirektoratet*. nb. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2015/september-2015/klima-i-norge-2100/> (sjekket 23.02.2022).
- Hummelsund, Henrik Crook (2021). “Etterisolering av skrå tak i småhus ved bruk av smart dampspærre”. nob. I: Accepted: 2021-10-05T17:41:11Z Publisher: NTNU. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2787929> (sjekket 23.05.2022).
- Johnsen, Ida-Helene mfl. (2021). “Vapour resistance of wind barrier tape: Laboratory measurements and hygrothermal performance implications”. en. I: *Journal of Building Physics*. Publisher: SAGE Publications Ltd STM, s. 17442591211057188. ISSN: 1744-2591. DOI: 10.1177/17442591211057188.
- Kalamees, Targo, Üllar Alev og Mihkel Pärnalaas (2017). “Air leakage levels in timber frame building envelope joints”. en. I: *Building and Environment* 116, s. 121–129. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.02.011.
- Langmans, Jelle mfl. (2017). “Durability of self-adhesive tapes for exterior air barrier applications: a laboratory investigation”. I: *International Journal of Ventilation* 16.1. Publisher: Taylor & Francis .eprint: <https://doi.org/10.1080/14733315.2016.1252154>, s. 30–41. ISSN: 1473-3315. DOI: 10.1080/14733315.2016.1252154.
- Masterplast Group (2019). *Catalogues - Masterplast*. URL: [https://www.masterplastinternational.com/document\\_category/catalogues-en-2/](https://www.masterplastinternational.com/document_category/catalogues-en-2/) (sjekket 20.05.2022).
- Miljøverndepartementet (2013). *Meld. St. 33 (2012–2013)*. no. Stortingsmelding. Publisher: regjeringen.no. URL: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld-st-33-20122013/id725930/> (sjekket 02.05.2022).
- SINTEF Certification (2022). *Undertak*. URL: <https://www.sintefcertification.no/Contents/Index/19> (sjekket 10.02.2022).
- Sletnes, Malin og Susanne Gabriele Martha Frank (2020). *Performance and Durability of Adhesive Tapes for Building Applications. From Product Documentation to Scientific Knowledge (and Back Again)*. eng. Accepted: 2020-11-05T10:53:41Z Publication Title: 269-276. CIM-NE. ISBN: 978-84-12-11018-0. URL: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2686537> (sjekket 11.12.2021).
- Thue, Jan Vincent (2016). *Bygningsfysikk. Grunnlag*. Bergen: Fagbokforlaget. ISBN: 978-82-450-1994-0.
- Viitanen, H. og A-C. Ritschkoff (1991). *Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature*. Tekn. rapp. 22. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences - Department of Forest Products.
- Vogdt, Frank U. (2020). *Determination of driving rain resistance of breathable membranes*. URL: <https://altermat.es/wp-content/uploads/2020/01/ALTERMAT-certificado-tu-primur-rollo.pdf>.

Würth (2022). *Underlay membrane and roof protection film WÜTOP Thermo ND Plus*. URL:  
<https://media.wuerth.com/stmedia/wuerth/documents/documents/std.lang.all/29497838.pdf>.



# **Vedlegg**

## **Vedleggsliste**

<b>A Vitenskapelig artikkel</b>	<b>III</b>
<b>B Tykkelser av prøvestykker</b>	<b>XIX</b>
<b>C Resultater fra laboratorieforsøket</b>	<b>XXIII</b>
<b>D Muggvekstindeks for parametervariasjoner</b>	<b>LXIX</b>



## **A Vitenskapelig artikkel**

I vedlegget er den vitenskapelig artikkelen “Determining the vapour resistance of breather membrane adhesive joints”. Artikkelen er sendt til tidsskriftet *Materials* fra MDPI for fagfelle vurdering.





# Determining the vapour resistance of breather membrane adhesive joints

Fride Engesland Fuglestad <sup>1</sup>, Erlend Andenæs <sup>2,\*</sup>, Stig Geving <sup>3</sup>, and Tore Kvande <sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. student, Department of civil and environmental engineering, Norwegian University of Science and Technology; [frideef@stud.ntnu.no](mailto:frideef@stud.ntnu.no)

<sup>2</sup> Post-doctoral researcher, Department of civil and environmental engineering, Norwegian University of Science and Technology; [erlend.andenas@ntnu.no](mailto:erlend.andenas@ntnu.no)

<sup>3</sup> Dr. Ing., SINTEF Community, [stig.geving@sintef.no](mailto:stig.geving@sintef.no)

<sup>4</sup> Professor, Department of civil and environmental engineering, Norwegian University of Science and Technology; [tore.kvande@ntnu.no](mailto:tore.kvande@ntnu.no)

\* Correspondence: [erlend.andenas@ntnu.no](mailto:erlend.andenas@ntnu.no)

## Abstract:

Due to increasingly stringent requirements, tapes and adhesive joints are a commonly used method to ensure tightness and energy efficiency in modern building envelopes. Previous studies have researched and tested properties such as the strength and tightness of adhesive joints. So far, water vapour resistance has been neglected. This article aims to determine the vapour resistance and shed light on possible consequences of vapour tight adhesive joints in breather membranes used in roof assemblies. Laboratory measurements of vapour resistance were conducted according to NS-EN ISO 12572:2016, known as the cup method. Eleven products of breather membranes were tested. Results from the laboratory measurements were used to evaluate the impact of vapour resistant adhesive joints related to drying of built-in moisture. The simulation programs WUFI 2D and WUFI Mould Index VTT were used to model scenarios for moisture transport and risk for mould growth. Laboratory results show that the vapour resistance of breather membrane adhesive joints vary from 1.1 to 32 m in  $s_a$ -value. Three of the tested products have vapour resistance larger than 10 m, while four products have an  $s_a$ -value less than 2.0 m. The  $s_a$ -values of the membranes themselves range between 0.027 and 0.20 m. All tested adhesive joints are considerably more vapour tight than the Norwegian recommended value for breather membranes (< 0.5 m). However, the mould growth analysis shows that the risk of mould growth is low in most practical cases, except when using adhesive joints with the highest vapour resistance in roofs assembled during autumn.

**Keywords:** Breather membrane, vapour resistance, adhesive joints, mould growth

**Citation:** Fuglestad, F.E.; Andenæs, E.; Kvande, T. Determining the vapour resistance of breather membrane adhesive joints. *Materials* **2022**, *15*, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Academic Editor: Firstname Last-name

Received: date

Accepted: date

Published: date

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

In recent years, climate change and environmental impact have gained increasing attention, also in the building sector. Roughly 40% of energy consumption in Europe is used in construction and operation of buildings [1]. National building authorities strengthen requirements for energy efficiency by limiting air leakages and thermal transmission in order to reduce energy consumption [2]. Additionally, the changing climate causes warmer and wetter weather and increased frequency of storms and extreme weather [3,4]. As a result, buildings must be robustly constructed to withstand the consequences of changing climate. In the Nordic countries, precipitation, temperature, and humidity varies greatly from coastal to continental climate and throughout the seasons. Coastal areas are commonly wetter and with temperatures moderated by the Gulf stream, while continental areas are dryer and experience colder average temperatures in the

winter months [5]. These weather conditions cause significant strain on Norwegian building envelopes [6].

Roofs in Norway are commonly constructed as pitched wooden roofs with a ventilated air cavity [7]. The air cavity provides ventilation by airflow beneath the roofing, which transfers moisture from the roof structure to prevent condensation and mould growth. The roof tiles shield the underlay from most of the precipitation load, while any moisture that passes the roof tiles is allowed to dry due to the ventilated air cavity. This design principle is referred to as dual barrier weatherproofing or “two-stage weatherproofing” [8]. The inner surface of this air cavity is the underlay roof, which may serve as the second barrier of the weatherproofing. The underlay roof needs to be able to withstand some moisture load and allow drying. There also needs to be a wind barrier layer, to prevent wind-driven convection from cooling the roof insulation. The dual functions of moisture protection and wind barrier is often combined in a single product, a combined wind barrier and underlay roof. This product provides more efficient construction and less materials than two separate layers. The nomenclature of this type of product remains somewhat poorly defined, with several different names in use. The authors are aware of the following names: “Combined wind barrier and underlay roof” (translation of Norwegian term) [9], “Breathable membrane” and “Diffusion-open layer” (Siga) [10], “Underlay membrane and roof protection film” (Würth) [11], “Breathable roof underlays” (Masterplast) [12], “Vapour permeable membrane” and “Pitched roof breather membrane” (BMI) [13], and “Breather membrane” (DuPont) [14]. Technical differences between these terms may exist, but the authors have not been able to reveal them. For its brevity, the term “Breather membrane” will be used in this article.

The purpose of breather membranes is to prevent rainwater and wind from entering the building envelope [15]. It is a board or membrane layer beneath the roofing that must be vapour permeable to permit moisture to diffuse through to the outside. To achieve this property, the layer should, according to Norwegian recommendations, have a water vapour resistance ( $s_a$ -value) of less than 0.5 m [9]. There must also be sufficient ventilation of the air cavity to ensure transport of humid air.

Several materials exist with the desired properties to allow moisture protection and vapour diffusion. However, some concern has been raised about the joints between membrane sheets. Tape and adhesive joints are frequently used as a method to secure air and water tightness [16]. Previous research suggest that adhesive joints are the most airtight solution for timber buildings [17]. Sheets of roof underlay are commonly joined together by a strip of adhesive material running along the edge of the sheets. The vapour permeability of adhesive strips may be significantly lower than that of the rest of the underlay [18,19]. Moisture accumulating underneath these joints may be prevented from drying out, causing moisture damage to the building envelope. The concern is illustrated in **Feil! Fant ikke referansekinden.**, where humid air leaking from the interior side condensates and moisture accumulates beneath the joints of the combined wind barrier and underlay roof. The most common sources of moisture are air leakages from the inside and built-in moisture. If the structure cannot dry adequately, there is a great risk of mould growth [15,20].

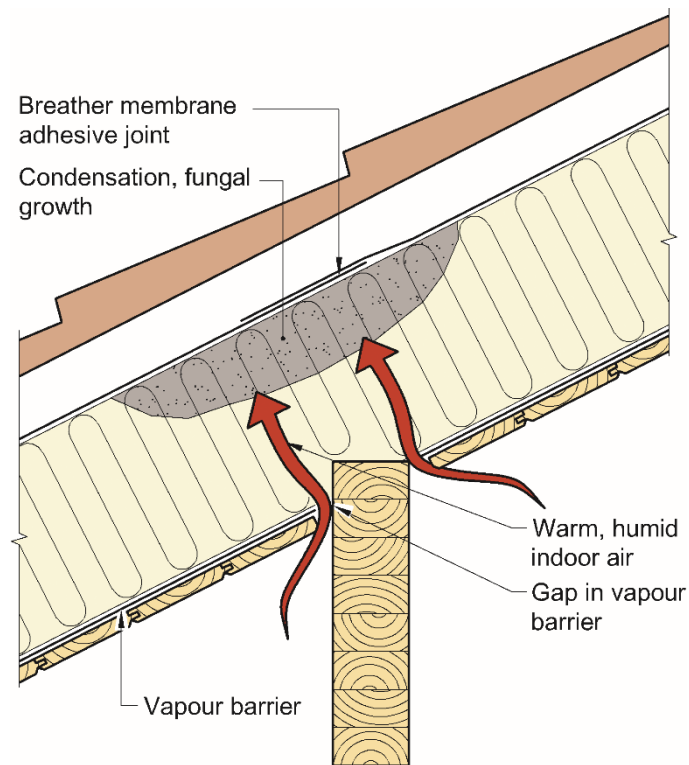


Figure 1: Accumulation of humidity causing condensation and risk of mould growth. Figure adapted from [21].

A Norwegian study has investigated building defects of pitched roofs reported between 1993 and 2002 to gain an overview of the main causes of roof defects [22]. 67% of the reported roof defects were found to be caused by precipitation and condensation of indoor air. A follow-up study with data from 2017-2020 found that 71% of all reported building defects were related to moisture [23]. Precipitation moisture was found to be the biggest cause of defects, comprising 41% of the reported defects. As the climatic loads are expected to increase [3], it is ever more essential that the roof remains capable of withstanding precipitation. For breather membranes, the weakest points are the joints between sheets, creating the biggest risk of air and moisture leaks in these locations [15]. 9% of the defects were caused by moisture condensing from leaks of indoor air, making it the second largest cause of moisture-related defects [23]. The number is somewhat lower than it was in the 1993-2002 data, due to stricter requirements of airtightness in buildings.

It is estimated that 2-6% of the costs of a construction project is related to the repair of defects [22,24,25]. Repairs of moisture defects are also associated with significant CO<sub>2</sub> emissions due to the large amount of energy needed to dry the building [26]. It therefore remains important to further reduce the extent of roof defects through understanding of the moisture properties of building materials. Breather membranes constitute an important component determining the roof's ability to shed moisture. It is unknown how the drying ability is impacted by the adhesive joints, which may be considerably more vapour tight than the rest of the membrane and thus might form "pockets" where moisture is not able to dry out. Considering these general concerns, this article seeks to answer the following research questions:

1. How can the water vapour resistance of the adhesive joints of breather membranes be determined?
2. What is the water vapour resistance of the adhesive joints of commercially available breather membranes?
3. What are the implications of the water vapour resistance of these joints, with regards to the drying capacity of roof structures?

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Tested materials

A number of products has been granted Technical Approval for use in the Norwegian building sector by SINTEF Certification. This form of certification ensures that the product is suitable for use in the Norwegian climate and that it conforms to Norwegian regulations [27]. A list of certified products was found at [28]. Specimens of these products were acquired from a commercial building material supplier. Some specimens were produced from leftover materials from the certification tests; this ensured that the material properties of the specimen in question had been thoroughly documented ahead of the testing. Table 1 list the tested products and their properties, where brand names have been anonymized.

The products must classify as breather membranes and include adhesive joints. All available products that fulfil these qualifications were tested to get at broad perspective of the water vapour resistance in adhesive joints. In total, adhesive joints of eleven products were examined according to NS-EN ISO 12572:2016, commonly known as the cup method.

Table 1: Overview of tested products (brand names have been anonymized).

Product Identification	Width of adhesive area [mm]	Specimen thickness [mm]
A	60	1.83
B	50	2.10
C	40	1.32
D	45	1.63
E	75	1.80
F	90 topside / 45 back side	1.33
G	50	1.57
H	50	1.61
I	70	1.34
J	30	1.58
K	50	0.84

### 2.2 Test sample preparation

Breather membrane sheets feature adhesive strips along each edge, on opposite sides of the membrane. These adhesive strips were cut off the sheets, into slim ribbons approximately 200 mm long. To ensure straight, clean edges, a cutting machine was used. The blade was placed slightly within the adhesive area, making sure the entire ribbon was covered with adhesive. Consequently, the width of the ribbons was somewhat narrower than the adhesive strip width listed in Table 1.

The ribbons were glued together parallelly, demonstrated in **Feil! Fant ikke referanse-kilden.**, to form a composite sheet consisting only of adhesive strips. Joints were overlapping by half a ribbon's width, at a minimum of 5 mm, to reduce the risk of leakages through a sample. Circular samples with a diameter of 174 mm were cut out of the composite sheets. The number of joints within a sample depend on the width of the adhesive strip on the product in question. For each product, five samples were tested.

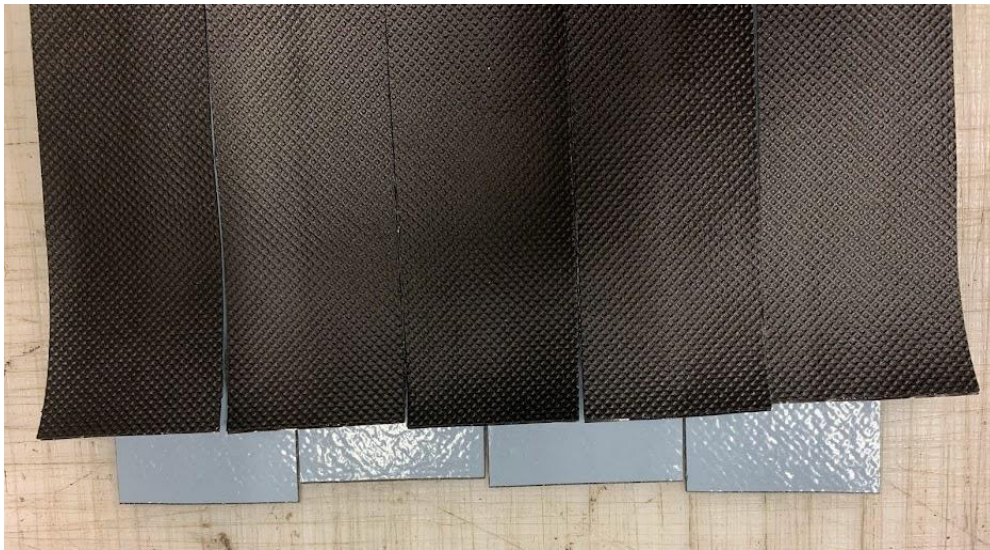


Figure 2: Visualization of overlapping bands in a test sample. The picture is taken before the sample is glued together and circular samples of 174 mm are stamped out.

The prepared samples were stored in the test chamber for conditioning for two days before being mounted into sample containers. The test chamber was kept stable within the requirements of NS-EN ISO 12572:2016, i.e. temperature ( $23 \pm 5$ ) °C and a relative humidity (RH) of ( $50 \pm 5$ ) % [29].

Before the sample containers are mounted, the thickness of each sample was measured using callipers. The thickness was measured at five random points on the sample, and the reported thickness is the average of all measurements for a series of samples. Several of the products contain a reinforcing mesh, making the thickness variable and difficult to measure.

A sample container consists of a cup, a saline solution, the sample, and a sealant. The cup was filled with a saturated solution of potassium nitrate,  $\text{KNO}_3$ , up to 15 mm below the sample. The sample was mounted centrally over the cup, with the back side facing the saline solution. A metal ring was used to hold the sealant in place while it hardened. The sealant consisted of 300 g modelling clay and 60 g beeswax which was carefully heated and poured between the metal ring and the edge of the cup. When the sealant had hardened, the metal ring was removed and the sample container was ready, as shown in Figure 3.



Figure 3: Prepared sample container.

### 2.3 Test procedure

The sample containers were weighed using a precision scale inside the test chamber [29]. The scale has an accuracy of 0.001 g and is protected from air currents inside a glass box. Before and after each measurement series, the scale was calibrated using a 1000 g control weight. In addition, climate data for the period between measurements is registered. The average temperature, RH, and barometric pressure in the chamber were logged in a spreadsheet along with the measured weight of the samples. The spreadsheet calculated the water vapour permeability from the measured weight change of the sample container. If five consecutive measurements yielded a calculated permeability within  $\pm 5\%$  of the same value, the sample was considered stable.

The time interval between each measurement was dependent on the assumed vapour permeability of the product (which may be declared by the manufacturer, estimated from the characteristics of the sample, or the approximate value will become apparent after a few measurements). Table 2 shows the relation between vapour permeability and the time interval between measurements, as determined by SINTEF's internal measurement procedures.

Table 2: Measuring intervals depending on the vapour permeability of the product.

sa-value	< 0.5 m	0.5 – 2 m	2 – 10 m	> 10 m	> 50 m
Measuring interval	Morning and afternoon	1 day	2 – 7 days	7 – 14 days	14 – 28 days

### 2.4 Simulation of moisture transport and mould growth

To evaluate the impact of vapour resistant adhesive joints, moisture transport is simulated in WUFI 2D (version 4.3). The simulation software includes thermal conduction and vapour diffusion. Convective transport of vapour and heat is disregarded. The aim of these calculations is to investigate whether vapour resistant adhesive joints prevent drying of roof assemblies. RH and temperature data are analysed for mould growth risk in the add-on program WUFI Mould Index VTT.

Certain input values remain unchanged throughout the calculations. The climatic parameters are selected for a worst-case scenario for moisture. The location of the simulated setup is hence chosen to be Kristiansund, a coastal town in north-western Norway, which experiences mild winters, cool summers, and frequent rain throughout the year. The roof is angled at  $30^\circ$ , facing north. The input parameters for the simulations are listed in Table 3. The combinations of parameter variants used in each simulation are listed in Table 6 and Table 7.

Table 3: Input parameters for the simulations in WUFI 2D and WUFI Mould Index VTT.

WUFI 2D settings	Standard parameters	Variations
Start date	September 1 <sup>st</sup>	April 1 <sup>st</sup>
Number of Time Steps	8760	
sa-value	32 m	18 m, 11 m
Placement of adhesive joint	Above rafter	Above insulation
Built-in moisture	20 %	18 %, 15 %
Distance between rafters (c/c)	600 mm	300 mm
Exterior climate	Kristiansund	Oslo, Tromsø, Trondheim
Orientation	North	
Inclination	$30^\circ$	
Short-Wave Radiation Absorptivity	0.8	
Indoor Climate Temperature	20 °C	
Indoor Relative Humidity	Humidity Class 2	

**WUFI Mould Index settings**

Sensitivity Class	Sensitive
Material Class	Relevant decline
Type of Surface	Planed
Type of Wood	Softwood
Occupant exposition class	Surfaces inside constructions without direct contact to indoor air

The model of the roof assembly is illustrated in Figure 44. It is identical for all simulations, except the placement of the adhesive joint. The model is symmetrical along the adiabatic border. The rafters are 48 mm × 350 mm structural beams of Scandinavian spruce. The chosen thickness in combination with structural timber causes a high level of moisture compared to other available concepts but is still a commonly built roof assembly. The roof insulation consists of mineral wool between the rafters. A breather membrane is mounted as an underlay roof across the rafters, along the top of the mineral wool layer. The adhesive joint is laid parallel to the rafters, either directly atop the rafters or above the mineral wool layer. Rolled membrane sheets are usually laid perpendicular to the rafters but can also be laid in parallel. In this study, the parallel direction is chosen because it creates the most conservative situation, while also being feasible to simulate in WUFI 2D. The name and properties of materials used in simulations are listed in Table 4.

Table 4: Material properties from WUFI 2D.

Materials	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Heat conductivity [W/mK]	s <sub>a</sub> -value [m]
Scandinavian spruce transverse direction II	390	0.13	38
Mineral Wool	60	0.040	0.46
Breather membrane	210	2.3	0.099
Adhesive joint	210	2.3	32, 18, 11

The setup includes a ventilated air cavity and roof tiles. The air cavity is divided into three layers, where the inner- and outermost layers have higher moisture capacity than the middle layer, to create a more realistic approximation of the drainage and drying effect of the air cavity.

On the interior side, the assembly ends with a transition layer to the interior climate. The vapour barrier, thermally insulated battening, and interior cladding are excluded to reduce the computation time. This simplification does not affect drying in the exterior region of the assembly.

The examined output of the simulations is hourly data for temperature and relative humidity in the monitoring point, which is moved between the two positions shown in Figure 4 depending on the location of the adhesive joint (above rafter or above insulation). The monitoring point is always located close to the adiabatic border, right below the adhesive joint.

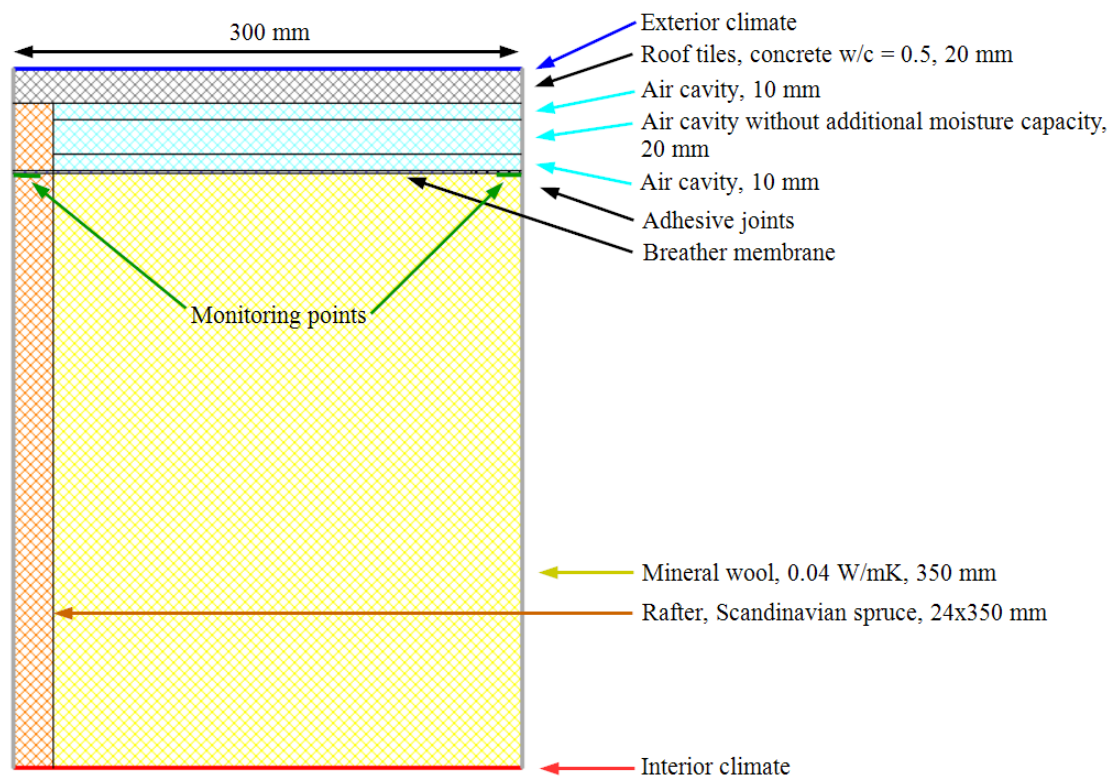


Figure 44: Roof geometry simulated in WUFI 2D.

