



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Videreudvikling af måleinstrument

Fugthætte

Andersen, Helle Vibeke; Morelli, Martin

Creative Commons License
Ikke-specificeret

Publication date:
2023

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Andersen, H. V., & Morelli, M. (2023). *Videreudvikling af måleinstrument: Fugthætte*. (1 udg.) Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. BUILD Rapport Bind 2023 Nr. 03

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



BUILD RAPPORT



2023:03

Videreudvikling af måleinstrument

Fugthætte



VIDEREUDVIKLING AF MÅLEINSTRUMENT

Fugthætte

Helle Vibeke Andersen
Martin Morelli

BUILD rapport 2023:03
BUILD, Aalborg Universitet
2023

| | |
|-------------------------------|--|
| TITEL | Videreudvikling af måleinstrument |
| UNDERTITEL | Fugthætte |
| SERIETITEL | BUILD rapport 2023:03 |
| FORMAT | Digital |
| UDGIVELSEÅR | 2023 |
| UDGIVET DIGITALT | 2023 |
| FORFATTER | Helle Vibeke Andersen og Martin Morelli |
| SPROG | Dansk |
| SIDETAL | 96 |
| LITTERATURHENVISNINGER | Side 70 |
| EMNEORD | Fugthætte, fugt, fugtmåling, skimmelsvampe, skimmelvækst |
| ISBN | 978-87-563-2094-8 |
| ISSN | 2597-3118 |
| LAYOUT | BUILD |
| FOTO | Martin Morelli & Helle Vibeke Andersen |
| UDGIVER | Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post build@build.aau.dk |

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

INDHOLD

| | |
|--|-----------|
| FORORD | 5 |
| SAMMENFATNING | 8 |
| Dataanalyse af forsøg med opfugtede materialer | 8 |
| Resultater fra bolig | 9 |
| Test i laboratorie | 9 |
| Instrument og brugerflade | 10 |
| Anvendelsesmuligheder | 10 |
| Konklusion | 11 |
| 1 INDLEDNING | 14 |
| 1.1 Baggrund | 14 |
| 1.2 Formål | 14 |
| 1.3 Rapportens opbygning | 15 |
| 2 MATERIALER OG METODER | 18 |
| 2.1 Fugthætten | 19 |
| 2.2 Laboratorieforsøg | 19 |
| 2.3 Forsøg i bolig | 24 |
| 3 RESULTATER OG DISKUSSION | 28 |
| 3.1 Laboratorieforsøg | 28 |
| 3.2 Analyse af data fra bolig | 36 |
| 4 INSTRUMENT OG BRUGERFLADE | 44 |
| 4.1 Krav til datalogning (software, tidsopløsning, rækkevidde mv.) | 45 |
| 4.2 Brugerflade dataloggere | 46 |
| 5 ANVENDELSESMULIGHEDER OG PERSPEKTIVER FOR FUGTHÆTTEN | 50 |
| 5.1 Risikovurdering af skimmelvækst | 50 |
| 5.2 Måleforhold og resultater | 52 |
| 5.3 Sammenkobling af måleresultat og skimmelrisiko | 54 |
| 5.4 Andre formål med anvendelse af fugthætten | 56 |
| 6 EKSEMPLER I PRAKSIS | 60 |
| 6.1 Case A | 60 |
| 6.2 Case B | 62 |
| 6.3 Case C | 63 |
| 6.4 Case D | 65 |
| LITTERATUR | 70 |
| BILAG | 72 |
| Bilag 1. Foto og materialer | 72 |

| | |
|--|----|
| Bilag 2. Beregningsparametre | 74 |
| Bilag 3. Klæbemasse | 75 |
| Bilag 4 Test af hætte-materialer i klimaskab | 77 |
| Bilag 5 Foto af opsætning bolig | 88 |
| Bilag 6. Kurvetilpasning og forklaringsgrad | 89 |
| Bilag 7. Tabelværdier t95 og emission | 90 |
| Bilag 8. T og % RF i stue og trapperum | 91 |

FORORD

Skimmelsvampe kan vokse på materialer, hvor den biologiske tilgængelighed af vand og næring er tilstrækkelig ved en passende temperatur. Materialer i ligevægt med en relativ luftfugtighed på 75 % eller mere anses normalt i risiko for angreb af skimmelvækst. På BUILD er der arbejdet på at udvikle et instrument til at måle den relative fugtighed på overfladen af et materiale, også kaldet "vandaktiviteten". Målemetoden vil således kunne bruges til at undersøge, om der et givent sted er tilstrækkelig fugt til stede til, at der kan opstå skimmelvækst. Metoden måler den relative fugtighed umiddelbart over materialets overflade og i modsætning til mange andre målemetoder, er der ikke behov for nærmere kendskab til materialetype eller destruktive indgreb.