The results of the WUFI 2D simulation are analysed for mould growth risk, using the accessory plugin WUFI Mould Index VTT. The analysis is based on a mathematical model, outputting a mould growth index from 0 to 6 [30,31]. The model takes into account both the relative humidity, temperature, time and type of material. The index is annotated using a “traffic light model”, where a green label means acceptable risk, yellow means the solution should be evaluated further, and red means additional measures are necessary. The requirements for the different colours depend on which part of the structure is analysed. For materials not in direct contact with interior air, a mould growth index of 3 should not be exceeded. This requirement is relevant for the assessment of mould growth under the adhesive joints of breather membranes. The threshold between the green and yellow level was set to be 2.0.

### 3. Results

The results from the laboratory measurements are presented in Table 5, alongside the measured and declared vapour permeability of the membrane itself. The products are annotated A to K for the purposes of anonymization. The column furthest to the right lists the standard deviations of each measurement series. Note that measurement series B and B\* represent the same product, with samples produced from the same sheet specimen, measured a few months apart. The same is true of series I and I\*. The difference in measured values between the series highlights the challenge of measuring the material properties of some products. Product B was found to be particularly troublesome, with  $s_d$ -values stabilizing anywhere between 3.4 and 15 meters for different samples prepared from the same specimen. It is conjectured that the adhesive of this product may be applied unevenly during the manufacturing process, which could explain the large discrepancies. Tables 6 and 7 present the parameters of the WUFI simulations and show the mould growth index for each simulation case in the bottom row. Note that Table 7 is a continuation of Table 6.



Table 5: Results from laboratory measurements compared to declared and measured water vapour resistance of breather membrane. Measured  $s_a$ -value of breather membranes are collected from SINTEF archives. Declarations of performance are gathered from SINTEF Technical Approval or the product datasheets. Test series marked with an asterisk (\*) are the results from preliminary studies.

Product identification	Measured $s_a$ -value of breather membrane [m]	$s_a$ -value from declaration of performance [m]	Measured $s_a$ -value of adhesive joints [m]	Standard deviation of adhesive joints [m]
A	0.18	$\leq 0.14$	32	1.4
B	0.073	$\leq 0.08$	8.1	3.9
B*	0.073	$\leq 0.08$	7.5	4.7
C	-	$\leq 0.06$	2.9	0.74
D	-	0.08 -0.02/+0.10	1.5	0.053
E	0.20	0.08 (0.05-0.19)	1.1	0.032
F	0.027	0.03	3.7	0.41
G	0.10	$\leq 0.10$	4.8	1.1
H	-	0.03 +/-0.02	1.7	0.12
I	0.077	0.06 +/-0.01	11	0.20
I*	0.077	0.06 +/-0.01	10	0.27
J	0.12	0.12	18	0.38
K	0.049	0.03 +/-0.02	1.7	0.033

Table 6: Parameter study and results from simulation in WUFI 2D and WUFI Mould Index VTT. Calculation 1 – 15.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Adhesive joint above rafter	X	X			X	X			X	X	X	X	X	X	X
Adhesive joint above insulation			X	X			X	X							
Start date: September 1 <sup>st</sup>	X		X		X		X		X		X	X	X	X	X
Start date: April 1 <sup>st</sup>		X		X		X		X		X					
Vapour resistance adhesive joints: 32 m	X	X	X	X							X			X	
Vapour resistance adhesive joints: 18 m					X	X	X	X				X			X
Vapour resistance adhesive joints: 11 m									X	X			X		
Exterior Climate: Kristiansund	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Exterior Climate: Oslo											X	X	X		
Exterior Climate: Tromsø														X	X
Exterior Climate: Trondheim															
Built-in Moisture: 20%	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Built-in Moisture: 18%															
Built-in Moisture: 15%															
c/c: 600 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
c/c: 300 mm															
<b>Mould Index:</b>	<b>3.4</b>	<b>1.7</b>	<b>0.5</b>	<b>0.1</b>	<b>3.2</b>	<b>1.6</b>	<b>0.4</b>	<b>0.1</b>	<b>2.5</b>	<b>1.5</b>	<b>2.1</b>	<b>1.9</b>	<b>1.4</b>	<b>1.9</b>	<b>1.8</b>

Table 7: Parameter study and result from simulation in WUFI 2D and WUFI Mould Index VTT. Calculation 16 – 30.

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Adhesive joint above rafter	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Adhesive joint above insulation															
Start date: September 1 <sup>st</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Start date: April 1 <sup>st</sup>															
Vapour resistance adhesive joints: 32 m		X			X	X			X			X			X
Vapour resistance adhesive joints: 18 m			X				X	X		X			X		
Vapour resistance adhesive joints: 11 m	X			X							X			X	
Exterior Climate: Kristiansund					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Exterior Climate: Oslo															
Exterior Climate: Tromsø	X														
Exterior Climate: Trondheim		X	X	X											
Built-in Moisture: 20%	X	X	X	X					X	X	X				
Built-in Moisture: 18%					X		X					X	X	X	
Built-in Moisture: 15%						X		X							X
c/c: 600 mm	X	X	X	X	X	X	X	X							
c/c: 300 mm									X	X	X	X	X	X	X
<b>Mould Index</b>	1.4	3.1	2.9	2.5	2.1	0.9	1.9	0.8	4.3	4.2	3.7	3.1	2.9	2.3	1.6

272  
273274  
275

## 4. Discussion

276

### 4.1 Determination of water vapour resistance

277

A trend observed through the laboratory measurements is that the products behave quite differently and exhibit various degrees of vapour permeability. Some products reach a stable change in weight after a short time and only require the minimum number of measurements before an  $s_a$ -value can be determined. Others appear to become more vapour permeable as time goes on and need several months before the permeability stabilizes. None of the sample containers show signs of salt efflorescence or other visible defects that could have compromised the measurements.

278  
279  
280  
281  
282  
283  
284

Two of the eleven tested products were measured twice. Product B exhibited very inconsistent properties (large standard deviation) in the first round of measurements and was re-tested in an attempt to verify its vapour permeability with greater accuracy. Product I was re-tested alongside it to verify the consistency of the methodology. As seen in Table 5, the series B and B\* exhibit very large standard deviations and different mean values, so even though the measurement series behave alike it is not possible to accurately determine a vapour permeability for product B. Product I, which was also tested again, exhibited a much more consistent behaviour with comparable results between the two measurement series. As such, the issue appears to lie with product B and not the measurement procedure. However, it remains unknown why the vapour resistance of product I has increased by 10% (from 10 to 11 m) between measurements, since the samples are created from the same sheet of membrane product. The time difference of 4 months between measurements may be conjectured to have some influence, but this remains untested.

285  
286  
287  
288  
289  
290  
291  
292  
293  
294  
295  
296  
297  
298

The ribbons made from the adhesive strips of the various products are mounted parallelly with an overlap of roughly half a ribbon's width to ensure that vapour does not

299  
300

leak through the joints but diffuses through the material. Product J features the narrowest adhesive strip at 30 mm, thus having the most ribbons and so the most joints per sample out of all the products. Even so, the vapour resistance of product J is one of the highest among all the tested products ( $s_a$ -value of 18 m). Conversely, product E is the most vapour permeable ( $s_a$ -value of 1.1 m), yet it has the widest adhesive strips (75 mm) and hence the fewest joints per sample among the products. These examples show that there is no clear correlation between the number of joints per sample and the amount of vapour permeating through. It can also be inferred that the method for creating the samples adequately maintains sample integrity. The adhesive covers the entire surface of the sample ribbons, the overlap in the joints is large, and the ribbons are laid together against a flat surface, which should result in airtight joints. Measurement results appear to indicate that satisfactory airtightness was achieved.

#### 4.2 Measured water vapour resistance

The breather membranes exhibit a large variation in the vapour resistance of its adhesive joints. Neither of the tested products can be considered vapour open, as their  $s_a$ -value is greater than 0.5 m. The most vapour open adhesive joints have an  $s_a$ -value of 1.1 m, while the most vapour tight is 32 m. Many of the products exhibit quite low vapour resistance, between 1 and 3 meters. These products can be considered unproblematic in terms of moisture and mould growth, as the adhesive joints comprise a very small portion of the roof surface. The vapour resistance of 32 meters is presumably an extreme value for products in this segment, but it may prove unfortunate if several conditions coincide to facilitate mould growth.

There appears to be no correlation between the vapour resistance of the membrane and the adhesive joints, as illustrated by product E which has the highest  $s_a$ -value out of all the membrane sheets but the lowest among the adhesive joints. No correlation has been observed between the thickness of the samples and their vapour resistance as well. At 2.10 mm on average, product B makes the thickest samples, but a very inconsistent  $s_a$ -value, between 3.4 and 15 m. Product A has the second thickest samples (1.83 mm) and the highest  $s_a$ -value at 32 m but is barely thicker than the most vapour open product, E, whose samples are 1.80 mm thick on average.

#### 4.3 Implications

Simulations in WUFI 2D and WUFI Mould Index VTT show that several conditions must be fulfilled before vapour tight adhesive joints may cause any significant mould growth. Through 30 simulations, multiple parameters are investigated to determine their significance for mould growth risk in a roof assembly featuring vapour tight adhesive joints.

The most vapour tight adhesive joint ( $s_a$ -value 32 m) is chosen as the baseline value, with the second and third least permeable products ( $s_a$ -values 18 and 11 m) used as variations. These are the three least permeable products found in the laboratory investigation and are not representative for all products on the market but chosen to test the most critical situation. Even so, no combination of conditions was found to result in mould growth when the adhesive joint was placed over the insulation layer. With the joint placed along the rafters, moisture and vapour may be prevented from diffusing through the breather membrane, which may result in mould growth. It is also seen that the time at which the roof is completed (and hence, the transport of built-in moisture begins), plays a significant role for mould growth. Every simulation that begins in April yields low levels of mould growth risk, as the warm spring weather causes the structure to dry out relatively fast. Conversely, a roof completed in autumn faces higher risk. Of the four climate locations tested, Kristiansund is the least favourable, followed by Trondheim. In these locations, the most critical solution yields unacceptable mould risk for all three types of adhesive joints. In Oslo, only the least permeable joint creates issues, while in Tromsø none of the solutions

are considered unacceptable. Note that the calculations deliberately consider structural timber (rafters) of relatively large volume, thus containing a relatively large volume of built-in moisture. For instance, using wooden laminate I-beams (of less volume) instead of structural timber would drastically lower the risk. Calculations 20–23 also show that the risk is reduced if the initial wood moisture content is lowered from 20 weight-% to more sensible levels of 18 or 15%. The simulations also consider cases where the volume of wood in the assembly is doubled, by lowering the spacing of the rafters from 600 to 300 mm. This solution is uncommon but may be chosen in cases of long spans or around chimneys, windows, or other perforations of the roof assembly. This solution increases the moisture risk, but only to unacceptable levels when combined with high initial moisture content in the wood materials. At initial moisture levels of 15 weight-%, the combination vapour tight adhesive joints and high wood volume are not problematic.

Note also that the adhesive joints in the simulations are mounted parallel to the rafters, a different direction than what is usually the case. Assembly instructions recommend placing the joints perpendicular to the rafters instead. The chosen setup makes the adhesive joints cover a much larger portion of the rafters than is usually the case. This solution was chosen to make simulations more feasible and to investigate a more critical case. It is assumed that a conventional mounting of the adhesive joints will not lead to high risk of mould growth.

All told, for a well-built roof, the vapour permeability of adhesive joints does not appear to be critical for mould risk. Only when several unfortunate factors are combined, significant mould risk may occur.

However, the simulations do not consider defects, moisture leaking into the structure from humid indoor air, or rainwater intrusion. If moisture is periodically allowed to enter the roof assembly, mould growth may occur where vapour diffusion is prevented. Flaws, defects, or damage to the roof or the interior vapour barrier may all cause significant moisture intrusion. With vapour tight adhesive joints, the assembly may be at risk of mould growth if defects or leaks occur.

## 5. Conclusions

This article has presented an assessment of the water vapour resistance of adhesive joints of breather membranes used in ventilated roofs. The consistency of the laboratory results indicates that creating samples from adhesive strips of material is a sufficiently reliable way to measure water vapour resistance of these joints.

The study has found that the adhesive joints of commercially available breather membranes exhibit a water vapour resistance ranging from 1.1 to 32 meters, much higher than what is recommended for membrane products (< 0.5 m). However, the adhesive joints comprise only a very small portion of the total roof area. The membranes themselves were measured to have  $s_d$ -values ranging between 0.027 and 0.2 m. Computer simulations indicate that the risk of mould growth associated with the low permeability of adhesive joints is very low, and that a multitude of unfortunate factors need to coincide for significant mould growth to occur.

Future work on the topic should aim to validate the simulation results by investigating the performance of adhesive joints in full-scale tests, either in the field or in a laboratory setting. Unconventional joint solutions and geometries may also be investigated, for instance complex roofs where rafters and barrier layers may interact with windows, chimneys, or other perforations of the roof assembly.

**Supplementary Materials:** The following supporting information can be downloaded at: [www.mdpi.com/xxx/s1](http://www.mdpi.com/xxx/s1), Figure S1: title; Table S1: title; Video S1: title.

**Author Contributions:** Conceptualization, T.K.; methodology, F.E.F. and T.K.; software, F.E.F. and S.G.; validation, F.E.F., E.A. and T.K.; formal analysis, F.E.F.; investigation, F.E.F.; resources, T.K.; writing—original draft preparation, F.E.F. and E.A.; writing—review and editing, F.E.F. and E.A.;

visualization, F.E.F.; supervision, S.G. and T.K.; project administration, T.K.; funding acquisition, T.K. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by the Research Council of Norway, grant number 237859.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** Not applicable.

**Acknowledgments:** The work is carried out as part of the research projects *SFI Klima 2050 – Climate adaptation of buildings and infrastructure* and *TightEN*. The authors would like to extend grateful thanks to laboratory technician Ole Aunrønning and CAD operator Remy Eik.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

- European Commission Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings 2021.
- Kommunal- og regionaldepartementet Meld. St. 28 (2011–2012) Available online: <https://www.regjeringen.no/nn/dokumenter/meld-st-28-20112012/id685179/> (accessed on 21 February 2022).
- Hanssen-Bauer, I.; Førland, E.J.; Haddeland, I.; Hisdal, H.; Mayer, S.; Nesje, A.; Nilsen, J.E.Ø.; Sandven, S.; Sandø, A.B.; Sorteberg, A.; et al. Klima i Norge 2100 - Miljødirektoratet Available online: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2015/september-2015/klima-i-norge-2100/> (accessed on 23 February 2022).
- Climate Change 2014: Synthesis Report*; Pachauri, R.K., Mayer, L., Intergovernmental Panel on Climate Change, Eds.; Intergovernmental Panel on Climate Change: Geneva, Switzerland, 2015; ISBN 978-92-9169-143-2.
- Thodesen, B.; Kvande, T.; Tajet, H.T.T.; Time, B.; Lohne, J. Adapting Green-Blue Roofs to Nordic Climate. *NA* **2018**, *30*.
- Lisø, K.R. Building Envelope Performance Assessments in Harsh Climates: Methods for Geographically Dependent Design. Doctoral thesis, Norwegian University of Science and Technology: Trondheim, Norway, 2006.
- Bunkholt, N.S.; Gullbrekken, L.; Kvande, T. Influence of Local Weather Conditions on Ventilation of a Pitched Wooden Roof. *37-45* **2020**, doi:10.17265/1934-7359/2020.01.004.
- Ingebretsen, S.B.; Andenæs, E.; Kvande, T. Microclimate of Air Cavities in Ventilated Roof and Façade Systems in Nordic Climates. *Buildings* **2022**, *12*, 683, doi:10.3390/buildings12050683.
- Einstabland, H. *Undertak*. Byggforskserien 525.866, SINTEF Community. (2009)
- Frank U. Vogdt Determination of Driving Rain Resistance of Breathable Membranes 2020.
- Würth Underlay Membrane and Roof Protection Film WÜTOP Thermo ND Plus 2022.
- Masterplast Group Catalogues - Masterplast Available online: [https://www.masterplastinternational.com/document\\_category/catalogues-en-2/](https://www.masterplastinternational.com/document_category/catalogues-en-2/) (accessed on 20 May 2022).
- BMI Redland Divoroll Elite 200 2S 2019.
- DuPont - DuPont Tyvek 2018.
- Geving, S.; Thue, J.V. *Håndbok 50 - Fukt i Bygninger*; Norges byggforskningsinstitutt: Oslo, 2002; ISBN 978-82-536-0747-4.
- Fufa, S.M.; Labonnote, N.; Frank, S.; Rütther, P.; Jelle, B.P. Durability Evaluation of Adhesive Tapes for Building Applications. *Construction and Building Materials* **2018**, *161*, 528–538, doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.11.056.
- Kalamees, T.; Alev, Ü.; Pärnalaas, M. Air Leakage Levels in Timber Frame Building Envelope Joints. *Building and Environment* **2017**, *116*, 121–129, doi:10.1016/j.buildenv.2017.02.011.
- Johnsen, I.-H.; Andenæs, E.; Gullbrekken, L.; Kvande, T. Vapour Resistance of Wind Barrier Tape: Laboratory Measurements and Hygrothermal Performance Implications. *Journal of Building Physics* **2021**, *17442591211057188*, doi:10.1177/17442591211057188.
- Nilsen, M.S. *Vanndampmotstanden Til Tapen På Kombinert Undertak Og Vindsperre*; Masteroppgave NTNU. Upublisert, 2021;
- Thue, J.V. *Bygningsfysikk. Grunnlag*; Fagbokforlaget: Bergen, 2016; ISBN 978-82-450-1994-0.
- Bøhlerengen, T. *Fukt i Bygninger. Teorigrunnlag*. Byggforskserien 421.132, SINTEF Community. (2018)
- Gullbrekken, L.; Kvande, T.; Jelle, B.P.; Time, B. Norwegian Pitched Roof Defects. *Buildings* **2016**, *6*, 24, doi:10.3390/buildings6020024.
- Bunkholt, N.S.; Gullbrekken, L.; Time, B.; Kvande, T. Process Induced Building Defects in Norway – Development and Climate Risks. *J. Phys.: Conf. Ser.* **2021**, *2069*, 012040, doi:10.1088/1742-6596/2069/1/012040.
- Josephson, P.-E.; Hammarlund, Y. The Causes and Costs of Defects in Construction: A Study of Seven Building Projects. *Automation in Construction* **1999**, *8*, 681–687, doi:10.1016/S0926-5805(98)00114-9.
- Mills, A.; Love, P.E.; Williams, P. Defect Costs in Residential Construction. *J. Constr. Eng.* **2009**, *135*, 12–16, doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:1(12).

- 
26. Andenæs, E.; Kvande, T.; Bohne, R.A. Footprints of Failure: Quantifying Carbon Impacts of Roof Leakages in a Single-Family Residential Building. *588* **2020**, doi:10.1088/1755-1315/588/4/042053. 459  
460
  27. SINTEF Certification SINTEF Technical Approval (TG) Available online: <https://www.sintefcertification.no/PortalPage/Index/283#TG> (accessed on 10 February 2022). 461  
462
  28. SINTEF Certification Roofing Underlays Available online: <https://www.sintefcertification.no/Contents/Index/19> (accessed on 10 February 2022). 463  
464
  29. ISO 12572:2016 Hygrothermal Performance of Building Materials and Products - Determination of Water Vapour Transmission Properties - Cup Method. 465  
466
  30. Viitanen, H.; Ritschkoff, A.-C. *Mould Growth in Pine and Spruce Sapwood in Relation to Air Humidity and Temperature*; Swedish University of Agricultural Sciences - Department of Forest Products: Uppsala, 1991; 467  
468
  31. Hukka, A.; Viitanen, H.A. A Mathematical Model of Mould Growth on Wooden Material. *Wood Science and Technology* **1999**, 469  
33, 475–485, doi:10.1007/s002260050131. 470  
471

## B Tykkelser av prøvestykker

Vedlegget viser mål for tykkelser av prøvestykkene. Tabellen viser at det er tatt fem mål av hvert prøvestykke for de produktene som er testet denne våren, produkt B til K. Produkt A ble testet i fjor høst og målene for tykkelse ble ikke dokumentert.

Målene er tatt på fem tilfeldige steder på hvert prøvestykke. Det beregnes et gjennomsnitt for prøvestykkets tykkelse. Til slutt brukes disse gjennomsnittsverdiene til å bestemme gjennomsnittlig tykkelse for hele serien. Den siste verdien for tykkelse benyttes i regnearket for beregning av dampmotstand.

I kolonnen helt til høyre vises tykkelsen av ett lag duk. Målene er tatt for å sammenligne med tykkelsen til klebeskjøtene. Enkelte produkter består av en kontinuerlig duk og har ingen variasjoner i materialet foruten limfelt langs sidekantene. Klebeskjøtene til disse produktene er derfor bygd opp av to lag med duk og et limsjikt i mellom. Ved å trekke fra to ganger dukens tykkelse kan en derfor finne tykkelsen på limet. Problemet er at noen produkter har ulik materialoppbygging ved klebefeltet. Dette gjelder spesielt produkter med tykke fleecel eller filtlag på undersiden til fuktmagasiner. Ofte opphører filtlaget innen klebefeltet, enten på både over- og underside eller bare på en av dem. Det gjør at limsjiktets tykkelse ikke kan bestemmes utfra tykkelsen til klebeskjøt og duk.





	Prøvestykke 1 [mm]	Prøvestykke 2 [mm]	Prøvestykke 3 [mm]	Prøvestykke 4 [mm]	Prøvestykke 5 [mm]	Gjennomsnittlig tykkelse [mm] (to lag + lim)	Tykkelse duk [mm] (1 lag)
B-1	2,07	2,12	2,18	2,11	2,1	2,116	
B-2	2,03	2,15	2,1	2,13	2,1	2,102	
B-3	2,09	2,07	2,03	2,13	2,12	2,088	
B-4	2,12	2,1	2,06	2,13	2,09	2,1	
B-5	2,12	2,18	2,04	2,06	2,15	2,11	
<b>Gjennomsnitt [mm]</b>						<b>2,1032</b>	<b>1,25</b>
C-1	1,29	1,30	1,37	1,28	1,29	1,31	
C-2	1,27	1,37	1,28	1,28	1,40	1,32	
C-3	1,38	1,41	1,24	1,31	1,35	1,34	
C-4	1,34	1,24	1,44	1,31	1,32	1,33	
C-5	1,26	1,35	1,32	1,40	1,24	1,31	
<b>Gjennomsnitt [mm]</b>						<b>1,3216</b>	<b>0,7</b>
D-1	1,78	1,73	1,65	1,62	1,58	1,672	
D-2	1,6	1,58	1,61	1,6	1,66	1,61	
D-3	1,56	1,7	1,62	1,63	1,57	1,616	
D-4	1,61	1,56	1,64	1,64	1,69	1,628	
D-5	1,62	1,59	1,66	1,65	1,6	1,624	
<b>Gjennomsnitt [mm]</b>						<b>1,63</b>	<b>0,74</b>
E-1	1,85	1,79	1,87	1,78	1,85	1,828	
E-2	1,85	1,85	1,84	1,8	1,88	1,844	
E-3	1,77	1,72	1,8	1,76	1,79	1,768	
E-4	1,77	1,87	1,72	1,68	1,76	1,76	
E-5	1,79	1,81	1,88	1,79	1,77	1,808	
<b>Gjennomsnitt [mm]</b>						<b>1,8016</b>	<b>0,89</b>
F-1	1,39	1,32	1,35	1,33	1,28	1,334	
F-2	1,3	1,31	1,44	1,37	1,38	1,36	
F-3	1,32	1,24	1,33	1,26	1,35	1,3	
F-4	1,21	1,3	1,5	1,35	1,33	1,338	
F-5	1,33	1,32	1,29	1,31	1,37	1,324	
<b>Gjennomsnitt [mm]</b>						<b>1,3312</b>	<b>0,67</b>
G-1	1,55	1,59	1,62	1,58	1,5	1,568	
G-2	1,74	1,56	1,53	1,55	1,54	1,584	
G-3	1,6	1,55	1,54	1,53	1,5	1,544	
G-4	1,58	1,47	1,61	1,61	1,55	1,564	
G-5	1,59	1,57	1,57	1,6	1,53	1,572	
<b>Gjennomsnitt [mm]</b>						<b>1,5664</b>	<b>0,76</b>
H-1	1,62	1,59	1,63	1,45	1,56	1,57	
H-2	1,54	1,7	1,63	1,63	1,5	1,6	
H-3	1,65	1,64	1,61	1,63	1,5	1,606	
H-4	1,73	1,63	1,7	1,68	1,64	1,676	
H-5	1,53	1,66	1,65	1,63	1,57	1,608	
<b>Gjennomsnitt [mm]</b>						<b>1,612</b>	<b>1,21</b>
I-1	1,28	1,29	1,44	1,21	1,39	1,322	
I-2	1,41	1,38	1,42	1,24	1,28	1,346	
I-3	1,27	1,36	1,39	1,35	1,48	1,37	
I-4	1,31	1,37	1,26	1,37	1,29	1,32	
I-5	1,27	1,3	1,25	1,42	1,46	1,34	
<b>Gjennomsnitt [mm]</b>						<b>1,3396</b>	<b>0,89</b>
J-1	1,6	1,7	1,6	1,58	1,58	1,612	
J-2	1,62	1,59	1,65	1,57	1,63	1,612	
J-3	1,47	1,48	1,54	1,6	1,54	1,526	
J-4	1,55	1,6	1,59	1,58	1,51	1,566	
J-5	1,54	1,54	1,56	1,57	1,72	1,586	
<b>Gjennomsnitt [mm]</b>						<b>1,5804</b>	<b>0,76</b>
K-1	0,85	0,85	0,92	0,8	0,85	0,854	
K-2	0,84	0,86	0,78	0,91	0,84	0,846	
K-3	0,78	0,92	0,88	0,85	0,8	0,846	
K-4	0,8	0,84	0,85	0,81	0,88	0,836	
K-1	0,81	0,84	0,85	0,87	0,8	0,834	
<b>Gjennomsnitt [mm]</b>						<b>0,8432</b>	<b>0,58</b>



## **C Resultater fra laboratorieforsøket**

I dette vedlegget presenteres resultatene fra laboratorieforsøkene gjennomført i henhold til NS-EN ISO 12572:2016, koppmetoden. Produktnavnene er anonymisert med sorte bokser.

På førstesiden i rapportene er det oppgitt 164 mm prøvediameter. Dette målet tilsvarer størrelsen på prøvestykket der damp kan diffundere gjennom. Tidligere er det oppgitt at prøvestykkene har en diameter på 174 mm. 5 mm med forseglingsmasse langs kanten gjør at den ytterste delen ikke medregnes i området for prøvediameter.

Rapportens førsteside oppgir også dato for prøveperiode. Denne bes det sett bort fra, da datoene ikke stemmer for mesteparten av rapportene. De faktiske datoene for prøveperioden kan ses i regnearket med inndata på siste side av rapportene.



## C.1 Produkt A



**PROVINGS RAPPORT**  
Prøving av vanndampermeans etter ISO/DIS 12572

Produktnavn: XXXXXXXXXX  
Oppdragsgiver: Masteroppgave\_Fride  
Prosjektnummer: 32B  
Produkttype: Limsjikt undertak vindsperre

Tykkelse, mm: 1,83  
Målenummer: 32B  
Prøvediameter: (mm) 164  
Salttype i boksen: KNO<sub>3</sub>  
Prøveperiode: fra: 15.11.2021  
til: 13.12.2021

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,7
Temperatur i boksen (°C)	23,1
Temperatur i rommet (°C)	23,1
Barometertrykk (hPa)	1001,1

Lufth. over pr.(m/s): 0,3

Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

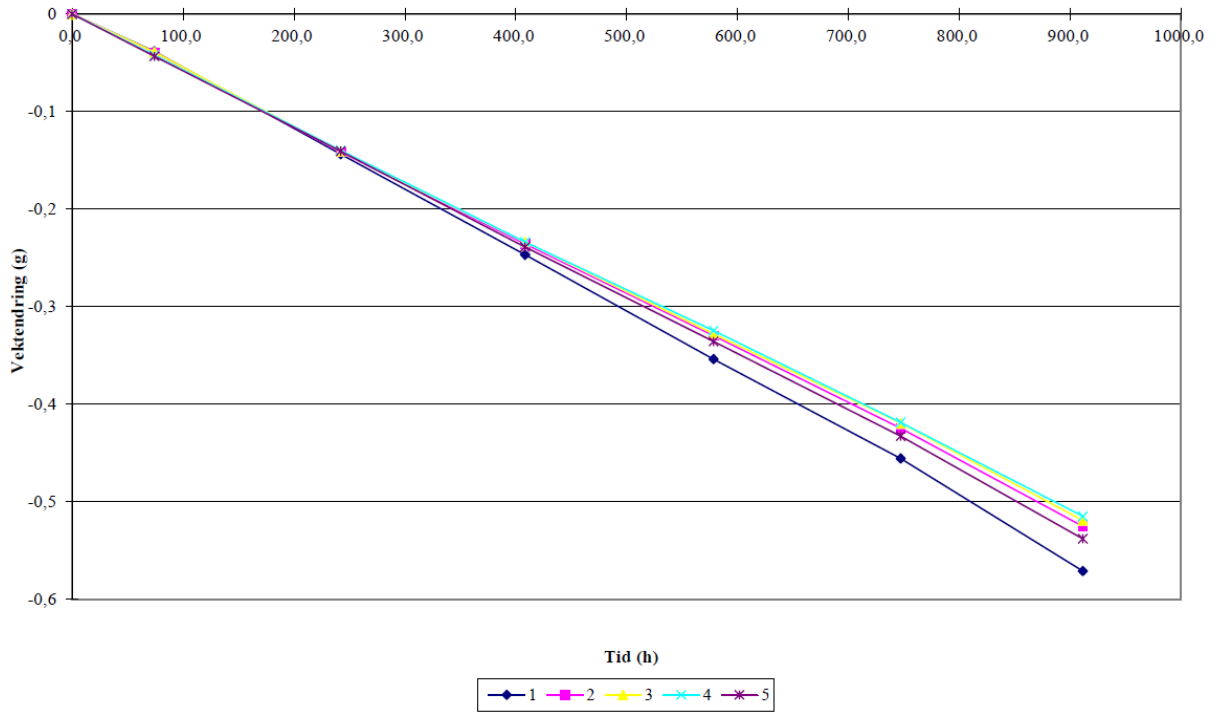
Prøve nummer	Vanndampermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	6,76E-12	29,000	1,48E+11
2	6,16E-12	32,000	1,62E+11
3	6,08E-12	32,000	1,64E+11
4	5,99E-12	33,000	1,67E+11
5	6,27E-12	32,000	1,59E+11
Middel	6,25E-12	32,000	1,60E+11

Tabell 2 Vanndampermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damptransport gjennom overlappsonen, og motstanden i luftlaget i boksen.

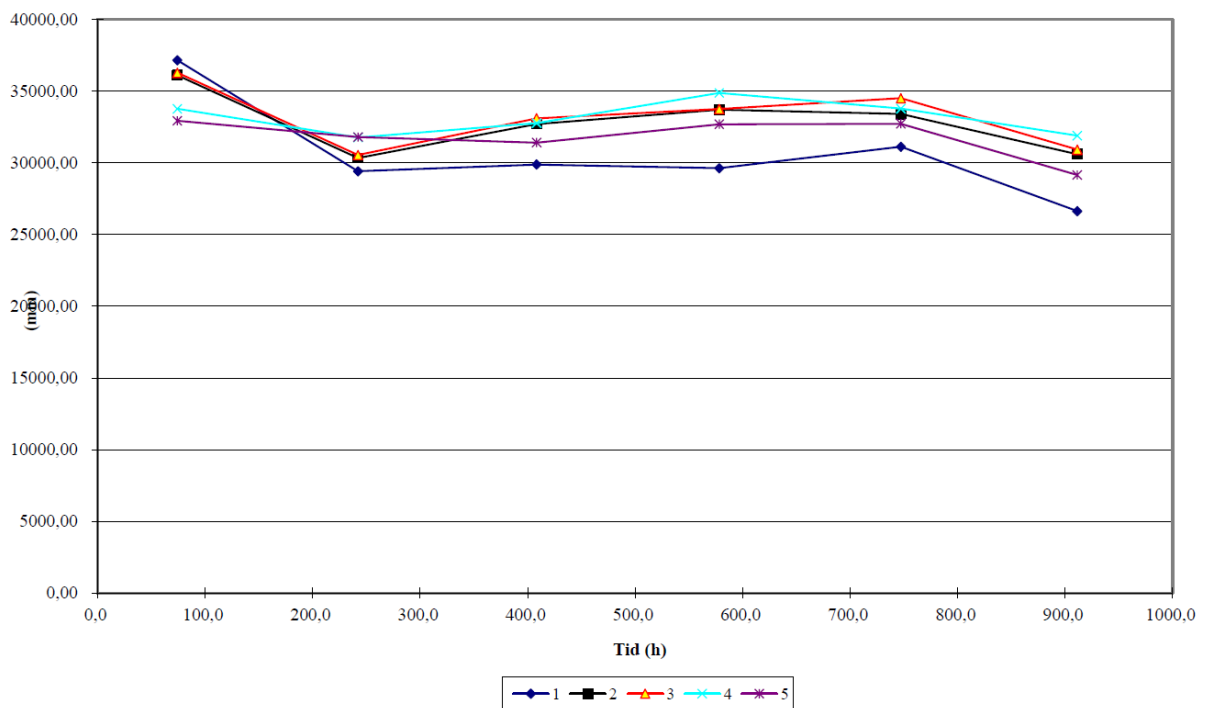
# VEKTENDRING

Vektendring siden start for de enkelte prøvene

32B [redacted] 94,1 - 50 %RH, Sd 32 m



Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



## Inndata for produkt A:

(1)Produktnavn:							Saltype:			KNO3				
(2)Oppdragsgiver:	Masteroppgave Fride						Prøvediameter (mm):			0,164				
(3)Prosjektnummer:	32B						Luftlag salt/prøve (mm):			15				
(4)Produkttype:	Limsjikt undertak vindsperre						Prøvest. diameter(mm):			0,174				
(5)Tykkelse, mm:	1,83						Lufth. over pr.(m/s):			0,3				
(6)Målenummer:	32B													
(12)Dato (CTRL+SHIFT+;):		05.11.2021	08.11.2021	15.11.2021	22.11.2021	29.11.2021	06.12.2021	13.12.2021						
(13)Tid (CTRL+SHIFT+;):		11:06	13:17	13:20	11:22	13:22	14:19	10:26						
(14)Beregning fra veiging:	3													
(15)Barometertrykk ved veiging, hPa:		998,77	1014,09	1015,11	1001,02	998,79	1010,16	1006,55						
(16)Barometertrykk i perioden, hPa:		998,77	1001,03	1009,32	999,83	999,41	996,71	1000,05						
(17)Temperatur luft over boks, °C:		23	23,8	23,1	23,1	23,11	23,12	23,12						
(18)Temperatur i saltløsning, °C:		23	23,8	23,1	23,1	23,11	23,12	23,12						
(19)RF i rommet, %		50	50,9	50,8	50,83	50,68	50,49	50,5						
(20)Veiging nummer:		1	2	3	4	5	6	7		8		9		10
(21)Vekt, g kontrollodd før veiging:		1000,001	999,997	1000,002	999,999	999,999	999,999	999,997						
(22)Vekt, g prøve nr.:	1	507,242	507,195	507,099	507,001	506,888	506,78	506,671						
(23)Vekt, g prøve nr.:	2	478,357	478,309	478,216	478,127	478,027	477,926	477,832						
(24)Vekt, g prøve nr.:	3	525,878	525,83	525,738	525,65	525,55	525,452	525,359						
(25)Vekt, g prøve nr.:	4	543,949	543,898	543,81	543,721	543,624	543,524	543,434						
(26)Vekt, g prøve nr.:	5	526,978	526,926	526,838	526,745	526,642	526,539	526,44						
(27)Vekt, g kontrollodd etter veiging:		1000,001	999,997	1000,004	1000,002	999,998	999,997	999,999						
Tekst i diagrammet Vektendring	32B Wütop Termo L 2SK, 94,1 - 50 %RH, Sd 32 m													





## C.2 Produkt B



**PROVINGS RAPPORT**  
**Prøving av vanndampermeans etter ISO/DIS 12572**

Produktnavn: XXXXXXXXXX  
Oppdragsgiver: Masteroppgave\_Fride  
Prosjektnummer: 33B  
Produkttype: Limsjikt undertak vindsperre

Tykkelse, mm: 2,1032  
Målenummer: 33B  
Provediameter: (mm) 164  
Salttype i boksen: KNO<sub>3</sub>  
Prøveperiode: fra: 03.03.2022  
til: 31.03.2022

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,7
Temperatur i boksen (°C)	23,1
Temperatur i rommet (°C)	23,1
Barometertrykk (hPa)	1016,2

Lufth. over pr.(m/s): 0,3

Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

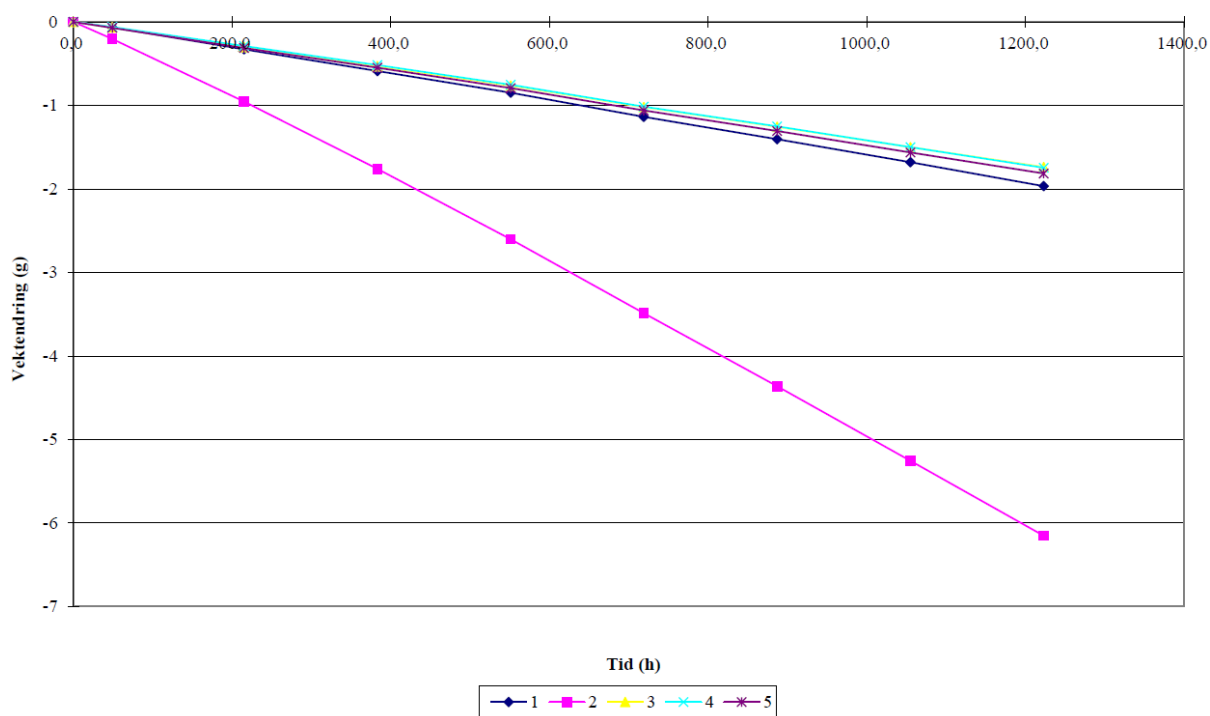
Prøve nummer	Vanndampermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,75E-11	11,000	5,72E+10
2	5,58E-11	3,500	1,79E+10
3	1,53E-11	13,000	6,54E+10
4	1,56E-11	12,000	6,42E+10
5	1,60E-11	12,000	6,24E+10
Middel	2,40E-11	8,100	4,16E+10

Tabell 2 Vanndampermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damptransport gjennom overlappsonen, og motstanden i luftlaget i boksen.

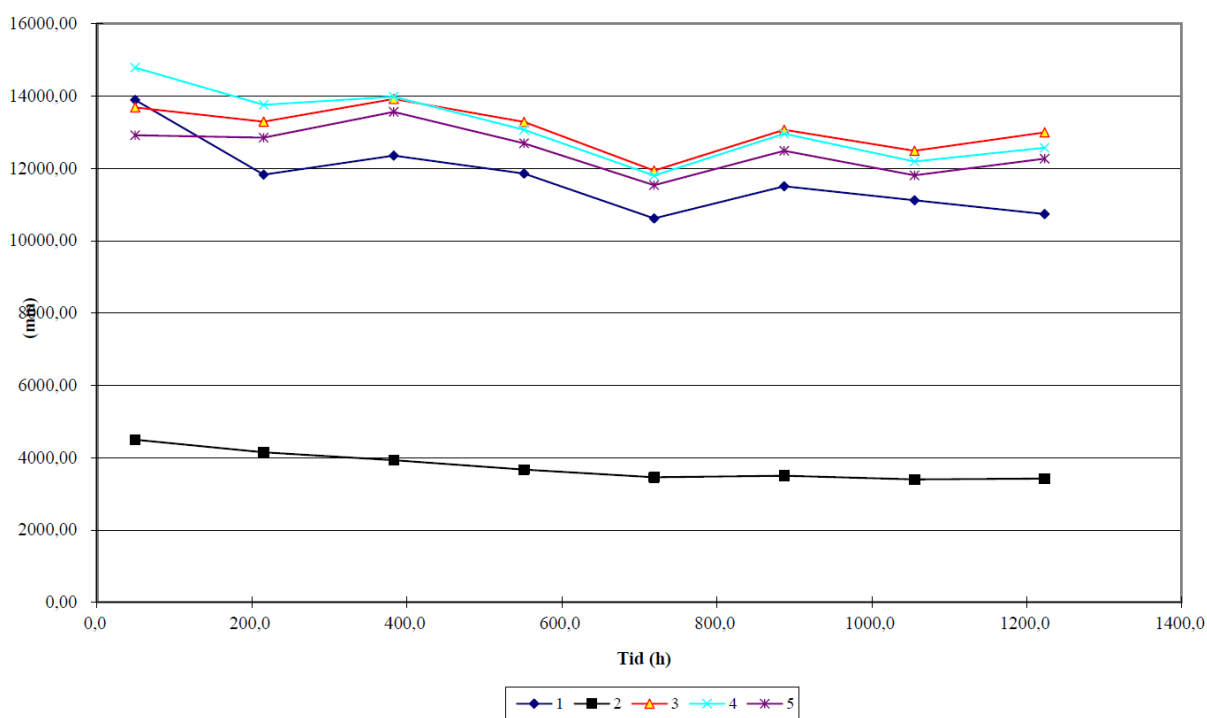
VEKTENDRING

Vektendring siden start for de enkelte prøvene

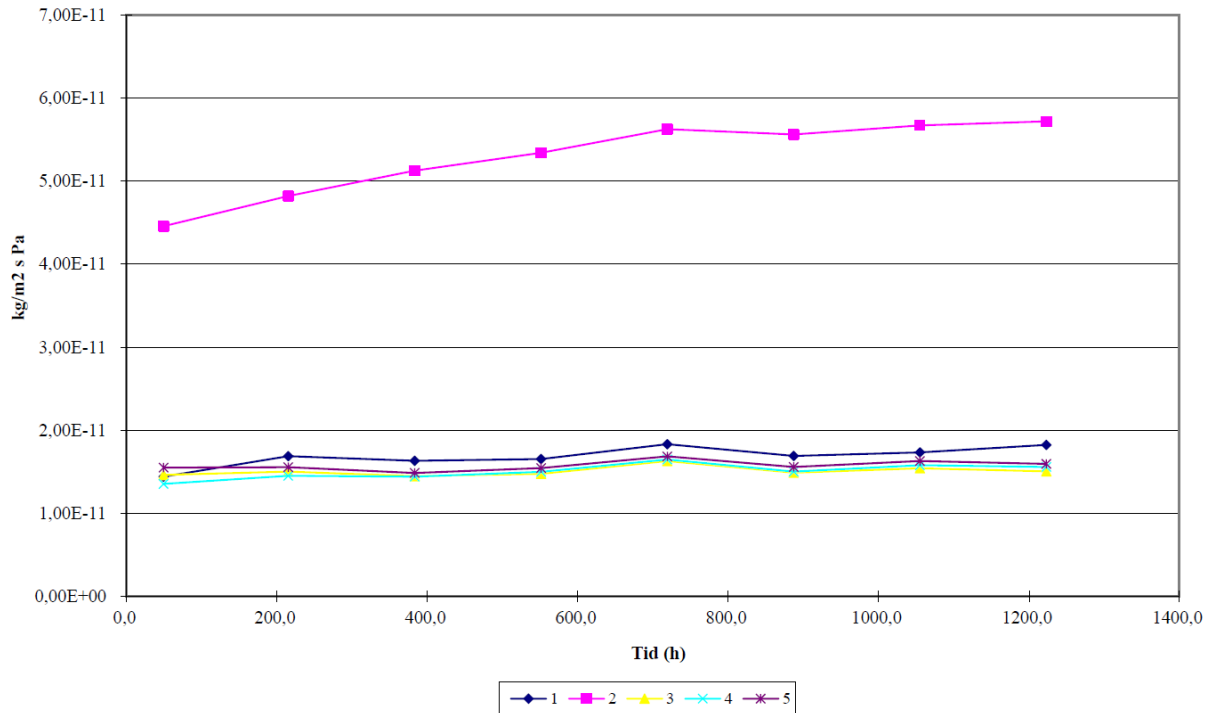
33B [redacted] 94.1 - 50 %RH, Sd 8.1 m



Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



### Vanndampgjennomgang i perioden



### Inndata for produkt B:

(1) Produktnavn:											
(2) Oppdragsgiver:	Masteroppgave_Fride										
(3) Prosjektnummer:	33B										
(4) Produkttype:	Linsjikt undertak vindsperre										
(5) Tykkelse, mm:	2,1032										
(6) Målenummer:	33B										
(12) Dato (CTRL-SHIFT-):	08.02.2022	10.02.2022	17.02.2022	24.02.2022	03.03.2022	10.03.2022	17.03.2022	24.03.2022	31.03.2022		
(13) Tid (CTRL-SHIFT-):	11:06	12:08	10:05	10:05	10:07	10:03	10:05	10:06	10:06		
(14) Beregning fra veing:	5										
(15) Barometertrykk ved veing, hPa:		989.2	990.79	971.26	976.76	1022.25	1013.83	1018.2	1015.86	1008.71	
(16) Barometertrykk i perioden, hPa:		989.2	987.48	989.94	981.74	1009.44	1017.01	1016.4	1027.09	1010.85	
(17) Temperatur luft over boks, °C:		23	23.08	23.09	23.09	23.12	23.1	23.1	23.1	23.09	
(18) Temperatur i saltløsning, °C:		23	23.08	23.09	23.09	23.12	23.1	23.1	23.1	23.09	
(19) RF i rommet, %		50	50.79	50.71	50.71	50.72	50.73	50.69	50.73	50.73	
(20) Veing nummer:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(21) Vekt, g kontrollodd for veing:		1000,001	1000	1000,002	1000,002	999,999	1000,000	1000	1000	999,999	
(22) Vekt, g prøve nr:	1	437,575	437,508	437,254	436,986	436,706	436,44	436,167	435,896	435,611	
(23) Vekt, g prøve nr:	2	453,172	452,967	452,227	451,41	450,55	449,689	448,808	447,919	447,023	
(24) Vekt, g prøve nr:	3	466,618	466,55	466,325	466,086	465,834	465,6	465,359	465,118	464,883	
(25) Vekt, g prøve nr:	4	494,284	494,221	494,004	493,766	493,51	493,273	493,03	492,783	492,54	
(26) Vekt, g prøve nr:	5	483,974	483,902	483,669	483,424	483,161	482,918	482,666	482,411	482,162	
(27) Vekt, g kontrollodd etter veing:		1000	1000,001	1000,001	1000,003	1000	999,999	999,999	999,998	1000,002	
Tekst i diagrammet Vektendring	33B	Icopal Ventex Supra, 94,1 - 50 %RH, Sd 8,1 m									



### C.3 Produkt C



**PROVINGS RAPPORT**  
**Prøving av vaundamppermeans etter ISO/DIS 12572**

Produktnavn:	██████████	Tykkelse, mm:	1,3224
Oppdragsgiver:	Masteroppgave_Fride	Målenummer:	34B
Prosjektnummer:	34B	Prøvediameter: (mm)	164
Produkttype:	Limsjikt undertak vindsperre	Salttype i boksen:	KNO3
		Prøveperiode: fra:	24.03.2022
		til:	26.04.2022

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,7
Temperatur i boksen (°C)	23,1
Temperatur i rommet (°C)	23,1
Barometertrykk (hPa)	1012,0

Lufth. over pr.(m/s): 0,3

Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

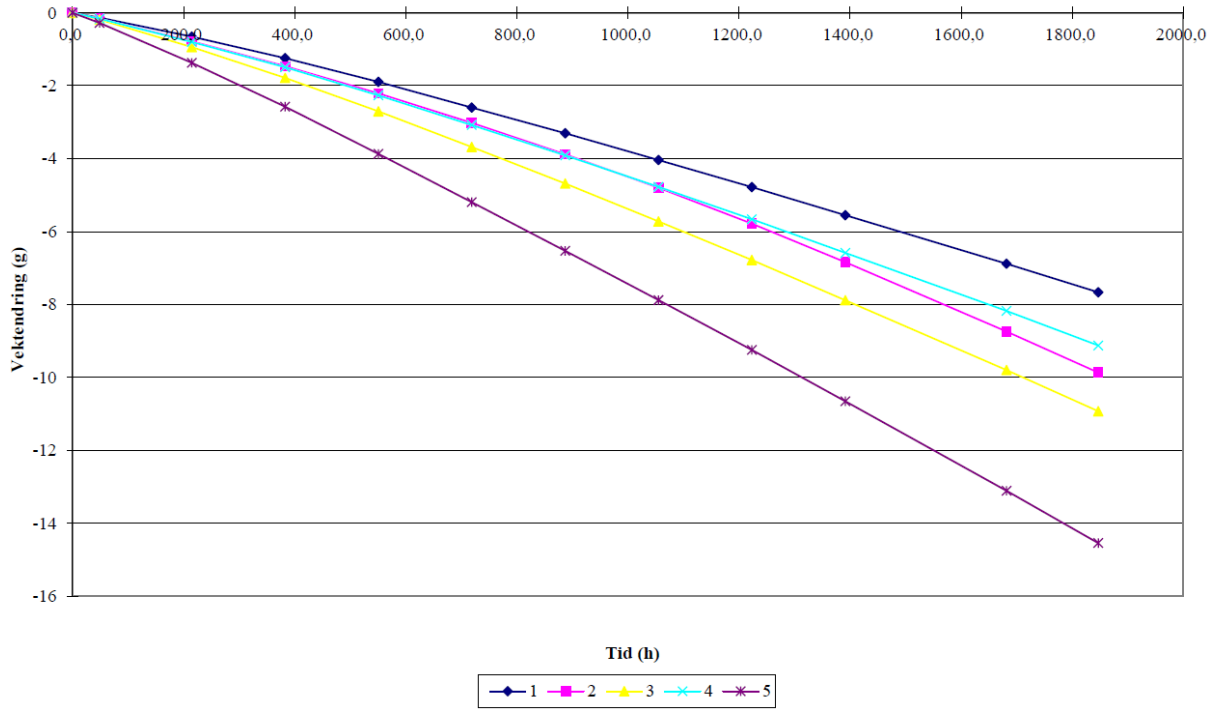
Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	4,88E-11	4,000	2,05E+10
2	6,72E-11	2,900	1,49E+10
3	7,00E-11	2,800	1,43E+10
4	5,84E-11	3,300	1,71E+10
5	9,01E-11	2,200	1,11E+10
Middel	6,69E-11	2,900	1,49E+10

Tabell 2 Vanndamppermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damptransport gjennom overlappsonen, og motstanden i luftlaget i boksen.