Nærværende rapport omhandler evaluering af metoden, der viser lovende resultater. Rapporten er en teknisk rapport. Seniorforsker Helle Vibeke Andersen, BUILD v. Aalborg Universitet, har gennemført projektet sammen med seniorforsker Martin Morelli, BUILD v. Aalborg Universitet og fortsat arbejdet efter den oprindelige ide fra seniorforsker Eva B. Møller (nu professor ved DTU). Miljøtekniker Lasse Borgstrøm Eriksen har assisteret ved laboratorieforsøg. Undertegnede har stået for kvalitetssikring af både analyser og denne rapport. Projektet er støttet med bevillinger fra Grundejernes Investeringsfond, Landsbyggefonden og Fonden af 20. december. Tak til øvrige kollegaer for frugtbare diskussioner undervejs i projektet.

BUILD - Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet
Sektionen for Byggeteknik, Processer og Indeklima.
Marts 2023

Ruut Peuhkuri
Forskningschef



SAMMENFATNING

SAMMENFATNING

Denne rapport omhandler karakterisering af et måleinstrument, en såkaldt "fugthætte", samt hvordan en fugthættemåling kan bruges til at vurdere risiko for dannelse af skimmelvækst på en materialeoverflade. Instrumentet består af en petriskål af plast, hvori der er anbragt en trådløs temperatur- og fugtføler. Den åbne side af petriskålen gøres fast til en overflade med en tætsluttende aftagelig klæbemasse på petriskålens kant. Efter et vist tidsrum vil vandindholdet i luften mellem overflade og petriskål (fugthætte) indstille sig i en ligevægt med overfladen. Ved at måle den relative fugtighed (RF) i hættens fås et mål for vandaktiviteten i materialet.

Den første del af rapporten omhandler karakterisering af målemetoden og vurdering af, hvorvidt måletiden kan forkortes. Vurderingen er baseret på måleresultater fra laboratorieforsøg med opfugtede materialer. Dertil kommer en række supplerende forsøg med metoden i laboratorium, hvor fokus har været selve materialerne, der indgår i fugthætten. Metoden er også efterprøvet i en bolig. Den anden del af rapporten omhandler videreudvikling af prototypen, anvendelsesmuligheder samt grundlag for vurdering af risiko for dannelse af skimmelvækst på baggrund af fugthættemålinger. Her er bl.a. beskrevet en række målinger i praksis (cases), og hvordan disse fortolkes.

Dataanalyse af forsøg med opfugtede materialer

Der er gennemført en række laboratorieforsøg, hvor prøveemner af forskellige materialer, med og uden overfladebehandling, er opfugtet ved at konditionere dem ved 65 % eller 90 % relativ fugtighed (RF) i et klimakammer. Prøveemner med overfladebehandling er yderligere opdelt i prøveemner med intakt overfladebehandling og prøveemner, hvor overfladebehandlingen i større eller mindre grad er gennemhullet. Den ubehandlede overflade af prøveemnerne er dækket med en PE-folie. De ubehandlede prøveemner er lavet som et kvadratisk hul i folien på bagsiden af prøveemnet og fastholdt til prøveemnet med gaffatape. De konditionerede prøveemner er efterfølgende flyttet til et klimakammer med 50 % RF, hvor fugthætten er monteret og måledata opsamlet. Data fra monteringsstidspunktet og det efterfølgende forløb frem til der er opnået en ligevægt mellem materiale og luften i fugthætten, betegnes "indsvingningsperioden". I indsvingningsperioden udviser måledata et kurveforløb og dette forløb er tilpasset et matematisk udtryk ved brug af non-lineær regressionsanalyse med mindste kvadraters metode. Den matematiske funktion giver mulighed for beregning af en række parametre, bl.a. niveau for ligevægt og den tid, det tager at opnå ligevægt. Reproducerbarheden af måleresultaterne fra laboratorieforsøgene er tilfredsstillende, dog er spredningen stor fra forsøg ved konditionering ved 90 % RF.