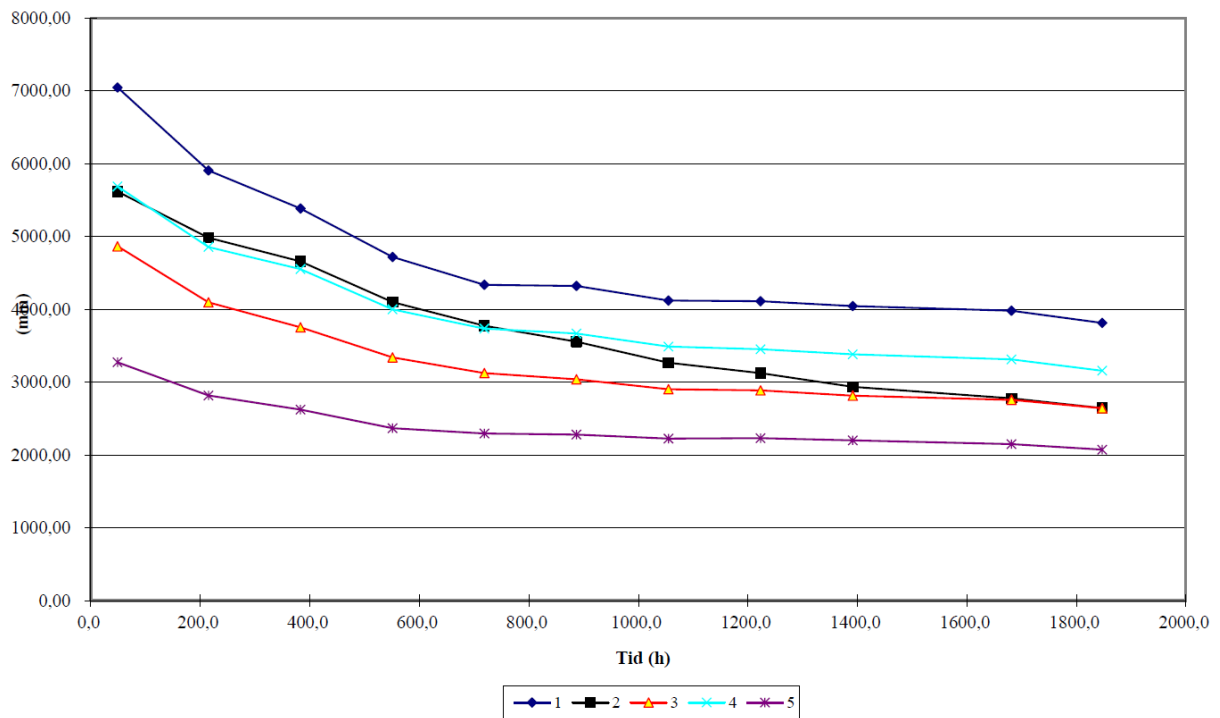
VEKTENDRING

Vektendring siden start for de enkelte prøvene

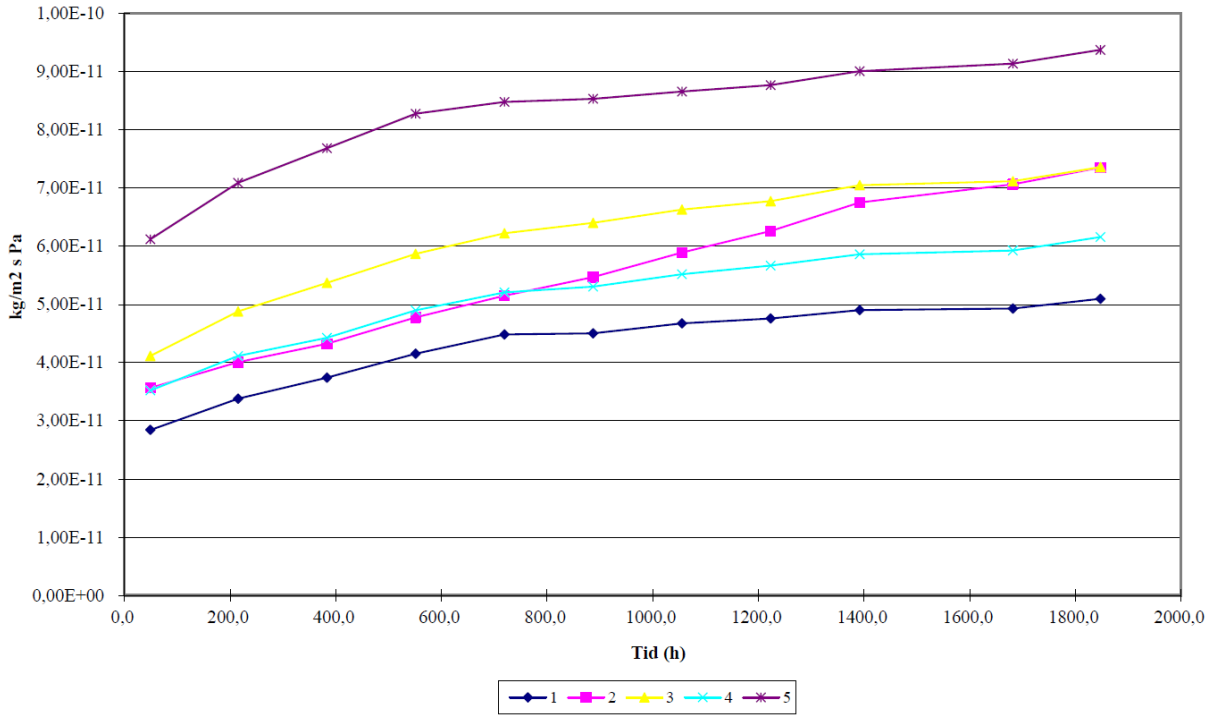
34B ██████████ 94,1 - 50 %RH, Sd 2,9 m



Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



### Vanndampgjennomgang i perioden



### Inndata for produkt C:

(1) Produktnavn:					Salttype:		KNO <sub>3</sub>											
(2) Oppdragsnavn:	Masteroppgave_Fride				Provediameter (mm):		0.164											
(3) Prosjektnummer:	34B				Lufflag saltprøve (mm):		15											
(4) Produkttype:	Linsjikt undertak vindsperre				Prøvest. diameter(mm):		0.174											
(5) Tykkelse, mm:	1.3224				Luffh. over pr. (m/s):		0.3											
(6) Måle nummer:	34B																	
(12) Dato (CTRL+SHIFT+...):		08.02.2022	10.02.2022	17.02.2022	24.02.2022	03.03.2022	10.03.2022	17.03.2022	24.03.2022	31.03.2022	07.04.2022	19.04.2022	26.04.2022					
(13) Tid (CTRL+SHIFT+...):		11:14	12:13	10:11	10:12	10:13	10:11	10:14	10:13	10:14	10:54	12:49	10:09					
(14) Beregning fra veing:	8																	
(15) Barometertrykk ved veing, hPa:		989.2	990.79	971.26	976.76	1022.25	1013.83	1018.2	1015.86	1008.71	981.49	1014.6	1018.15					
(16) Barometertrykk i perioden, hPa:		989.2	987.48	989.94	981.74	1009.44	1017.01	1016.4	1027.09	1010.85	997.32	1007.54	1017.25					
(17) Temperatur luft over boks, °C:		23	23.08	23.09	23.09	23.12	23.1	23.1	23.1	23.09	23.04	23.04	23.01					
(18) Temperatur i saltløsning, °C:		23	23.08	23.09	23.09	23.12	23.1	23.1	23.1	23.09	23.04	23.04	23.01					
(19) RF i rommet, %:		50	50.79	50.71	50.71	50.72	50.73	50.69	50.73	50.73	50.68	50.7	50.68					
(20) Veing nummer:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
(21) Vekt g kontrollodd for veing:		1000	1000.001	1000.002	1000.001	1000	999.999	1000.001	999.999	1000.000	1000	999.998	999.996					
(22) Vekt g prøve nr.:		1	465.827	465.696	465.181	464.583	463.913	463.232	462.52	461.789	461.046	460.284	458.929	458.137				
(23) Vekt g prøve nr.:		2	514.211	514.047	513.435	512.746	511.978	511.193	510.33	509.409	508.432	507.381	505.454	504.338				
(24) Vekt g prøve nr.:		3	502.759	502.57	501.834	500.972	500.034	499.082	498.074	497.038	495.981	494.884	492.943	491.836				
(25) Vekt g prøve nr.:		4	513.079	512.917	512.289	511.584	510.797	510.003	509.166	508.303	507.418	506.506	504.884	503.95				
(26) Vekt g prøve nr.:		5	528.868	528.588	527.502	526.29	524.977	523.675	522.336	520.986	519.62	518.219	515.74	514.317				
(27) Vekt g kontrollodd etter veing:			1000.002	999.999	1000.002	1000.002	999.998	1000	1000	999.998	1000	999.999	999.998	999.997				
Tekst i diagrammet Vektendring:		34B	Icopal Ventex Essential, 94.1 - 50 %RH, Sd 2.9 m															





## C.4 Produkt D



**PROVINGS RAPPORT**  
**Prøving av vanndampermeans etter ISO/DIS 12572**

Produktnavn: XXXXXXXXXX  
Oppdragsgiver: Masteroppgave\_Fride  
Prosjektnummer: 35B  
Produkttype: Limsjikt undertak vindsperre

Tykkelse, mm: 1,63  
Målenummer: 35B  
Prøvediameter: (mm) 164  
Salttype i boksen: KNO<sub>3</sub>  
Prøveperiode: fra: 10.02.2022  
                  til: 17.02.2022

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,7
Temperatur i boksen (°C)	23,1
Temperatur i rommet (°C)	23,1
Barometertrykk (hPa)	986,2

Lufth. over pr.(m/s): 0,3

Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

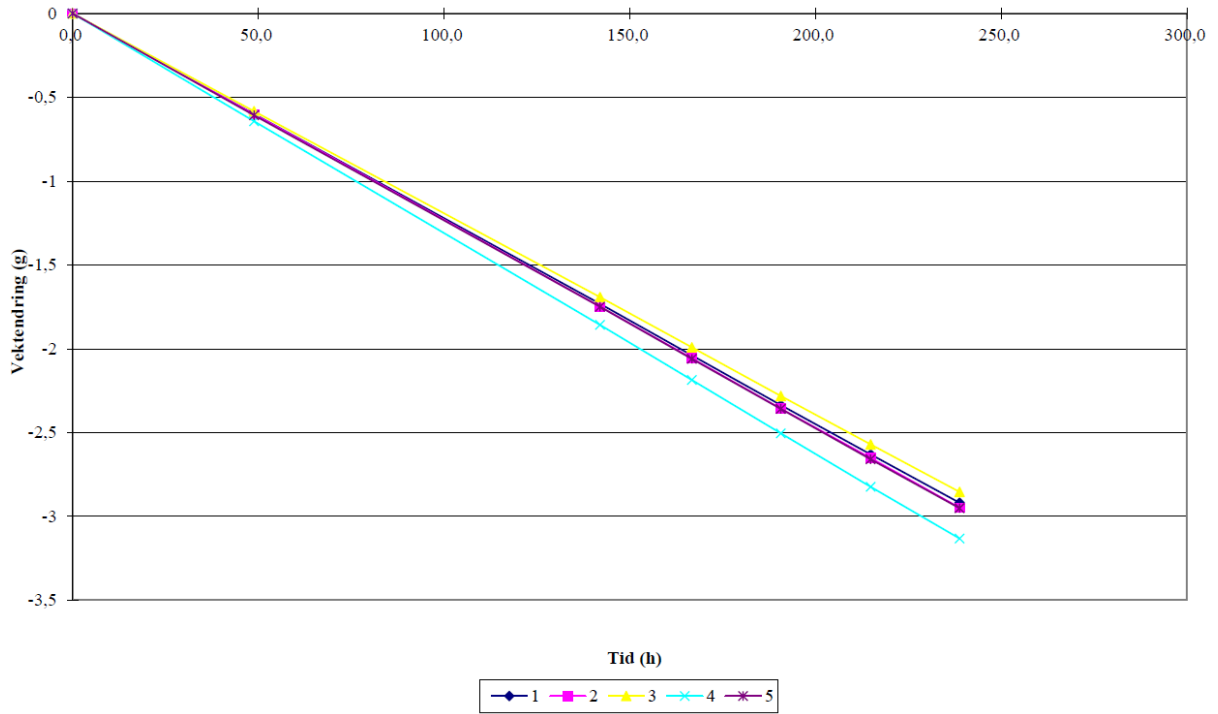
Prøve nummer	Vanndampermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,32E-10	1,500	7,57E+09
2	1,33E-10	1,500	7,51E+09
3	1,29E-10	1,600	7,74E+09
4	1,42E-10	1,400	7,04E+09
5	1,34E-10	1,500	7,48E+09
Middel	1,34E-10	1,500	7,46E+09

Tabell 2 Vanndampermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damprtransport gjennom overlappsonen, og motstanden i luftlaget i boksen.

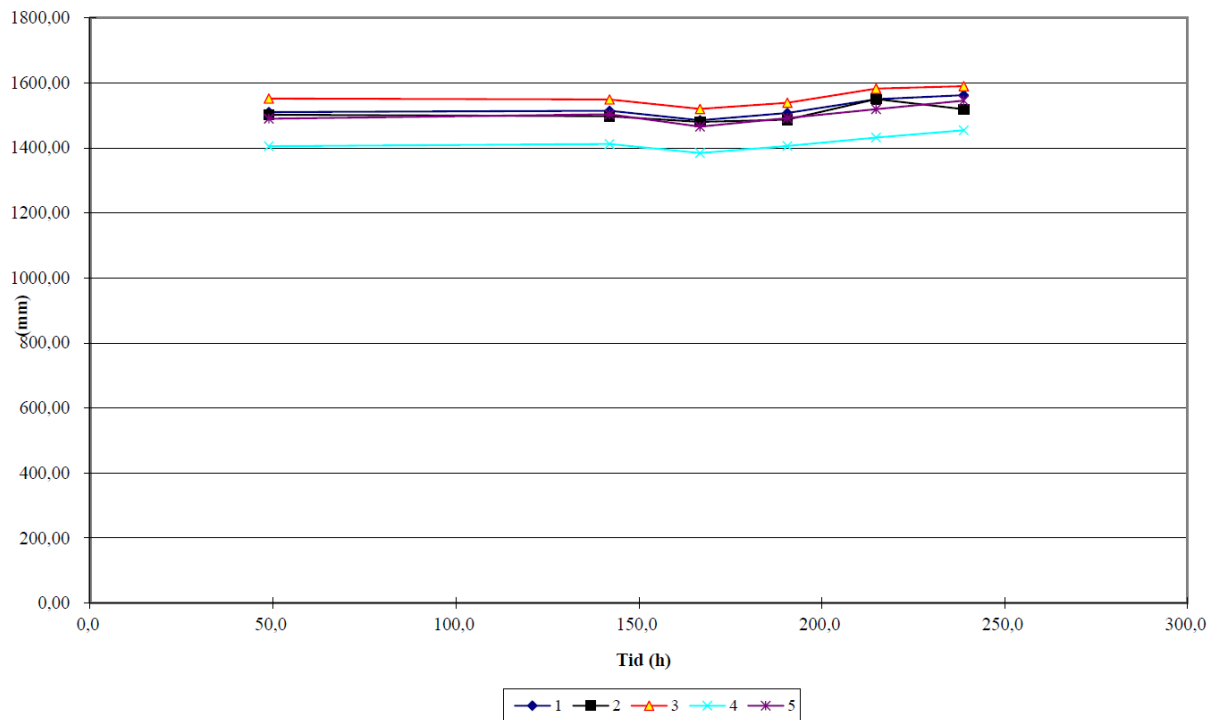
VEKTENDRING

Vektendring siden start for de enkelte prøvene

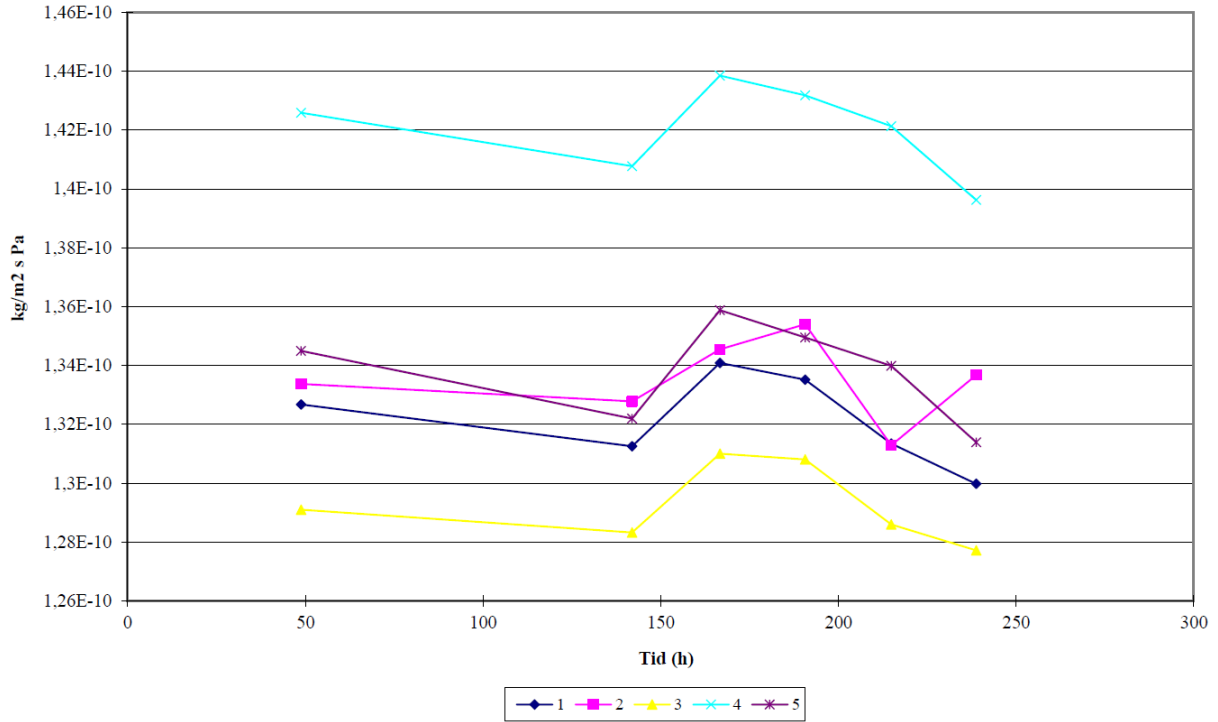
35B ██████████ 94,1 - 50 %RH, Sd 1,5 m



Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



Vanndampgjennomgang i perioden



Inndata for produkt D:

(1)Produktnavn:	Masteroppgave Fride				Saltpre:		KNO <sub>3</sub>			
(2)Oppdragsgiver:	35B				Provediameter (mm):	0,164				
(3)Prosjektnummer:	35B				Luftlag salt/prove (mm):	15				
(4)Produkttype:	Limsjikt undertak vindspærre				Provest. diameter(mm):	0,174				
(5)Tykkelse, mm:	1,63				Luftf. over pr.(m/s):	0,3				
(6)Målenummer:	35B									
(12)Dato (CTRL+SHIFT+ :)	08.02.2022	10.02.2022	14.02.2022	15.02.2022	16.02.2022	17.02.2022	18.02.2022			
(13)Tid (CTRL+SHIFT+ :)	11:28	12:18	09:26	10:09	10:05	10:19	10:15			
(14)Beregning fra veing:	2									
(15)Barometertrykk ved veing, hPa:	989,2	990,79	994,03	987,61	977,89	971,56	977,91			
(16)Barometertrykk i perioden, hPa:	989,2	987,48	995,25	993,56	982,74	972,06	974,32			
(17)Temperatur luft over boks, °C:	23	23,08	23,1	23,1	23,08	23,09	23,1			
(18)Temperatur i saltløsning, °C:	23	23,08	23,1	23,1	23,08	23,09	23,1			
(19)RF i rommet, %	50	50,79	50,72	50,71	50,7	50,73	50,77			
(20)Veing nummer:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(21)Vekt.g kontrolllodd for veing:	999,998	1000	999,999	999,999	1000,001	1000,000	1000,001			
(22)Vekt.g prove nr:	1	441,387	440,788	439,654	439,351	439,057	438,76	438,467		
(23)Vekt.g prove nr:	2	524,816	524,214	523,067	522,763	522,465	522,168	521,867		
(24)Vekt.g prove nr:	3	496,849	496,266	495,157	494,861	494,573	494,282	493,994		
(25)Vekt.g prove nr:	4	522,719	522,076	520,861	520,536	520,221	519,9	519,586		
(26)Vekt.g prove nr:	5	535,411	534,804	533,662	533,355	533,058	532,755	532,459		
(27)Vekt.g kontrolllodd etter veing:	999,998	999,999	1000	1000,001	1000,002	1000	1000,001			
Tekst i diagrammet Vektendring	35B Siga Majcoat 200, 94,1 • 50 %RH, Sd 1,5 m									



## C.5 Produkt E



**PROVINGS RAPPORT**  
**Prøving av vanndamppermeans etter ISO/DIS 12572**

Produktnavn: XXXXXXXXXX  
Oppdragsgiver: Masteroppgave\_Fride  
Prosjektnummer: 36B  
Produkttype: Limsjikt undertak vindsperre

Tykkelse, mm: 1,8016  
Målenummer: 36B  
Prøvediameter: (mm) 164  
Salttype i boksen: KNO<sub>3</sub>  
Prøveperiode: fra: 10.02.2022  
til: 17.02.2022

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,7
Temperatur i boksen (°C)	23,1
Temperatur i rommet (°C)	23,1
Barometertrykk (hPa)	986,2

Lufth. over pr.(m/s): 0,3

Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

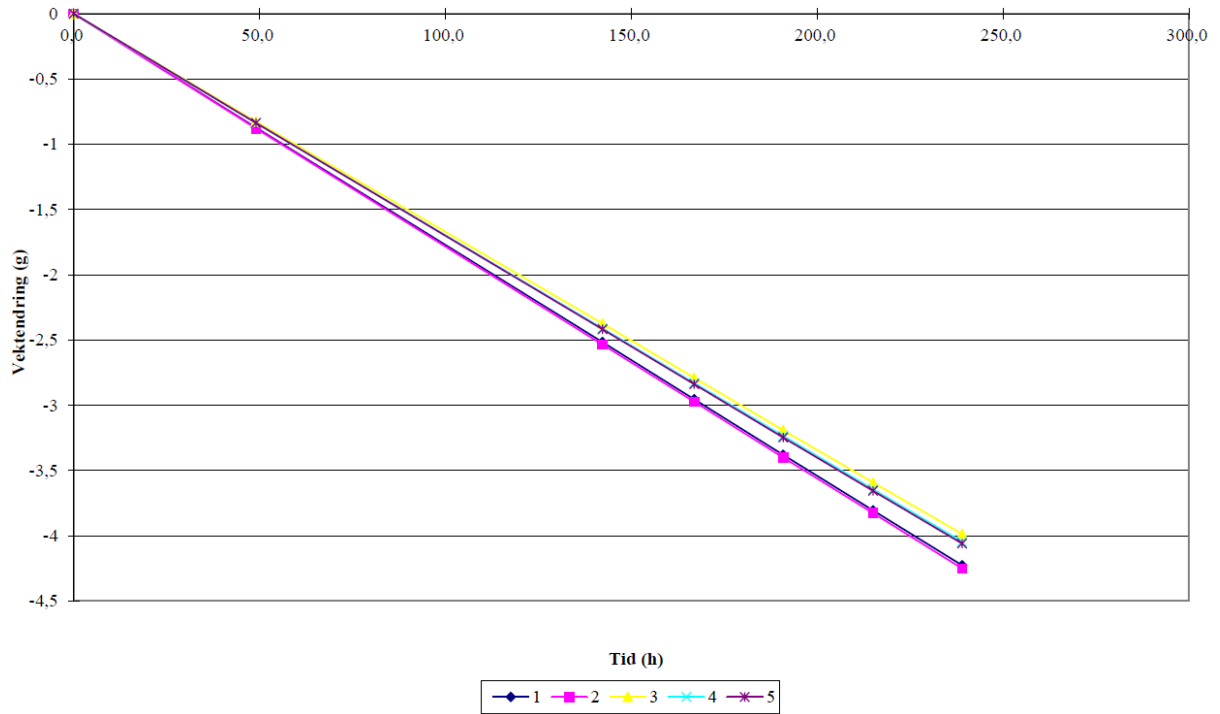
Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,92E-10	1,000	5,21E+09
2	1,93E-10	1,000	5,18E+09
3	1,81E-10	1,100	5,52E+09
4	1,84E-10	1,100	5,44E+09
5	1,84E-10	1,100	5,43E+09
Middel	1,87E-10	1,100	5,35E+09

Tabell 2 Vanndamppermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damptransport gjennom overlappsonen, og motstanden i luftlaget i boksen.