Tid til ligevægt

Dataanalyserne viser, at beton er længst tid om at nå tæt på ligevægt (6-7 timer), mens de andre materialer er mindre end 4 timer. Der er en tendens til, at tid til ligevægt er kortere ved konditioneringen ved 90 % RF sammenholdt med de 65 % RF, især for beton. Indenfor hver af de to konditioneringer er der generelt sammenlignelige tider til ligevægt, uanset om prøveemnet er overfladebehandlet eller ej. Dette til trods for, at arealet med fordampning på de ubehandlede prøveemner har en mindre udbredelse end arealet på de behandlede flader.

Det kunne tyde på, at overfladebehandlingen sænker hastigheden af fordampningen af vand fra materialerne, dvs. uden overfladebehandling er tiden til ligevægt kortere. Dog kan årsagen også være utætte vedhæftninger af folie til materialet. Det kunne tyde på, at overfladebehandlingen har ringe effekt, hvilket er i overensstemmelse med tidligere forsøg, der viste lav vanddampsmodstand i overfladebehandlingen.

For at simulere en kortere måleperiode, er datagrundlaget for kurvetilpasningen ændret til kun at omfatte de første to timers målinger. På dette grundlag er beregningen af niveau for ligevægt rimelig for de fleste materialer, dog viser nogle af betonprøverne, at kun to timers målinger er utilstrækkeligt. De opnåede resultater viser, at fugthætten i mange tilfælde ikke behøver en fremskrivning, hvis den sidder minimum 4 timer og 7 timer i tilfælde med betonvæg.

Resultater fra bolig

Forsøgene i en bolig viser god reproducerbarhed af fugthættemålingerne. Resultaterne tyder på, at væggene i den pågældende bolig er i en form for ligevægt med rumluften, da væggenes temperatur og RF følger mønstre i rumluften, men med mindre udsving og en vis tidsforsinkelse.

Målingerne er foretaget i perioden september til december og viser, at det absolutte vandindhold i væggene viser en sammenhæng til den udendørs temperatur. Væg målingerne antager ikke en fast værdi, men ændres over tid, også indenfor døgnnet. Det betyder, at den oprindelige intention med en matematisk fremskrivning af få timers måledata ikke nødvendigvis vil fungere, da der ikke er en bestemt "slutværdi". I de her givne perioder (efterår og tidlig vinter) har den RF målt med fugthætte fastmonteret på væg varieret fra omkring 50 % til lidt over 60 %. Dette skal ses i sammenhæng med temperaturen, der også har en variation over tid. Set i relation til risikovurderinger af skimmelvækst kan forholdsvis små ændringer i RF have mindre betydning, mens det generelle niveau har stor betydning.

Fejlkilder

Ved afprøvning af metoden i bolig viste det sig, at der visse steder var små luftlommer under tapetet, hvilket er ødelæggende for målingen. Det er derfor afgørende for en valid måling, at der er fast vedhæftning af overfladebehandling til underlag. Målingen med fugthætte kan med fordel understøttes af en måling i rumluften, da dette kan afsløre fejl på fugthættemålingen. Ligeledes vil opsætning af flere fugthætter hjælpe til vurdering af brugbare resultater.

Test i laboratorie

Undervejs i forløbet med målinger i boligen viste det sig, at der måske var udfordringer i forhold til forventningen om en 100% damptæt fugthætte i forhold til rumluften. Der er derfor gennemført en række ekstra forsøg. De viser bl.a., at plastskålen anvendt til fugthætten trods alt har en væsentlig større diffusionsmodstand for vanddamp end de materialer, der er målt på. Den manglende damptæthed af fugthætten vurderes derfor uden betydning for de gennemførte forsøg og afprøvninger. Fugthætter med petriskåle af glas blev også testet. Disse var mere damptætte, men der blev observeret en vis indflydelse af temperaturen på målingen. Anvendes metoden i praksis på materialer med en begrænset vanddampsmodstand, forventes fænomenet at være uden betydning. Disse forsøg er rapporteret i bilag, mens konklusionerne står i rapporten.