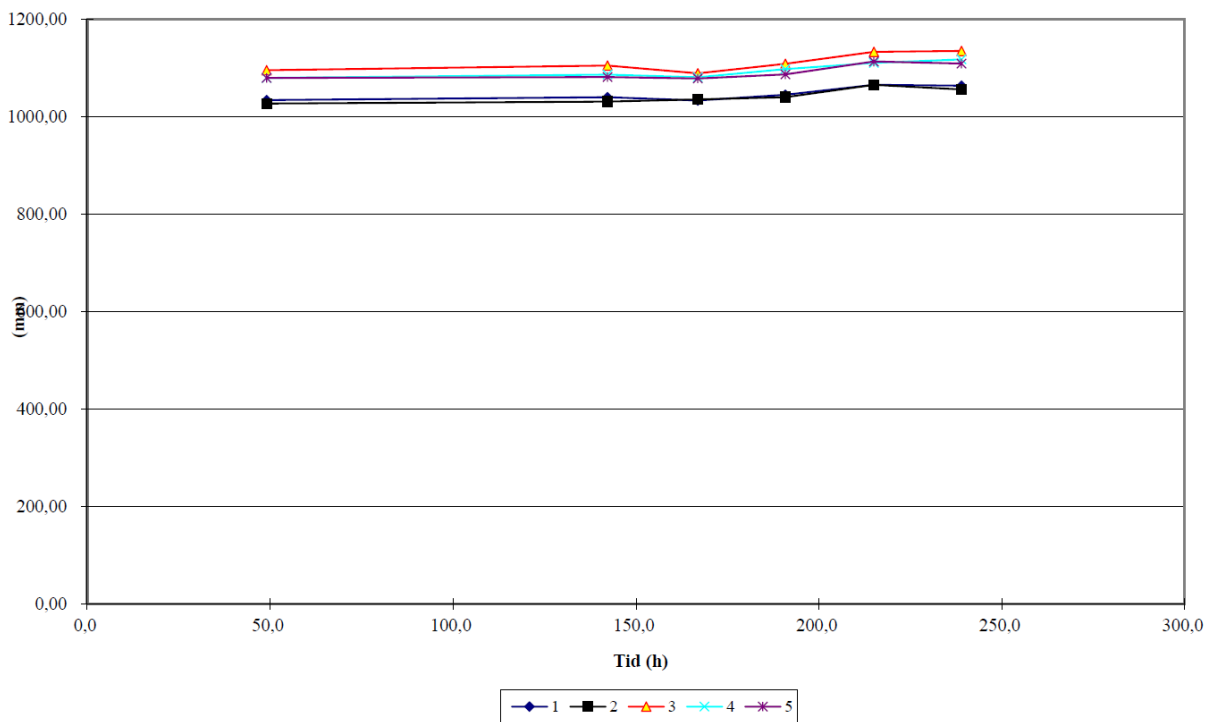
### VEKTENDRING

Vektendring siden start for de enkelte prøvene

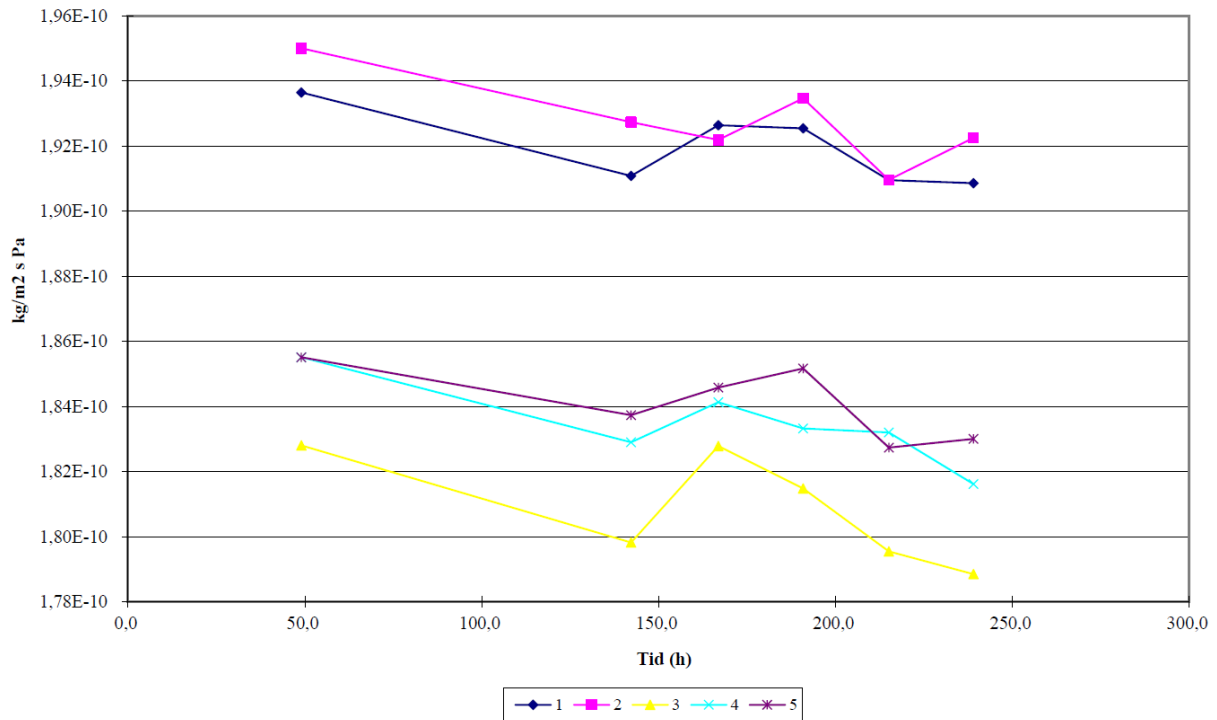
36B ██████████ 94,1 - 50 %RH, Sd 1,1 m



Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



### Vanndampjennomgang i perioden



### Inndata for produkt E:

(1)Produktnavn:					Saltype:		KNO3						
(2)Oppdragsgiver:	Masteroppgave Fride				Provediameter (mm):		0,164						
(3)Prosjektnummer:	36B				Luftlag salt/prove (mm):		15						
(4)Produkttype:	Linsjikt undertak vindsperre				Provest. diameter(mm):		0,174						
(5)Tykkelse, mm:	1.8016				Lufth. over pr.(m/s):		0,3						
(6)Målenummer:	36B												
(12)Dato (CTRL+SHIFT+.)		08.02.2022	10.02.2022	14.02.2022	15.02.2022	16.02.2022	17.02.2022	18.02.2022					
(13)Tid (CTRL+SHIFT+.)		11:23	12:24	09:35	10:15	10:13	10:25	10:20					
(14)Beregning fra veing:	2												
(15)Barometertrykk ved veing, hPa:		989,2	990,79	994,03	987,61	977,89	971,56	977,91					
(16)Barometertrykk i perioden, hPa:		989,2	987,48	995,25	993,56	982,74	972,06	974,32					
(17)Temperatur luft over boks, °C:		23	23,08	23,1	23,1	23,08	23,09	23,1					
(18)Temperatur i salfløsning, °C:		23	23,08	23,1	23,1	23,08	23,09	23,1					
(19)RF i rommet, %		50	50,79	50,72	50,71	50,7	50,73	50,77					
(20)Veing nummer:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
(21)Vekt.g kontrollodd for veing:		999,999	999,999	1000	1000,001	1000,001	1000,000	1000					
(22)Vekt.g prove nr:	1	514,437	513,563	511,921	511,487	511,063	510,635	510,209					
(23)Vekt.g prove nr:	2	502,481	501,601	499,945	499,512	499,086	498,658	498,229					
(24)Vekt.g prove nr:	3	507,266	506,44	504,893	504,481	504,081	503,678	503,278					
(25)Vekt.g prove nr:	4	506,666	505,828	504,255	503,84	503,436	503,025	502,619					
(26)Vekt.g prove nr:	5	519,3	518,462	516,882	516,466	516,058	515,648	515,239					
(27)Vekt.g kontrollodd etter veing:		999,999	999,998	1000,001	1000,001	1000,001	1000	1000					
Tekst i diagrammet Vektendring	36B Wittop Trio D-Plus, 94,1 - 50 %RH, Sd 1,1 m												





## C.6 Produkt F



**PROVINGS RAPPORT**  
Prøving av vanndamppermeans etter ISO/DIS 12572

Produktnavn: XXXXXXXXXX  
Oppdragsgiver: Masteroppgave\_Fride  
Prosjektnummer: 37B  
Produkttype: Limsjikt undertak vindsperre

Tykkelse, mm: 1,3312  
Målenummer: 37B  
Provediameter: (mm) 164  
Salttype i boksen: KNO<sub>3</sub>  
Prøveperiode: fra: 26.04.2022  
til: 06.05.2022

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,8
Temperatur i boksen (°C)	23,0
Temperatur i rommet (°C)	23,0
Barometertrykk (hPa)	1014,9

Lufth. over pr.(m/s): 0,3

Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

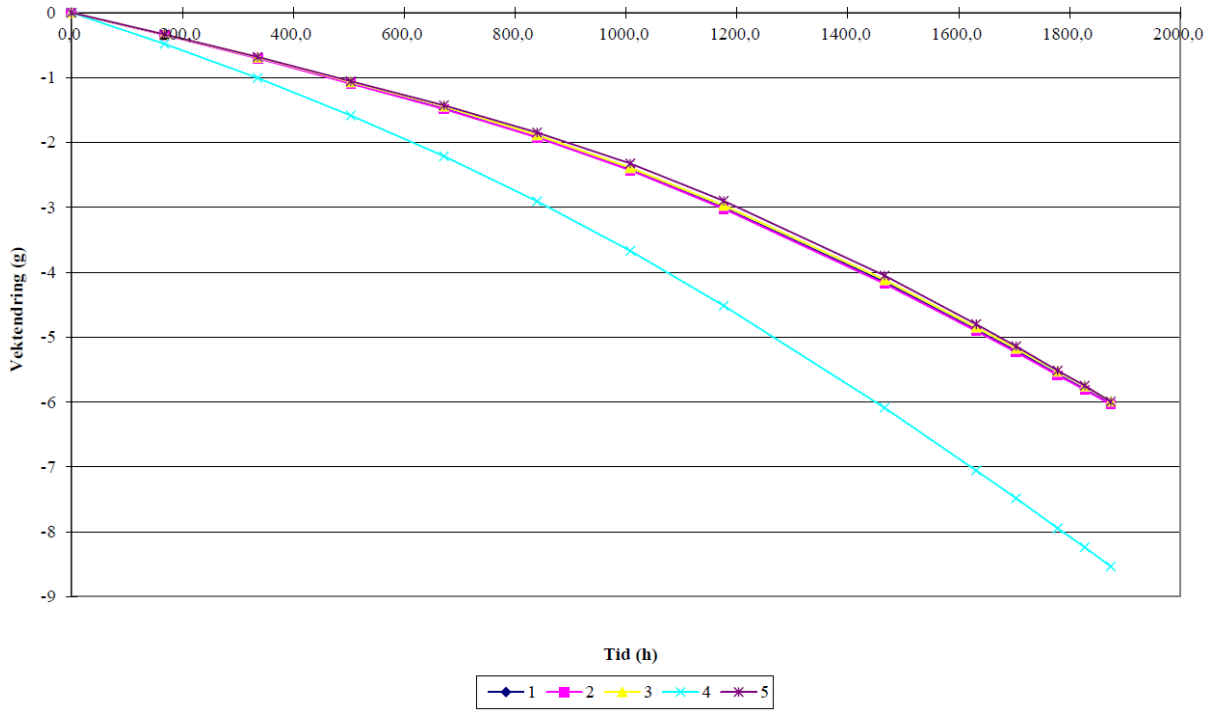
Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	4,97E-11	3,900	2,01E+10
2	4,92E-11	4,000	2,03E+10
3	4,94E-11	3,900	2,02E+10
4	6,48E-11	3,000	1,54E+10
5	5,14E-11	3,800	1,95E+10
Middel	5,29E-11	3,700	1,89E+10

Tabell 2 Vanndamppermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damprtransport gjennom overlappsonen, og motstanden i luftlaget i boksen.

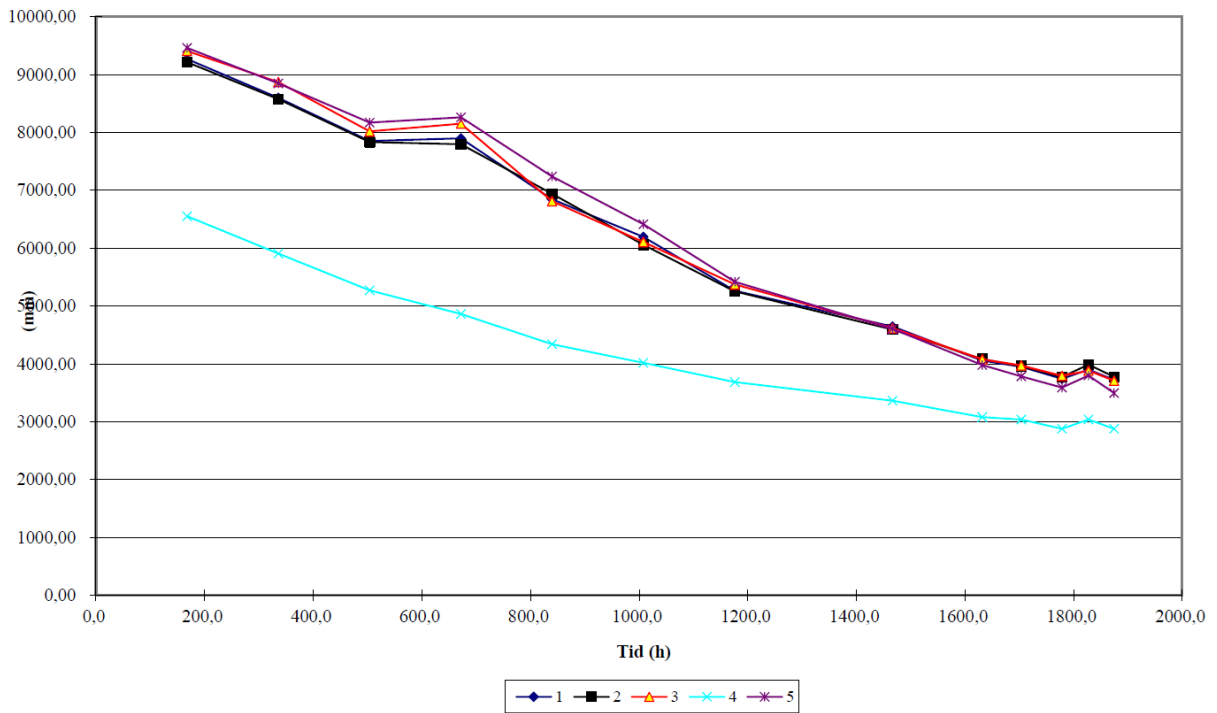
VEKTENDRING

Vektendring siden start for de enkelte prøvene

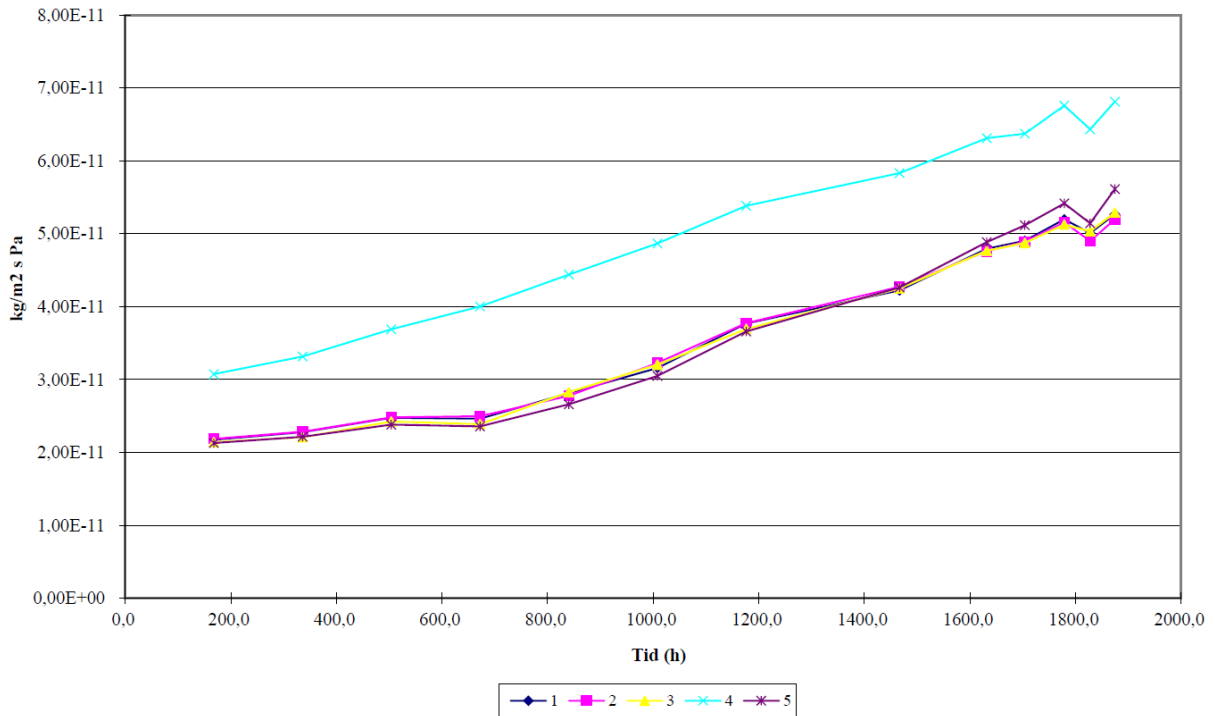
37B ██████████ 94,1 - 50 %RH, Sd 3,7 m



Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



### Vanndampgjennomgang i perioden



### Inndata for produkt F:

Produktnavn:												Salttype:		KNO3	
(2)Oppdragsgiver:	Masteroppgrave_Fride											Prøvediameter (mm):		0.164	
(3)Prosjektnummer:	37B											Luftlag saltprøve (mm):		15	
(4)Produkttype:	L.msjikt undertak vindsperre											Prøvest diameter(mm):		0.174	
(5)Tøkkelse, mm:	1.3312											Luftfl. over pr. (m/s):		0.3	
(6)Målemetode:	37B														
(1)Dato (CTRL-SHIFT+...)	17.02.2022	24.02.2022	03.03.2022	10.03.2022	17.03.2022	24.03.2022	31.03.2022	07.04.2022	14.04.2022	21.04.2022	28.04.2022	05.05.2022	12.05.2022	19.05.2022	26.05.2022
(13)Tid (CTRL-SHIFT+...)	10:29	10:16	10:20	10:16	10:19	10:18	10:20	10:39	12:55	10:14	10:08	12:50	13:51	12:52	12:52
(14)Beregning fra veing:	10														
(15)Barometertrykk ved veing, hPa:	971.56	976.76	1022.25	1013.83	1018.2	1015.86	1008.71	981.49	1014.6	1018.15	1023.95	1003.4	1009.34	1004.4	1004.4
(16)Barometertrykk i perioden, hPa:	971.56	981.74	1009.44	1017.01	1016.4	1027.09	1010.85	997.32	1007.54	1017.25	1021.07	1016.93	1011.76	1007.54	1007.54
(17)Temperatur luft over boks, °C:	23	23.09	23.12	23.1	23.1	23.1	23.1	23.09	23.04	23.04	23.01	23	23.01	23.01	23.05
(18)Temperatur i saltløsning, °C:	23	23.09	23.12	23.1	23.1	23.1	23.1	23.09	23.04	23.04	23.01	23	23.01	23.01	23.05
(19)RF i rommet, %:	50	50.71	50.72	50.73	50.69	50.73	50.73	50.68	50.7	50.68	50.88	50.88	50.86	50.86	50.82
(20)Veing nummer:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
(21)Vekt g kontrolllodd før veing:	1000.001	1000.003	1000	1000.001	1000	999.999	1000.002	999.998	999.997	999.998	999.997	1000	1000	999.999	999.999
(22)Vekt g prøve nr.:	1	470.991	470.649	470.272	469.905	469.512	469.072	468.579	467.995	466.838	466.103	465.777	465.429	465.191	464.965
(23)Vekt g prøve nr.:	2	478.85	478.506	478.128	477.76	477.362	476.928	476.424	475.839	474.659	473.939	473.614	473.269	473.036	472.813
(24)Vekt g prøve nr.:	3	470.004	469.667	469.301	468.942	468.561	468.119	467.619	467.047	465.873	465.152	464.828	464.485	464.246	464.019
(25)Vekt g prøve nr.:	4	490.998	490.515	489.975	489.418	488.784	488.09	487.23	486.494	484.895	483.938	483.515	483.06	482.758	482.465
(26)Vekt g prøve nr.:	5	490.372	490.037	489.67	489.218	488.742	488.228	487.65	487.023	485.306	484.567	483.227	484.864	484.62	484.379
(27)Vekt g kontrolllodd etter veing:		1000.001	1000.005	1000.001	1000	1000.001	999.999	1000	999.999	999.998	999.997	1000	1000	1000	999.999
Tekst i diagrammet Vektendring		37B Mastermax Premium, 94.1 - 50 %RH, Sd 3.7 m													



## C.7 Produkt G



**PROVINGS RAPPORT**  
Prøving av vanndamppermeans etter ISO/DIS 12572

Produktnavn: XXXXXXXXXX  
Oppdragsgiver: Masteroppgave\_Fride  
Prosjektnummer: 38B  
Produkttype: Limsjikt undertak vindsperre

Tykkelse, mm: 1,5664  
Målenummer: 38B  
Provediameter: (mm) 164  
Salttype i boksen: KNO3  
Prøveperiode: fra: 24.02.2022  
til: 24.03.2022

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,7
Temperatur i boksen (°C)	23,1
Temperatur i rommet (°C)	23,1
Barometertrykk (hPa)	1010,3

Lufth. over pr.(m/s): 0,3

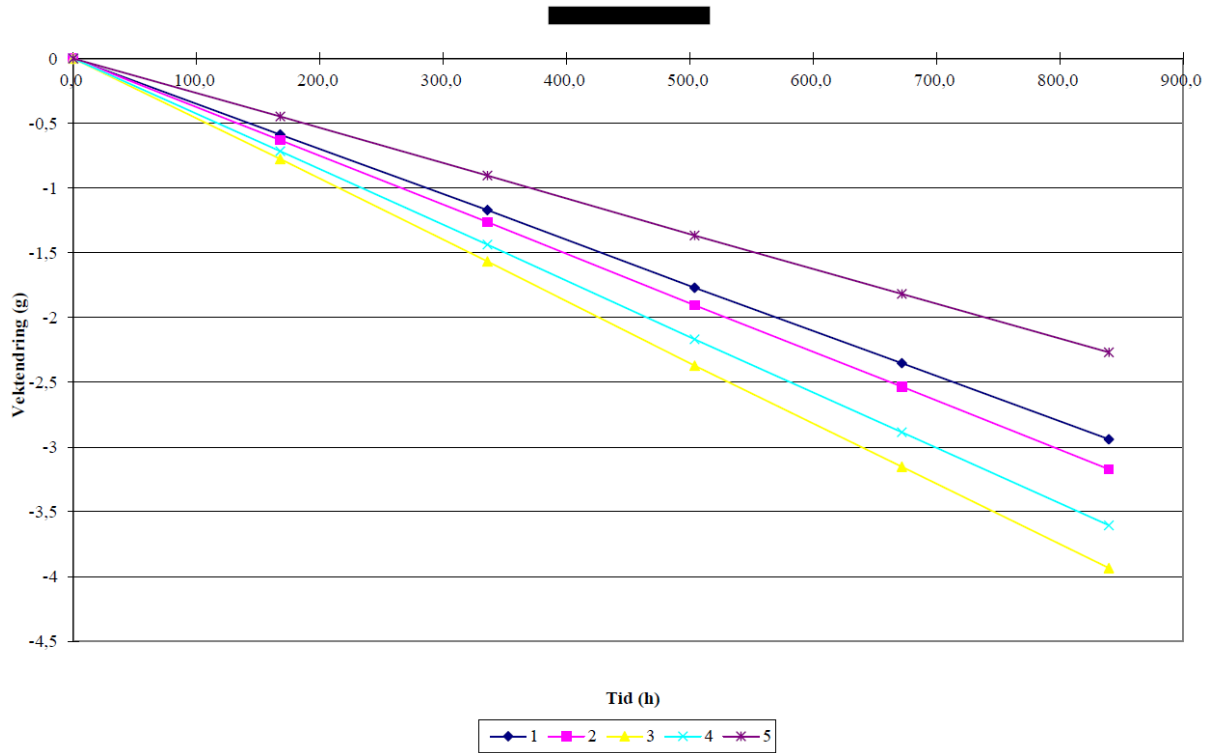
Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	3,74E-11	5,200	2,67E+10
2	4,04E-11	4,800	2,48E+10
3	5,01E-11	3,900	1,99E+10
4	4,59E-11	4,300	2,18E+10
5	2,89E-11	6,800	3,47E+10
Middel	4,05E-11	4,800	2,47E+10

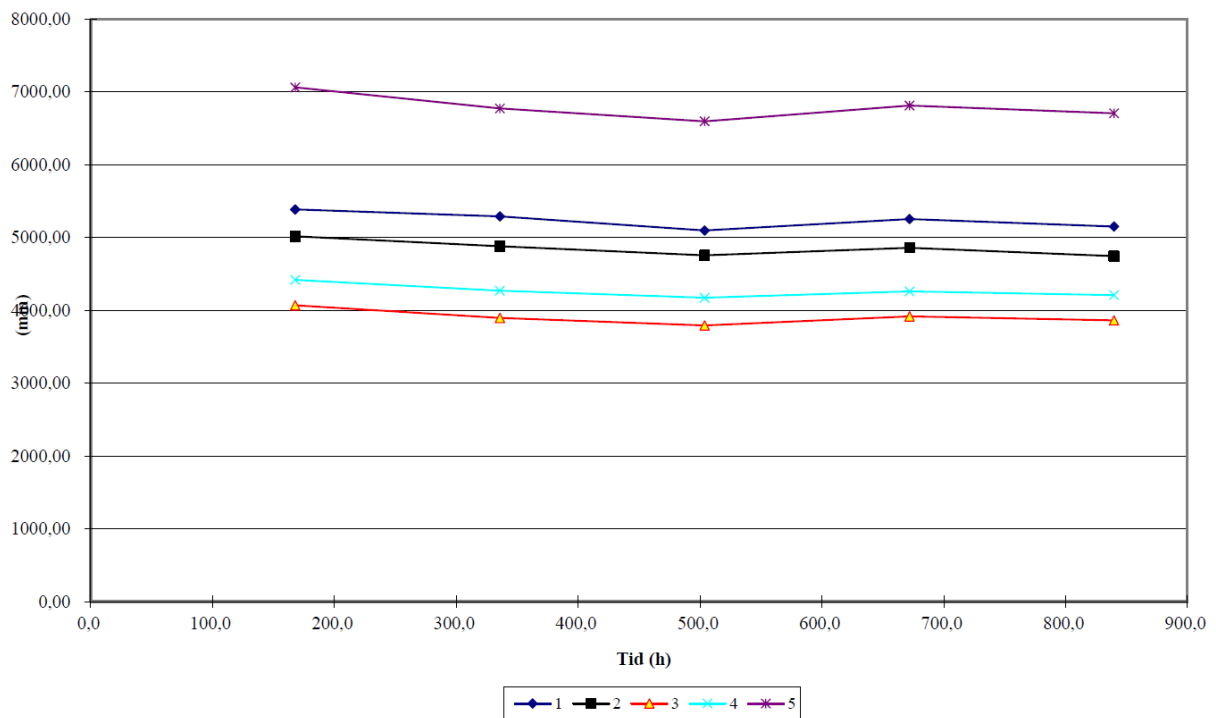
Tabell 2 Vanndamppermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damprtransport gjennom overlappsonen, og motstanden i luftlaget i boksen.

# VEKTENDRING

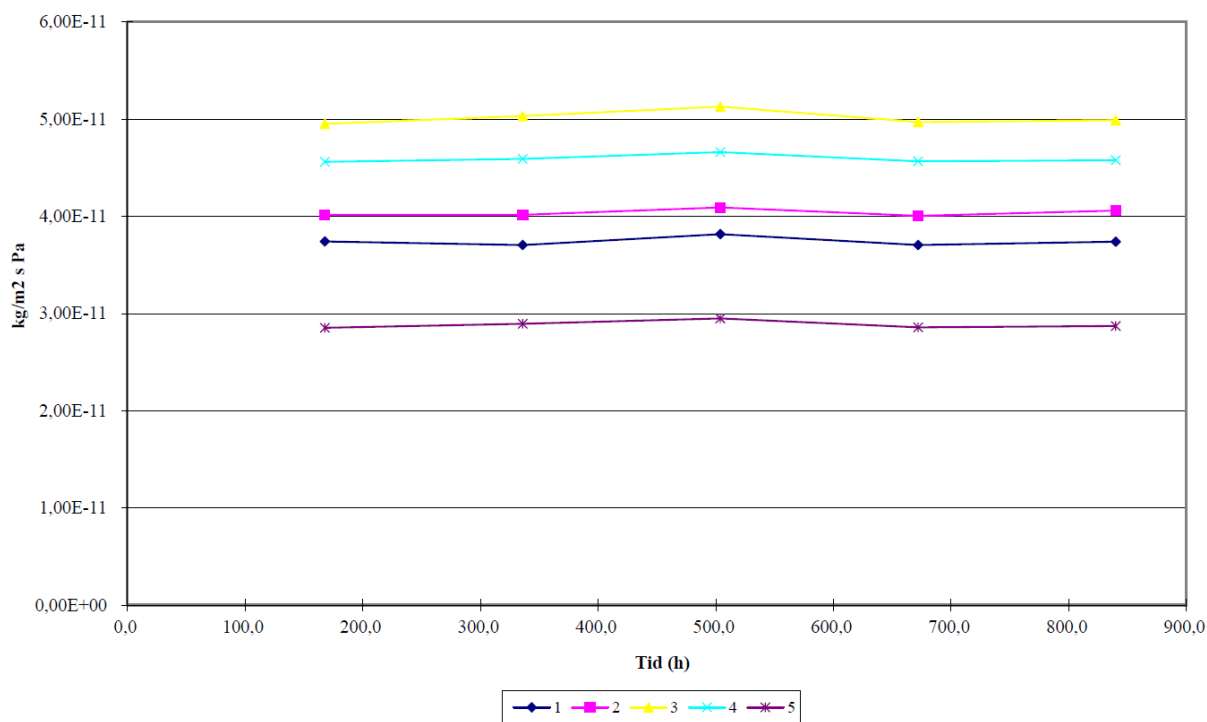
## Vektendring siden start for de enkelte prøvene



## Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



### Vanndampgjennomgang i perioden



### Inndata for produkt G:

(1) Produktnavn:										
(2) Oppdragsgeber:	Masteroppagve Fride				Saltype:		KNO3			
(3) Prosjektnummer:	38B				Provediameter (mm):		0,164			
(4) Produkttype:	Limsjikt undertak vindsperre				Luffing salt (prove) (mm):		15			
(5) Tykkelse, mm:	1,5664				Provest. diameter(mm):		0,174			
(6) Målenummer:	38B				Luffh. over pr.(m/s):		0,3			
(12) Dato (CTRL+SHIFT+.)	17.02.2022	24.02.2022	03.03.2022	10.03.2022	17.03.2022	24.03.2022				
(13) Tid (CTRL+SHIFT+.)	10:35	10:20	10:24	10:21	10:25	10:22				
(14) Beregning fra veieing:	2									
(15) Barometertrykk ved veieing, hPa:	971,56	976,76	1022,25	1013,83	1018,2	1015,86				
(16) Barometertrykk i perioden, hPa:	971,56	981,74	1009,44	1017,01	1016,4	1027,09				
(17) Temperatur luft over boks, °C:	23	23,09	23,12	23,1	23,1	23,1				
(18) Temperatur i saltløsning, °C:	23	23,09	23,12	23,1	23,1	23,1				
(19) RF i rommet, %	50	50,71	50,72	50,73	50,69	50,73				
(20) Veieing nummer:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(21) Vekt.g kontrolllodd før veieing:	1000,002	1000,001	999,998	1000,001	1000,001	1000,000				
(22) Vekt.g prove nr:	1	464,707	464,118	463,516	462,941	462,352	461,767			
(23) Vekt.g prove nr:	2	475,13	474,498	473,847	473,229	472,593	471,958			
(24) Vekt.g prove nr:	3	504,569	503,791	502,981	502,201	501,414	500,634			
(25) Vekt.g prove nr:	4	474,447	473,73	472,989	472,282	471,558	470,842			
(26) Vekt.g prove nr:	5	511,114	510,664	510,189	509,75	509,294	508,845			
(27) Vekt.g kontrolllodd etter veieing:	1000,002	1000,004	999,998	1000,004	1000,001	1000,001				
(1) Produktnavn:	Icopal Ventex Diffex				Saltype:		KNO4			





## C.8 Produkt H



**PROVINGS RAPPORT**  
**Prøving av vanndampermeans etter ISO/DIS 12572**

Produktnavn:	██████████	Tykkelse, mm:	1,612
Oppdragsgiver:	Masteroppgave_Fride	Målenummer:	39B
Prosjektnummer:	39B	Prøvediameter: (mm)	164
Produkttype:	Limsjikt undertak vindsperre	Salttype i boksen:	KNO3
		Prøveperiode: fra:	10.03.2022
		til:	16.03.2022

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,7
Temperatur i boksen (°C)	23,1
Temperatur i rommet (°C)	23,1
Barometertrykk (hPa)	1016,4

Lufth. over pr.(m/s): 0,3

Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

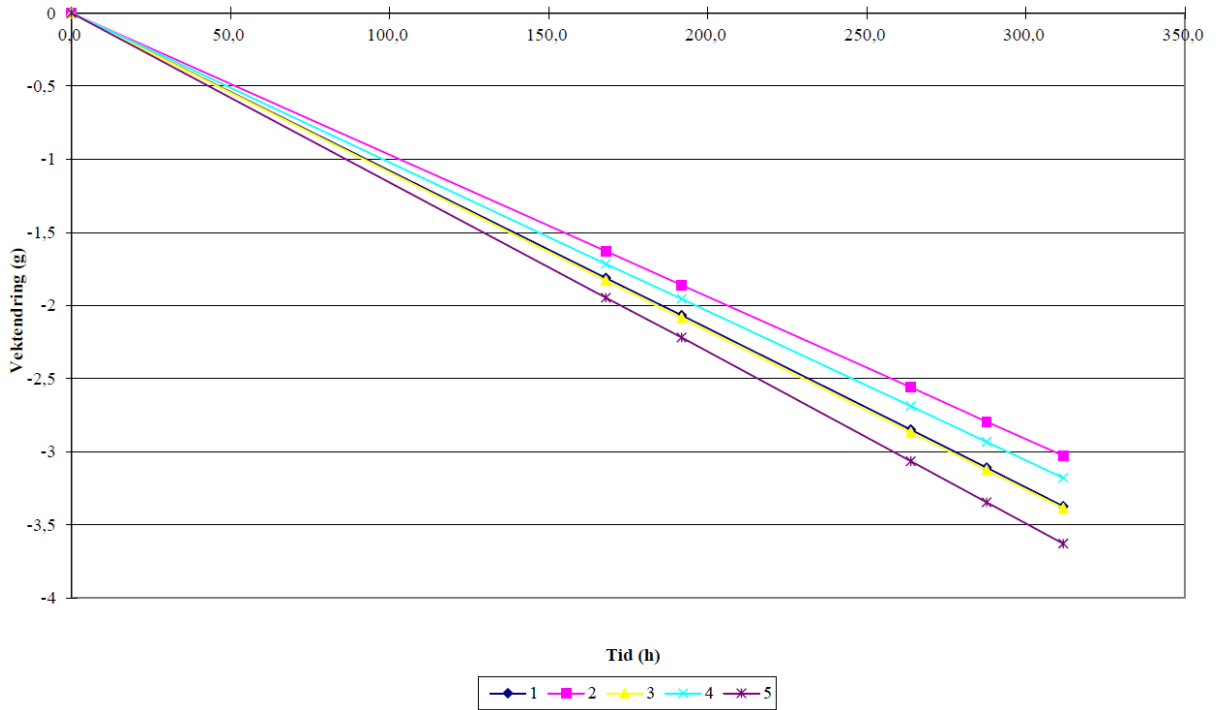
Prøve nummer	Vanndampermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,17E-10	1,700	8,58E+09
2	1,04E-10	1,900	9,57E+09
3	1,17E-10	1,700	8,54E+09
4	1,10E-10	1,800	9,11E+09
5	1,26E-10	1,600	7,97E+09
Middel	1,15E-10	1,700	8,72E+09

Tabell 2 Vanndampermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damptransport gjennom overlappsonen, og motstanden i luftlaget i boksen.

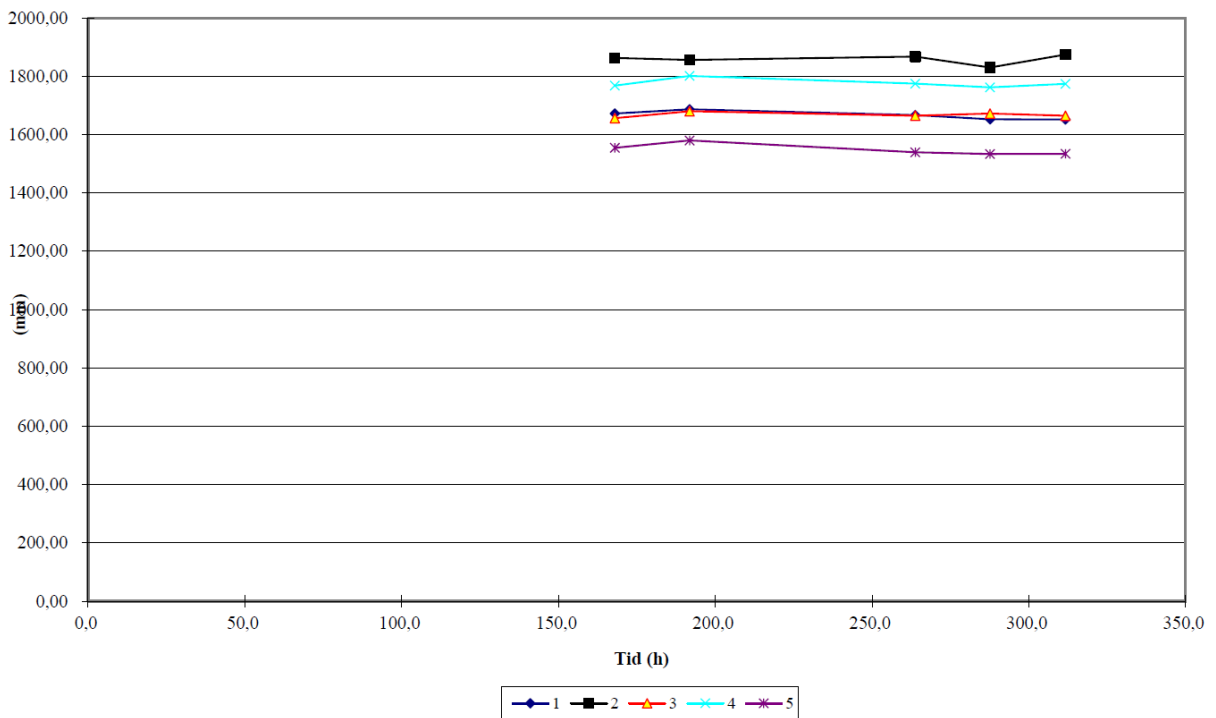
# VEKTENDRING

Vektendring siden start for de enkelte prøvene

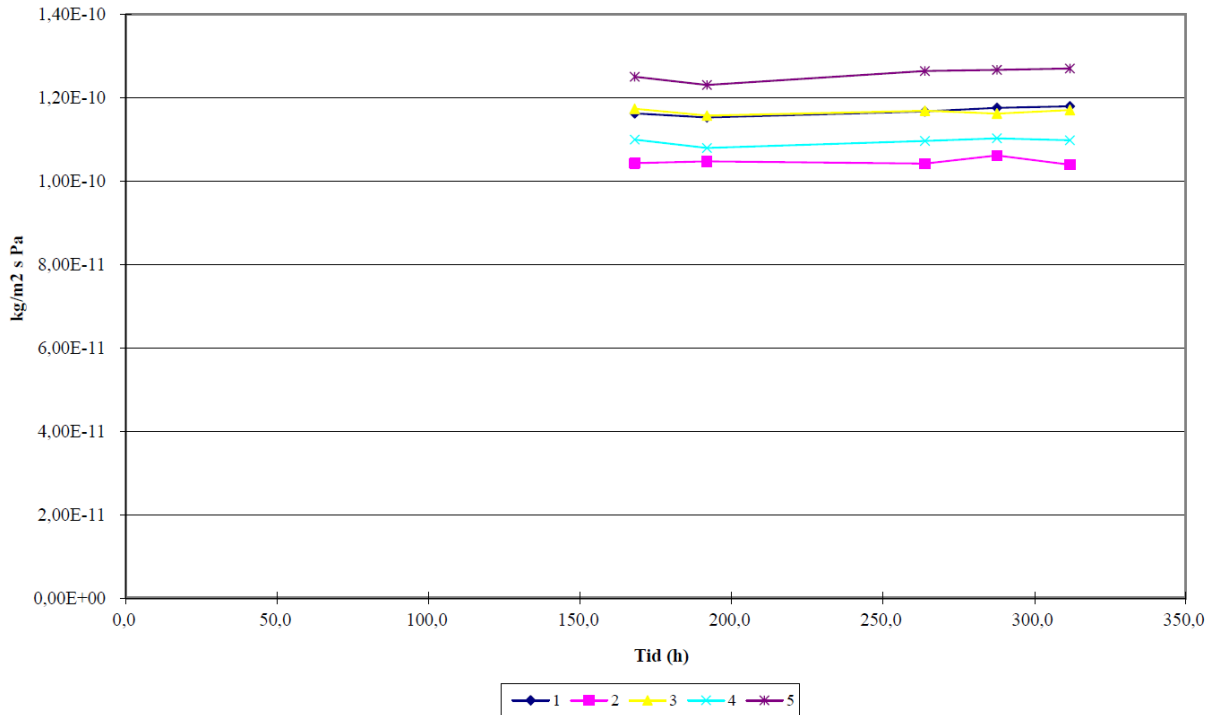
39B ██████████ 94 - 50,7 %RH, Sd 1,7 m



Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



### Vanndampgjennomgang i perioden



### Inndata for produkt H:

(1) Produktnavn:					Saltype:	KNO3				
(2) Oppdragsgiver:	Masteroppgave_Fride				Provediameter (mm):	0,164				
(3) Prosjektnummer:	39B				Luftlag salt/prove (mm):	15				
(4) Produkttype:	Linsjikt undertak vindsperre				Provest. diameter(mm):	0,174				
(5) Tykkelse, mm:	1,6120				Luftth. over pr.(m/s):	0,3				
(6) Målenummer:	39B									
(12) Dato (CTRL+SHIFT+.)		03.03.2022	10.03.2022	11.03.2022	14.03.2022	15.03.2022	16.03.2022			
(13) Tid (CTRL+SHIFT+.)		10:29	10:26	10:16	10:15	10:05	10:11			
(14) Beregning fra veing:	2									
(15) Barometertrykk ved veing, hPa:		1022,25	1013,83	1018,24	1017,21	1016,7	1016,88			
(16) Barometertrykk i perioden, hPa:		1022,25	1017,01	1016,74	1015,94	1017,61	1014,72			
(17) Temperatur luft over boks, °C:		23,12	23,1	23,1	23,1	23,1	23,09			
(18) Temperatur i saltløsning, °C:		23,12	23,1	23,1	23,1	23,1	23,09			
(19) RF i rommet, %		50,72	50,73	50,76	50,66	50,61	50,73			
(20) Veing nummer:		1	2	3	4	5	6	7	8	9
(21) Vekt.g kontrollodd for veing:		999,998	999,998	999,999	999,999	999,999	999,999			
(22) Vekt.g prove nr:	1	509,458	507,649	507,389	506,61	506,349	506,085			
(23) Vekt.g prove nr:	2	499,335	497,71	497,473	496,777	496,541	496,308			
(24) Vekt.g prove nr:	3	497,458	495,632	495,371	494,591	494,333	494,071			
(25) Vekt.g prove nr:	4	497,287	495,575	495,331	494,599	494,354	494,108			
(26) Vekt.g prove nr:	5	505,167	503,223	502,946	502,103	501,822	501,538			
(27) Vekt.g kontrollodd etter veing:		999,998	999,999	999,999	999,999	999,999	999,999			
Tekst i diagrammet Vektendring	39B Tyvek Pro Extra, 94 - 50,7 %RH, Sd 1,7 m									



## C.9 Produkt I



**PROVINGS RAPPORT**  
**Prøving av vanndamppermeans etter ISO/DIS 12572**

Produktnavn: XXXXXXXXXX  
Oppdragsgiver: Masteroppgave\_Fride  
Prosjektnummer: 40B  
Produkttype: Limsjikt undertak vindsperre

Tykkelse, mm: 1,3396  
Målenummer: 40B  
Provediameter: (mm) 164  
Salttype i boksen: KNO3  
Prøveperiode: fra: 10.03.2022  
til: 07.04.2022

Lufth. over pr.(m/s): 0,3

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,7
Temperatur i boksen (°C)	23,1
Temperatur i rommet (°C)	23,1
Barometertrykk (hPa)	1013,7

Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

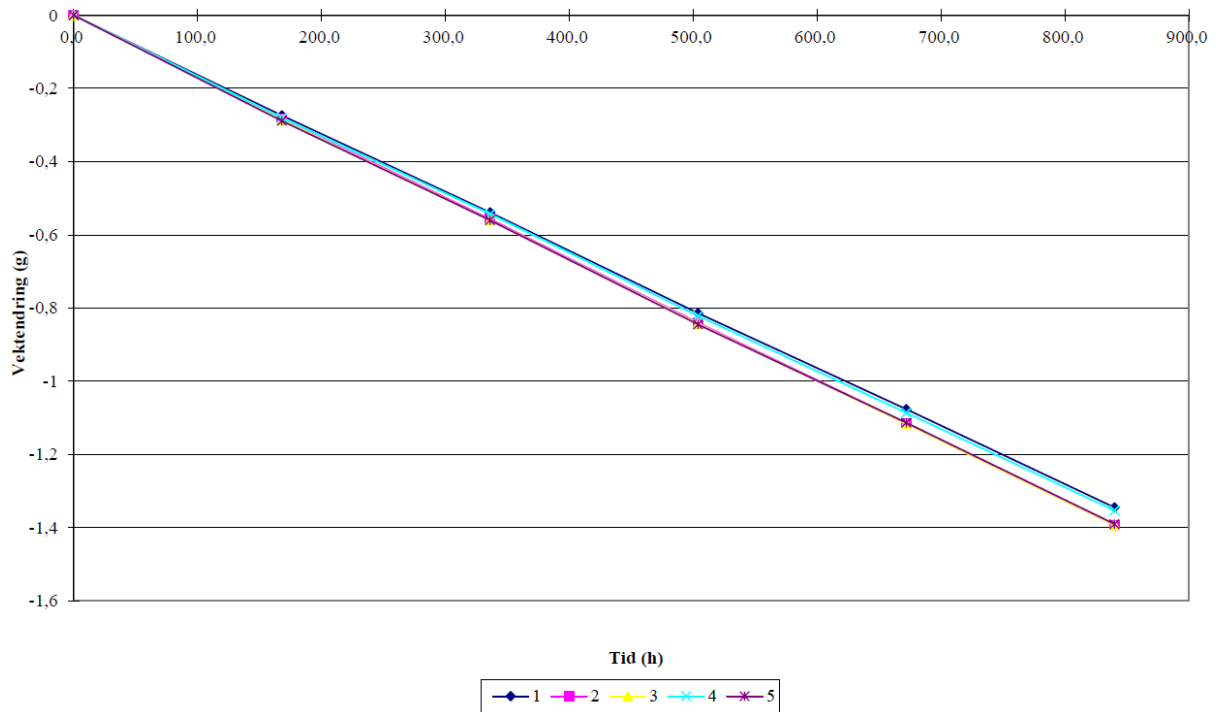
Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,71E-11	11,000	5,84E+10
2	1,77E-11	11,000	5,64E+10
3	1,77E-11	11,000	5,64E+10
4	1,72E-11	11,000	5,81E+10
5	1,77E-11	11,000	5,65E+10
Middel	1,75E-11	11,000	5,71E+10

Tabell 2 Vanndamppermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damprtransport gjennom overlappsonen, og motstanden i luftlaget i boksen.

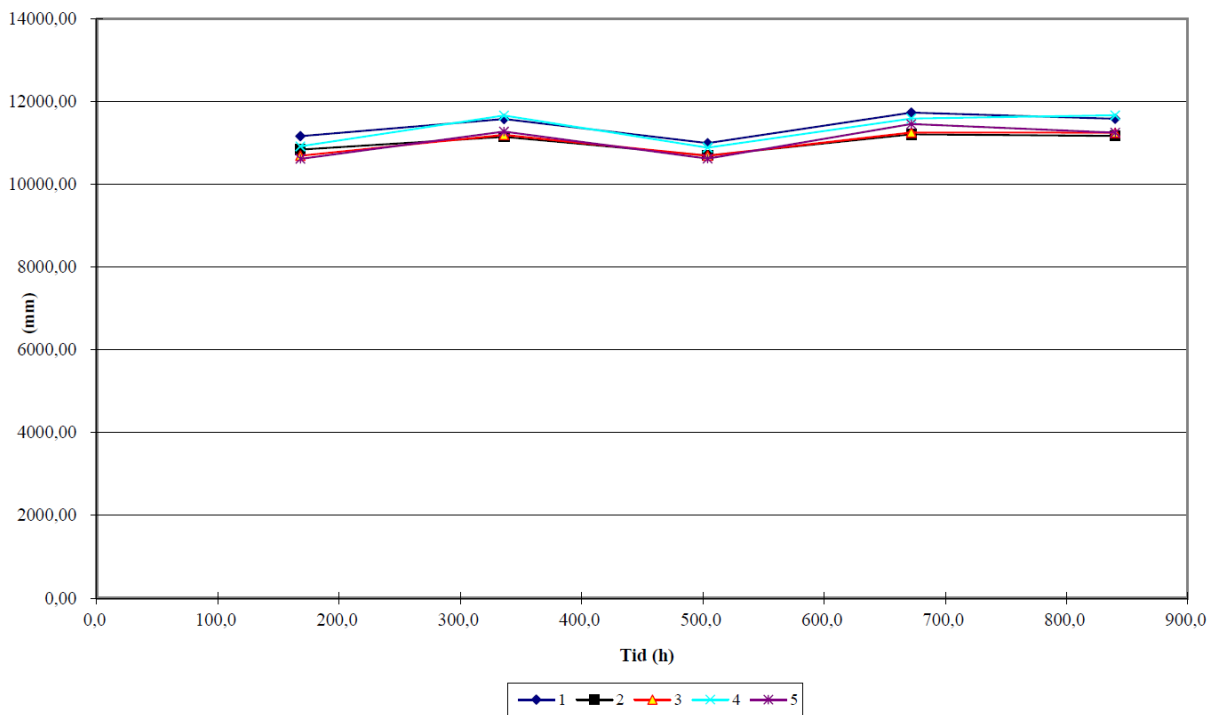
### VEKTENDRING

Vektendring siden start for de enkelte prøvene

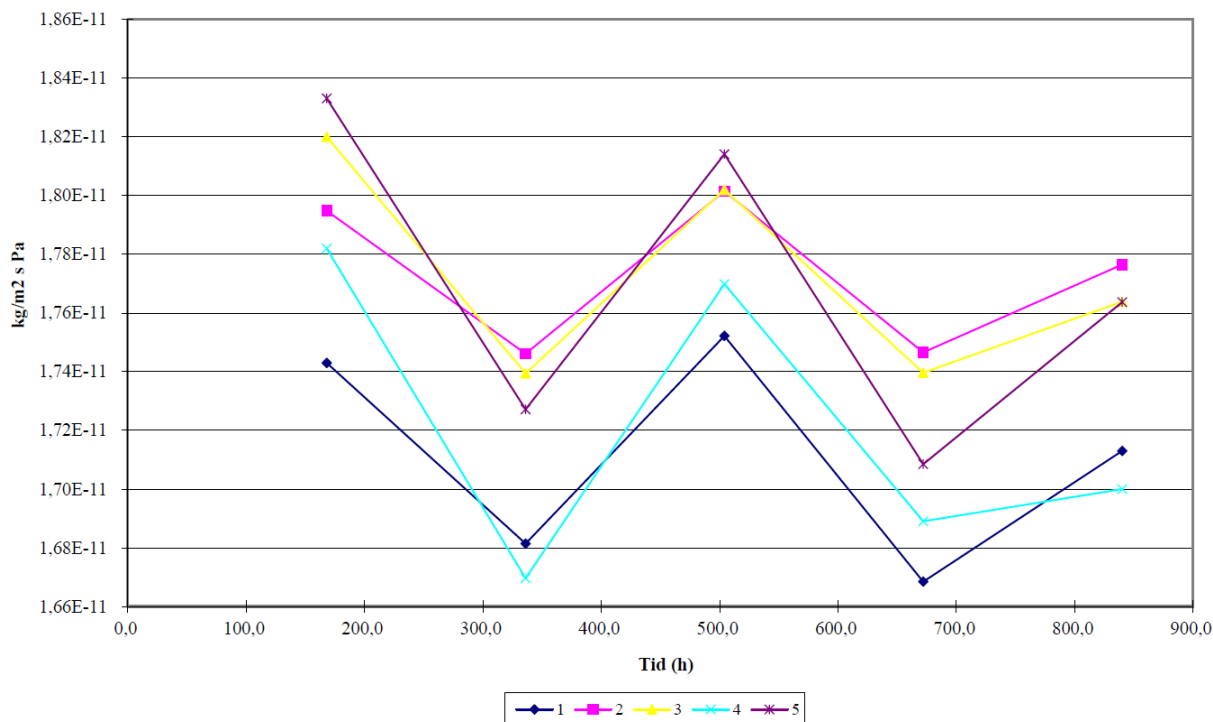
40B [REDACTED] 94 - 50,7 %RH, Sd 11 m



Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



### Vanndampgjennomgang i perioden



### Inndata for produkt I:

(1)Produktnavn:	Masteroppgave_Fride						Saltpyte:		KNO3											
(2)Oppdrags giver:	40B						Provediameter (mm):	0,164												
(3)Prosjektnummer:	40B						Lufslag salt/prove (mm):	15												
(4)Produkttype:	Limsjikt undertak vindsperre						Provest. diameter(mm):	0,174												
(5)Tykkelse, mm:	1,3396						Lufth. over pr.(m/s):	0,3												
(6)Målenummer:	40B																			
(12)Dato (CTRL+SHIFT+):		03.03.2022	10.03.2022	17.03.2022	24.03.2022	31.03.2022	07.04.2022													
(13)Tid (CTRL+SHIFT+):		10:33	10:32	10:29	10:27	10:26	10:33													
(14)Beregning fra veing:	2																			
(15)Barometertrykk ved veing, hPa:		1022,25	1013,83	1018,2	1015,86	1008,71	981,49													
(16)Barometertrykk i perioden, hPa:		1022,25	1017,01	1016,4	1027,09	1010,85	997,32													
(17)Temperatur luft over boks, °C:		23,12	23,1	23,1	23,1	23,09	23,04													
(18)Temperatur i saltløsning, °C:		23,12	23,1	23,1	23,1	23,09	23,04													
(19)RF i rommet, %:		50,72	50,73	50,69	50,73	50,73	50,68													
(20)Veing nummer:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
(21)Vekt, g kontrollodd for veing:		999,998	999,999	1000,001	999,999	1000,001	1000,000													
(22)Vekt, g prove nr:	1	421,234	420,964	420,695	420,421	420,162	419,901													
(23)Vekt, g prove nr:	2	507,611	507,333	507,054	506,772	506,501	506,23													
(24)Vekt, g prove nr:	3	481,252	480,97	480,692	480,41	480,14	479,871													
(25)Vekt, g prove nr:	4	496,899	496,623	496,356	496,079	495,817	495,558													
(26)Vekt, g prove nr:	5	515,573	515,289	515,013	514,729	514,464	514,195													
(27)Vekt, g kontrollodd etter veing:		999,998	1000	1000,002	999,998	1000,002	1000,002													
Tekst i diagrammet Vektendring	40B	Divoroll Prima, 94 - 50,7 %RH, Sd 11 m																		





## C.10 Produkt J



**PROVINGS RAPPORT**  
Prøving av vanndamppermeans etter ISO/DIS 12572

Produktnavn: XXXXXXXXXX  
Oppdragsgiver: Masteroppgave\_Fride  
Prosjektnummer: 41B  
Produkttype: Limsjikt undertak vindsperre

Tykkelse, mm: 1,5804  
Målenummer: 41B  
Prøvediameter: (mm) 164  
Salttype i boksen: KNO<sub>3</sub>  
Prøveperiode: fra: 31.03.2022  
til: 06.05.2022

Lufth. over pr.(m/s): 0,3

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,7
Temperatur i boksen (°C)	23,0
Temperatur i rommet (°C)	23,0
Barometertrykk (hPa)	1012,0

Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

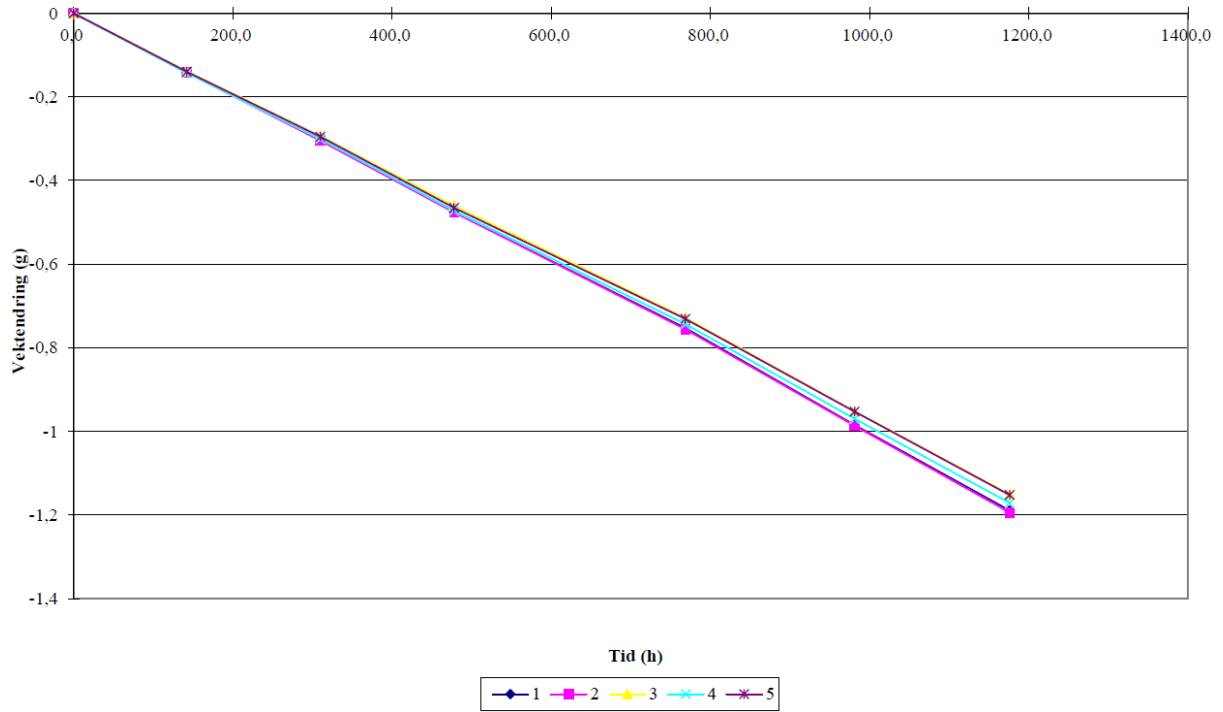
Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,09E-11	18,000	9,21E+10
2	1,09E-11	18,000	9,18E+10
3	1,05E-11	19,000	9,54E+10
4	1,06E-11	18,000	9,39E+10
5	1,05E-11	19,000	9,54E+10
Middel	1,07E-11	18,000	9,37E+10

Tabell 2 Vanndamppermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damptransport gjennom overlappsonen, og motstanden i luftlaget i boksen.

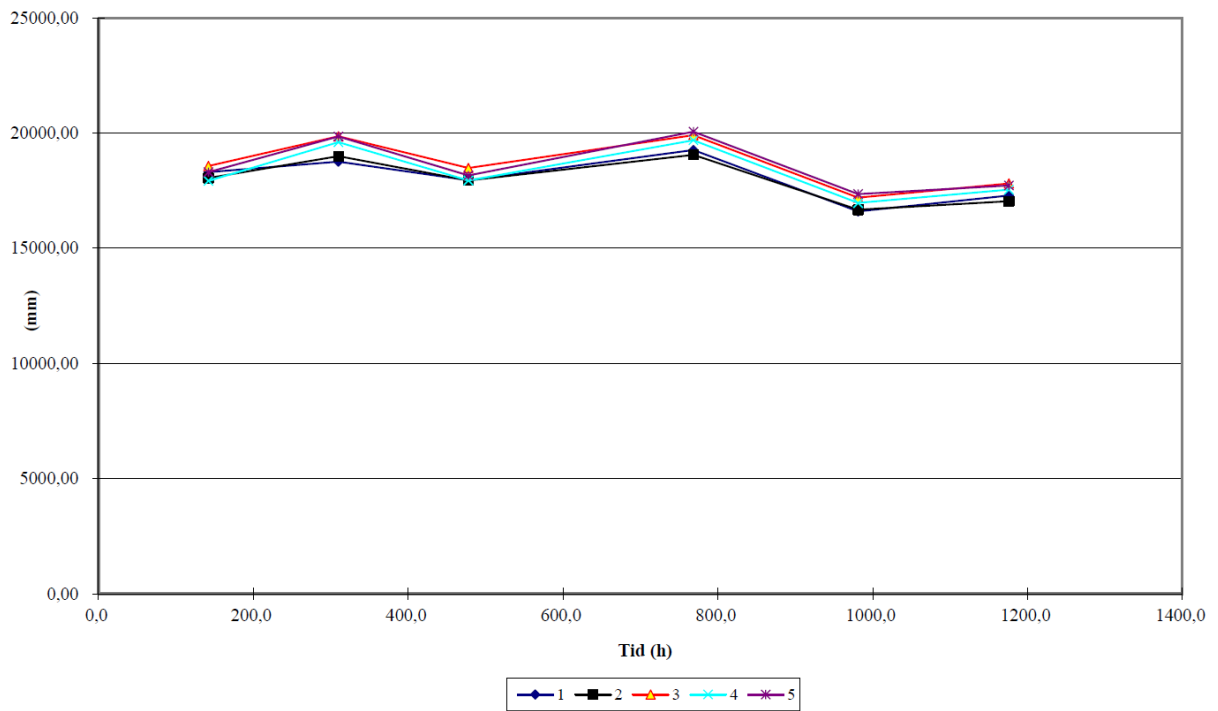
VEKTENDRING

Vektendring siden start for de enkelte prøvene

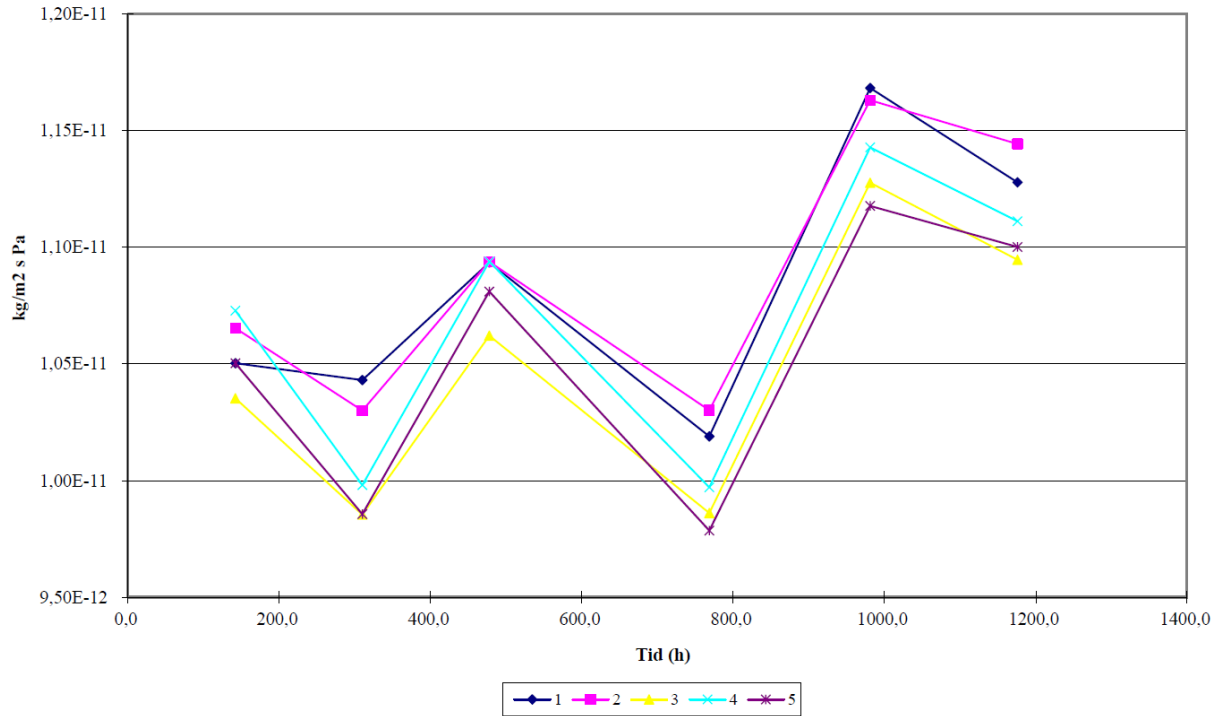
41B ██████████ 94,1 - 50 %RH, Sd 18 m



Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



### Vanndampgjennomgang i perioden



### Inndata for produkt J:

(1)Produktnavn:						Saltpre:			KNO3				
(2)Oppdragsgiver:	Masteroppgave_Fride					Prøvediameter (mm):	0,164						
(3)Prosjektnummer:	41B					Lufthøgde saltprøve (mm):	15						
(4)Produkttype:	Låmsjikt undertak vindsperre					Prøvest. diameter(mm):	0,174						
(5)Tykkelse, mm:	1,5804					Lufth. over pr.(m/s):	0,3						
(6)Målenummer:	41B												
(12)Dato (CTRL-SHIFT+):		18.03.2022	24.03.2022	31.03.2022	07.04.2022	19.04.2022	28.04.2022	06.05.2022					
(13)Tid (CTRL-SHIFT+):		12:40	10:33	10:30	10:23	13:03	09:48	12:28					
(14)Beregning fra veiing:	3												
(15)Barometertrykk ved veiing, hPa:		1030,22	1016,1	1008,71	981,29	1014,86	1020,6	1004,4					
(16)Barometertrykk i perioden, hPa:		1030,22	1028,87	1010,85	1007,59	1007,54	1019,65	1014,2					
(17)Temperatur luft over boks, °C:		23	23,11	23,09	23,04	23,04	23	23,02					
(18)Temperatur i sallossning, °C:		23	23,11	23,09	23,04	23,04	23	23,02					
(19)RF i rommet, %:		50	50,72	50,73	50,68	50,7	50,72	50,86					
(20)Veiing nummer:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
(21)Vekt, g kontrollodd for veiing:		999,999	999,998	1000,002	1000	999,997	999,999	1000					
(22)Vekt, g prøve nr.:	1	510,551	510,417	510,252	510,087	509,783	509,564	509,369					
(23)Vekt, g prøve nr.:	2	495,348	495,212	495,049	494,884	494,577	494,359	494,161					
(24)Vekt, g prøve nr.:	3	490,225	490,093	489,937	489,777	489,482	489,271	489,082					
(25)Vekt, g prøve nr.:	4	490,838	490,701	490,543	490,378	490,08	489,866	489,674					
(26)Vekt, g prøve nr.:	5	499,731	499,597	499,441	499,278	498,985	498,776	498,586					
(27)Vekt, g kontrollodd etter veiing:		999,999	1000	1000,004	1000	999,997	1000	1000					
Tekst i diagrammet Vektendring	41B Matak Halotex RS10_94.1 - 50 %RH, Sd 18 m												



## C.11 Produkt K



**PROVINGS RAPPORT**  
**Prøving av vanndamppermeans etter ISO/DIS 12572**

Produktnavn:	██████████	Tykkelse, mm:	0,8432
Oppdragsgiver:	Masteroppgave_Fride	Målenummer:	42B
Prosjektnummer:	42B	Provediameter: (mm)	164
Produkttype:	Limsjikt undertak vindsperre	Salttype i boksen:	KNO3
		Prøveperiode: fra:	25.03.2022
		til:	31.03.2022

	Middel i prøveperioden
Relativ luftfuktighet i boksen (%RF)	94,1
Relativ luftfuktighet i rommet (%RF)	50,7
Temperatur i boksen (°C)	23,1
Temperatur i rommet (°C)	23,1
Barometertrykk (hPa)	1009,5

Lufth. over pr. (m/s): 0,3

Tabell 1 Temperatur, relativ luftfuktighet og barometertrykk i prøveperioden.

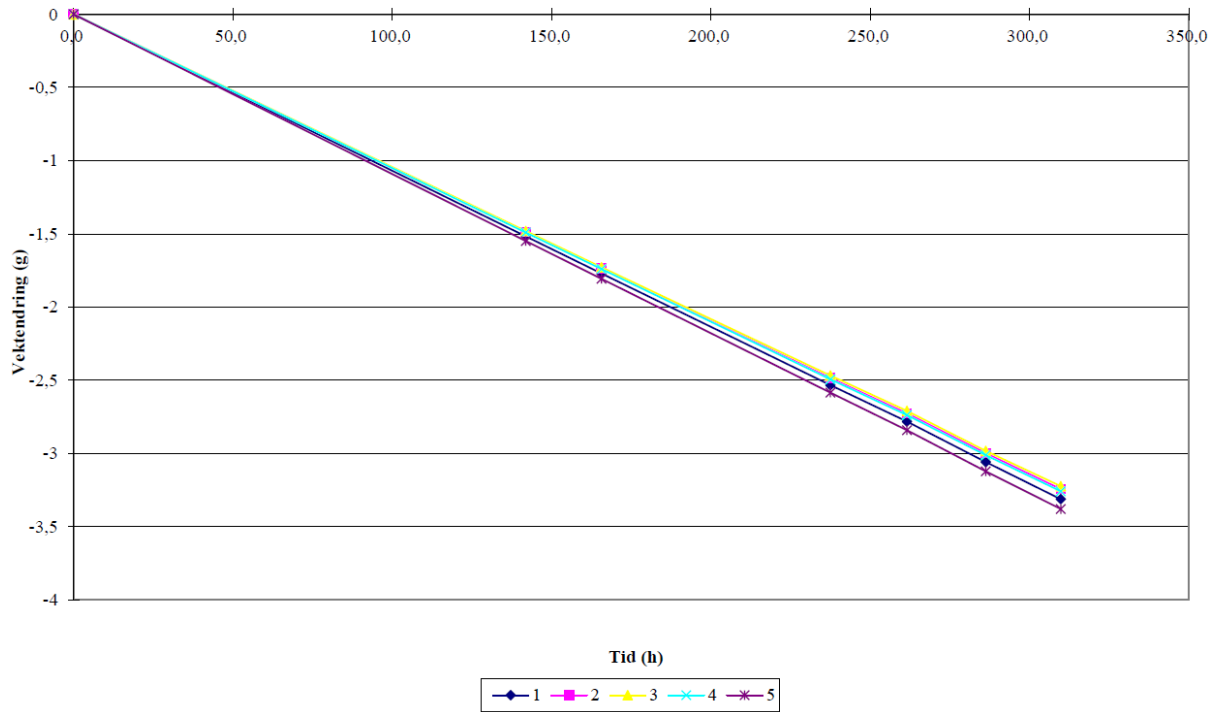
Prøve nummer	Vanndamppermeans	Vanndampmotstand	
	(kg/m <sup>2</sup> sPa)	(m)	(m <sup>2</sup> sPa/kg)
1	1,16E-10	1,700	8,64E+09
2	1,13E-10	1,700	8,83E+09
3	1,12E-10	1,700	8,90E+09
4	1,14E-10	1,700	8,78E+09
5	1,18E-10	1,700	8,47E+09
Middel	1,15E-10	1,700	8,72E+09

Tabell 2 Vanndamppermeans og vanndampmotstand for de fem prøvestykkene. Enkeltresultatene er et middel over fem tidsintervall med stabil fukttransport. Resultatene er korrigert for overgangsmotstanden over prøven, damptransport gjennom overlappsonen, og motstanden i lufilaget i boksen.

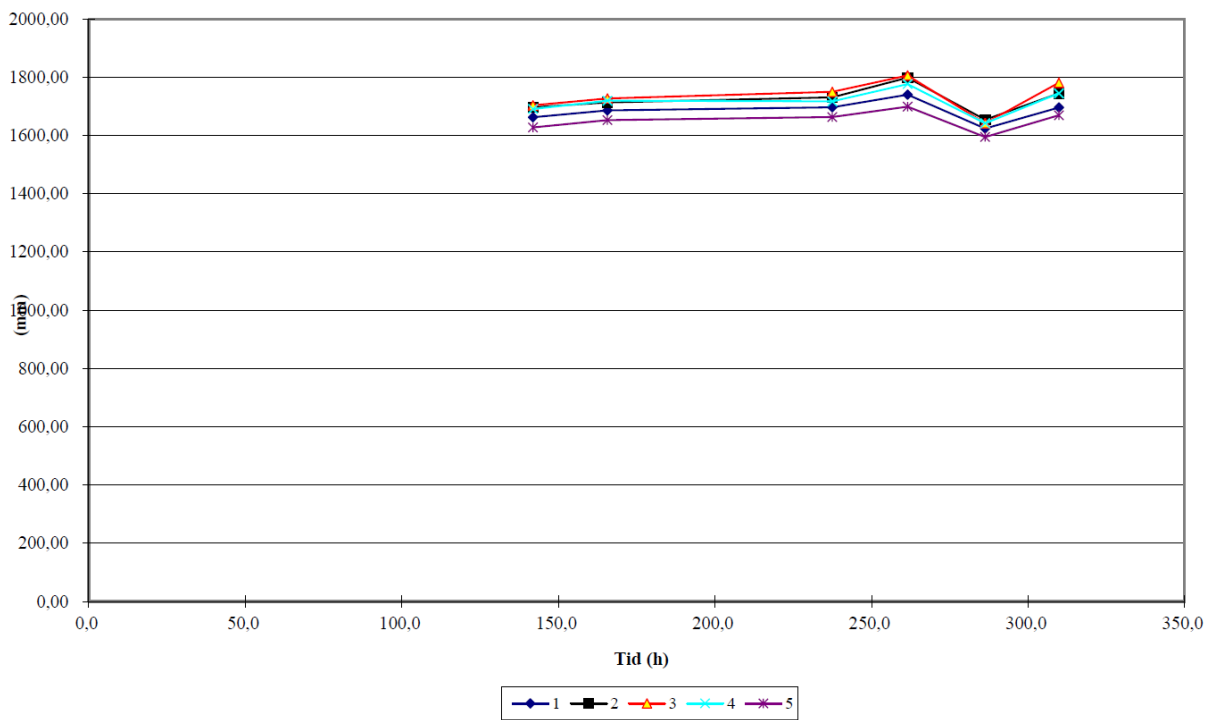
### VEKTENDRING

Vektendring siden start for de enkelte prøvene

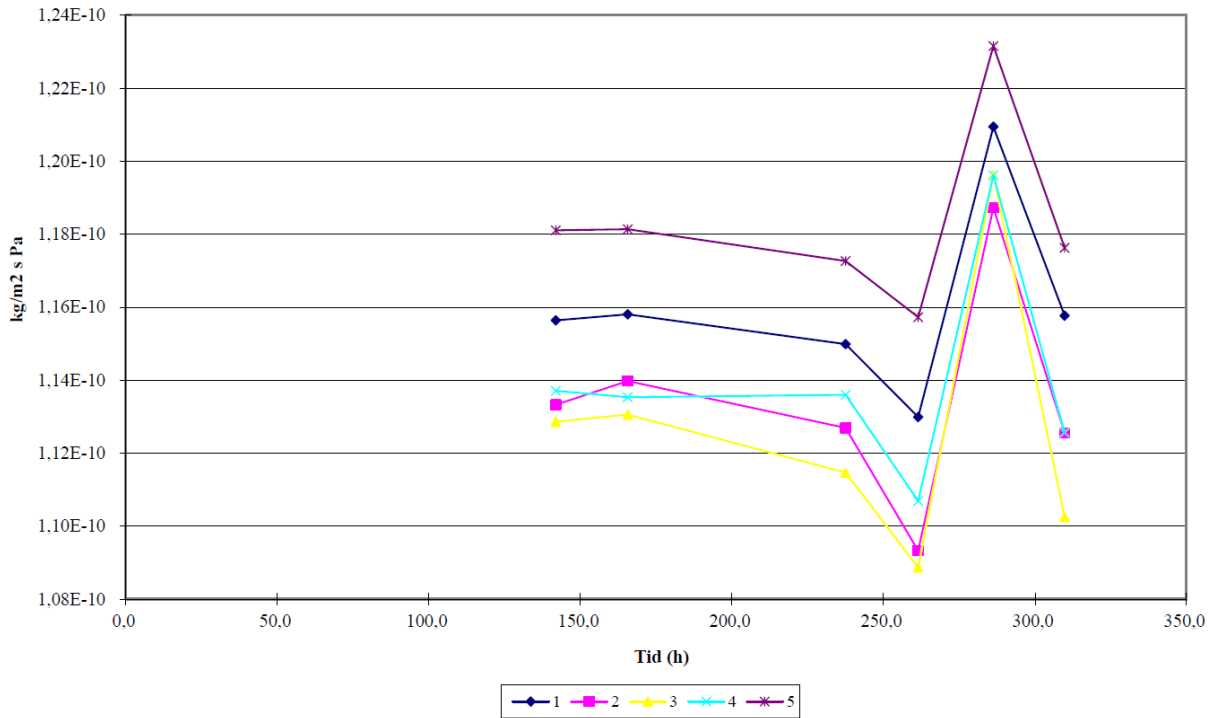
42B ██████████ 94,1 - 50 %RH, Sd 1,7 m



Ekvivalent luftlagstykkelse i perioden



Vanndampgjennomgang i perioden



Inndata for produkt K:

(1)Produktnavn:										
(2)Oppdragsgeber:	Masteroppgave Fride									
(3)Prosjektnummer:	42B									
(4)Produkttype:	Limsjikt undertak vindsperre									
(5)Tykkelse, mm:	0.8432									
(6)Målenummer:	42B									
(12)Dato (CTRL+SHIFT+):	18.03.2022	24.03.2022	25.03.2022	28.03.2022	29.03.2022	30.03.2022	31.03.2022			
(13)Tid (CTRL+SHIFT+):	12:47	10:38	10:24	10:16	10:16	11:02	10:35			
(14)Beregning fra veing:	3									
(15)Barometertrykk ved veing, hPa:	1030.22	1016.1	1009.59	992.72	1006.87	1007.07	1008.98			
(16)Barometertrykk i perioden, hPa:	1030.22	1028.87	1013.1	1014.03	1006.09	1007.25	1007.17			
(17)Temperatur luft over boks, °C:	23	23.11	23.1	23.1	23.09	23.11	23.04			
(18)Temperatur i saltløsning, °C:	23	23.11	23.1	23.1	23.09	23.11	23.04			
(19)RF i rommet, %	50	50.72	50.93	50.77	50.82	50.79	50.27			
(20)Veing nummer:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(21)Vekt.g kontrollodd før veing:	999.999	1000	999.998	1000	1000.001	1000.000	999.998			
(22)Vekt.g prøve nr:	1	525.988	524.477	524.22	523.462	523.2	522.929	522.674		
(23)Vekt.g prøve nr:	2	496.006	494.525	494.272	493.529	493.275	493.009	492.761		
(24)Vekt.g prøve nr:	3	485.373	483.898	483.647	482.912	482.659	482.391	482.148		
(25)Vekt.g prøve nr:	4	463.079	461.593	461.341	460.592	460.335	460.067	459.819		
(26)Vekt.g prøve nr:	5	497.334	495.791	495.529	494.756	494.488	494.212	493.953		
(27)Vekt.g kontrollodd etter veing:	999.997	999.998	999.997	999.999	999.999	999.999	1000	1000		
Tekst i diagrammet Vektendring	42B Tyvek Pro Super, 94.1 - 50 %RH, Sd 1,7 m									





## D Muggvekstindeks for parametervariasjoner

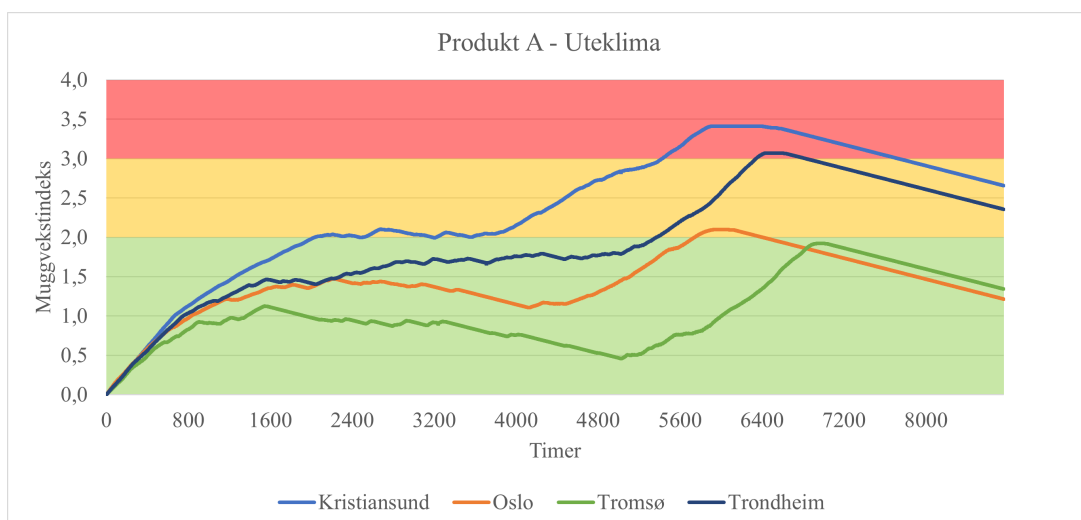
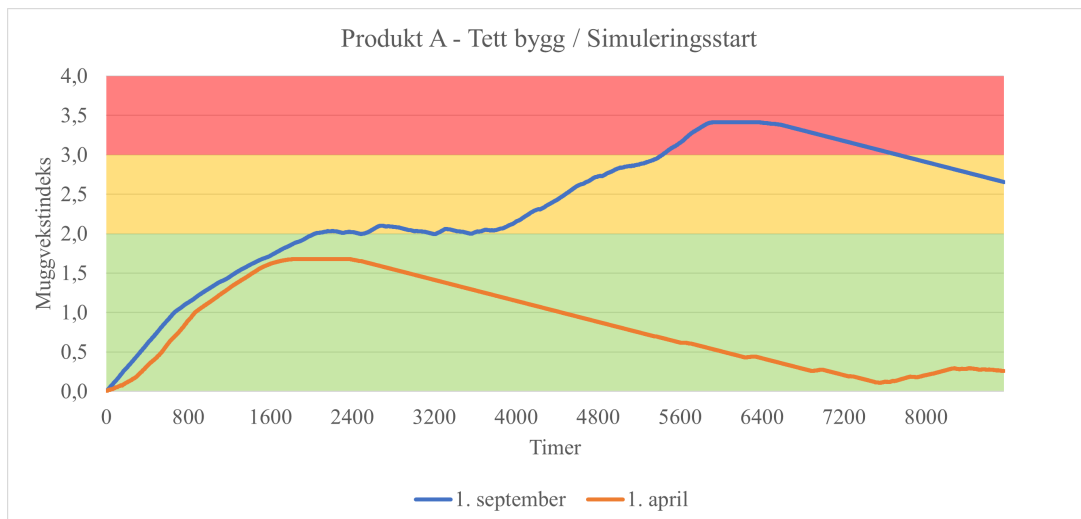
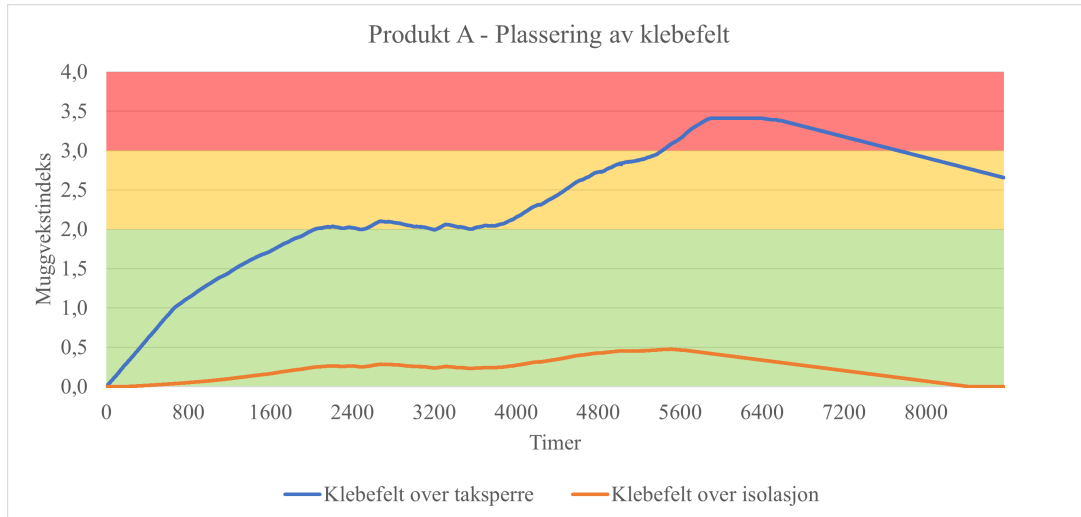
Vedlegget viser grafene for muggvekstindeks for de tre testede dampmotstandene til klebefelt, 32 m, 18 m og 11 m. I alle beregningene er det tatt utgangspunkt i standardkonstruksjonen (utenom  $s_d$ -verdi) og variert én parameter om gangen. For alle figurene er den blå linjen standardkonstruksjonen. Standardkonstruksjonen består av:

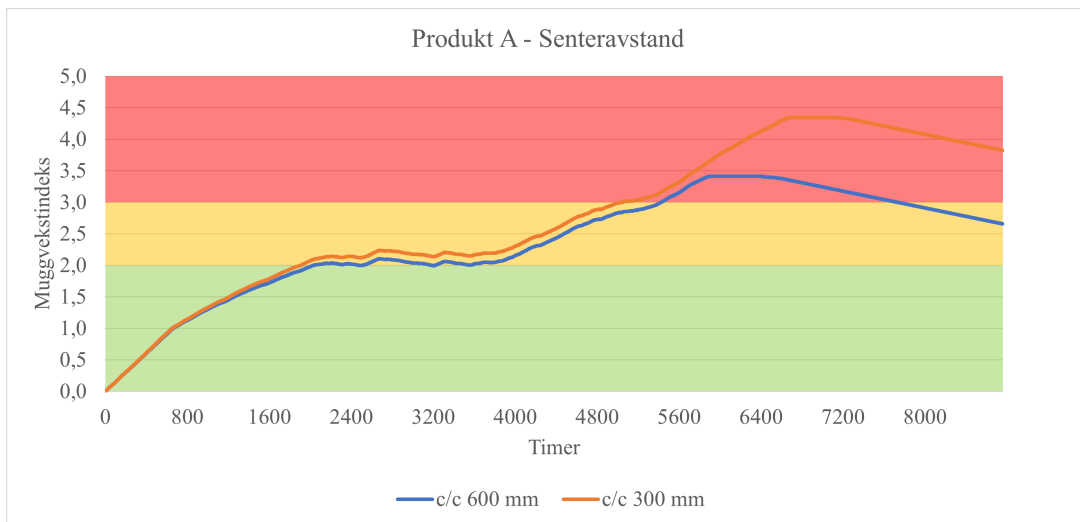
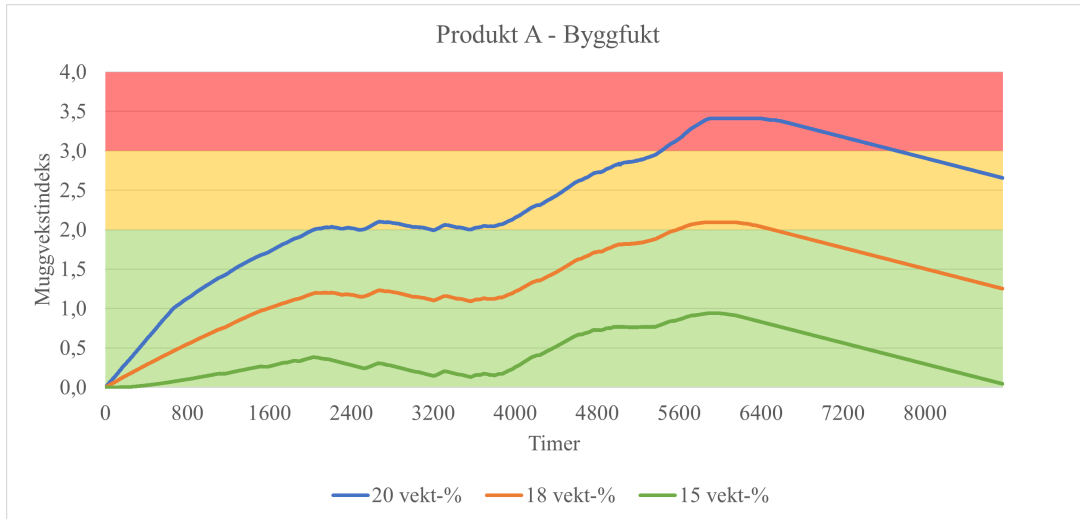
- Tett bygg / Simuleringsstart 1. september,
- Klebefelt plassert over taksperre,
- Uteklima satt til Kristiansund,
- 20 vekt-% byggfukt, og
- 600 mm senteravstand.



## D.1 Produkt A

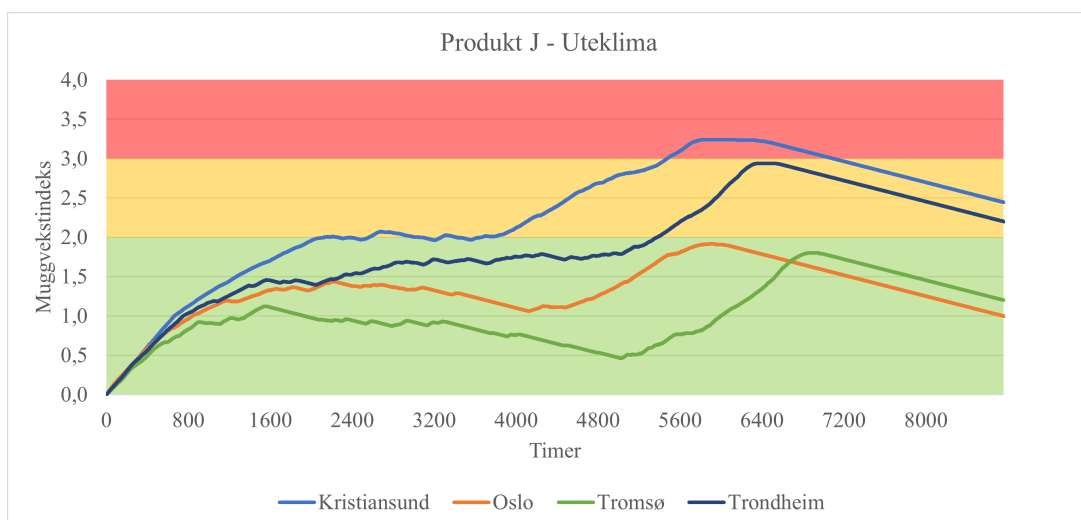
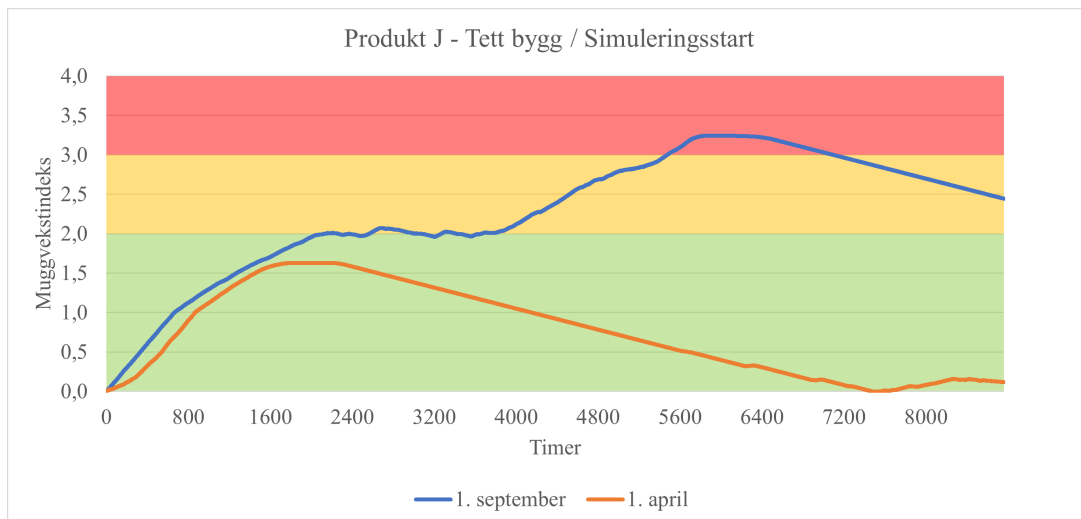
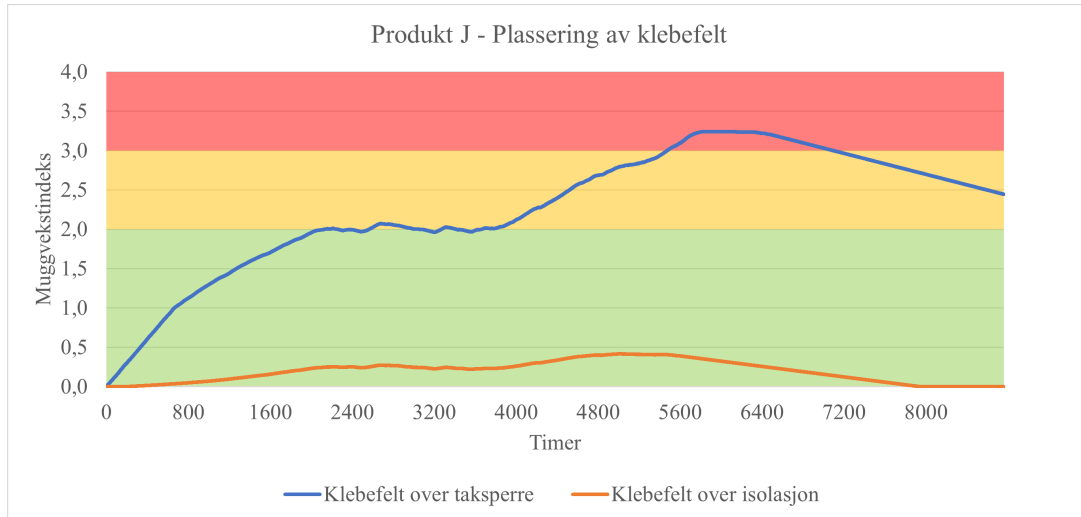
Følgende grafer viser muggvekstindeksen for produkt A med ulike parametervalg. Produktet har høyeste målte dampmotstand til klebefelt fra laboratorieforsøkene. Klebefeltene til produkt A har målt  $s_d$ -verdi på 32 m.

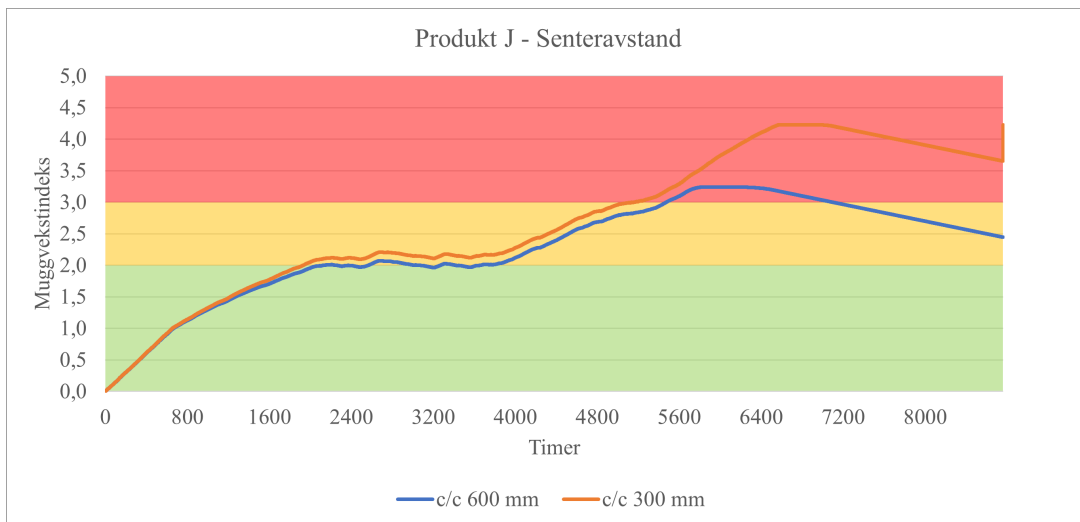
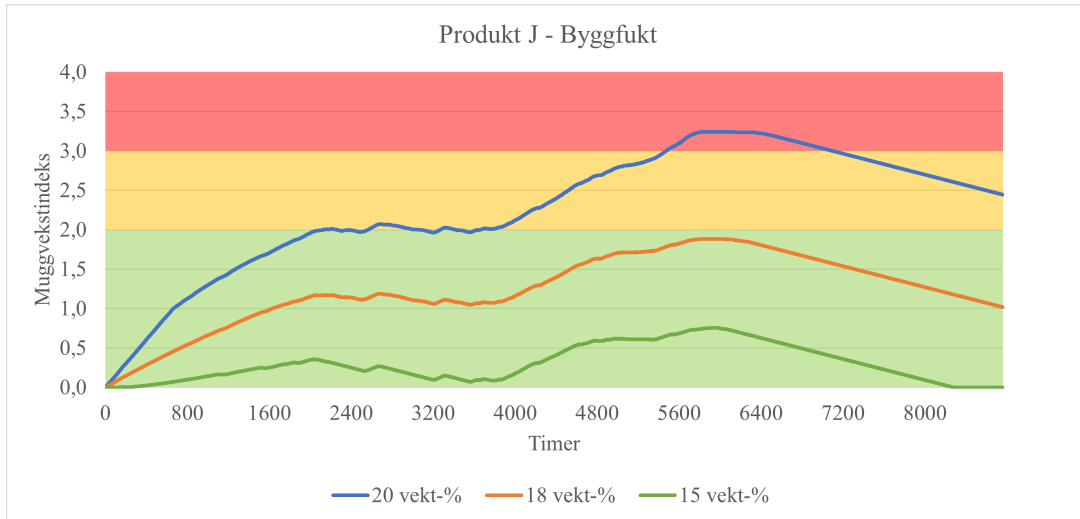




## D.2 Produkt J

Følgende grafer viser muggvekstindeksen for produkt J med ulike parametervalg. Produktet har nest høyeste målte dampmotstand til klebefelt fra laboratorieforsøkene. Klebefeltene til produkt J har målt  $s_d$ -verdi på 18 m.





### D.3 Produkt I

Følgende grafer viser muggvekstindeksen for produkt I med ulike parametervalg. Produktet har tredje høyeste målte dampmotstand til klebefelt fra laboratorieforsøkene. Klebefeltene til produkt I har målt  $s_d$ -verdi på 11 m.