Instrument og brugerflade

Den videreudviklede prototype af fugthætten består af en petriskål af plast, hvori der er anbragt en trådløs temperatur- og RF-føler med selvstændig datalogning. Herved undgås ekstern dataopsamler med tilhørende computer og behov for ekstern strømforsyning. Den videreudviklede prototype behøver ikke nødvendigvis en professionel nedtagning, dvs. beboer eller andre kan demontere fugthætten og aflevere eller sende den tilbage til fx varmemesteren. Der er to varianter af dataloggere. Den ene fungerer med et USB-stik, mens den anden kommunikerer med Bluetooth. Begge typer har kommercielle brugerflader.

Det anbefales at arbejde videre på den nye version af prototypen. Der er på nuværende tidspunkt problemer med Bluetooth opkoblingen. Der er tillige erfaret, at designet af batteriholder på USB-versionen bør forbedres. En gennemsigtig fugthætte er at foretrække, da det dermed er muligt at kontrollere, at klæbemassen sidder ordentlig fordelt på inder- og yderside af hætte og til en vis grad, om den ser ud til at slutte tæt til overfladen. Petriskålen i glas er mere robust end udgaven i plast, hvilket gør den nemmere at montere. Der er dog en risiko for brud og her er glasskålen mere kritisk, da man kan risikere at skære sig og der bør derfor tages forholdsregler.

Anvendelsesmuligheder

Vurdering af risiko for skimmelvækst

Risiko for skimmelvækst kan vurderes efter forskellige metoder og ses i sammenhæng med andre parametre som temperatur, byggemateriale, tilsmudsningsgrad (tilgængelighed af næring) og varighed af fugtpåvirkning (tid). En model, der tager dele af dette med i betragtning, er præsenteret med figurer, hvor RF og temperatur sammenholdes med risiko for udvikling af skimmelvækst på forskellige tidsskalaer for påvirkningen. Her kan fugthætten anvendes til at give et mål for RF og temperatur, der dermed kan indgå i vurderingen.

Valg af målepunkt og fortolkning af resultater

Viden om typiske årsager til skimmelvækst kan hjælpe til at udvælge steder, hvor det er hensigtsmæssigt at placere en eller flere fugthætter. I rapporten er dette beskrevet, sammen med en beskrivelse af, hvordan man skal fortolke målingerne og vurdere risici for skimmelvækst.

Eksempler med målinger

Der er besøgt fire bygninger (boligejendomme) og eksemplerne viser fugthættemålinger og vurderingen af risiko for skimmelvækst. Et af eksemplerne viser tydelig opfugtning af kældervæg.

Andre anvendelser

Der er beskrevet overvejelser om, hvorvidt målinger af rumluften kombineret med målinger med fugthætten kan afsløre noget om kilden til et eventuelt fugtproblem.

Opfugtede materialer

På baggrund af laboratoriemålingerne kan vi konkludere, at målinger med fugthætten tydeligt indikerede opfugtede materialer. Her blev opfugtede materialer sammenlignet med en markant lavere fugtighed i den omgivende rumluft. Fugthættemålinger på en kældervæg i en af de besøgte cases, viser høj RF på væggen. Samtidige målinger i rumluften indikerede klart, at væggen afgiver vanddamp, og at der er et problem med opfugtet væg. Nærværende

forsøg med målinger i en bolig giver ikke et datagrundlag, der kan dokumentere brugen af fugthætten i relation til kilde til fugt, da målingerne netop viser, at der ikke er et fugtproblem.

Langtidsovervågning

Det spekuleres endvidere, hvorvidt fugthætten i visse situationer potentielt kan bruges til at langtidsovervåge fugtforhold på en overflade. En løbende dataovervågning ville således have potentiale til anvendelse til regulering af varme- og ventilationsforhold ud fra et perspektiv om forebyggelse af skimmelvækst. Det er vanskeligt at vurdere dette generelt, da mange forhold har indflydelse bl.a., hvorvidt konstruktionen er fugtbelastet af byggetekniske årsager og/eller hvordan de generelle indeklimaforhold er i sammenhæng med konstruktionen. Måles på et opfugtet materiale, der ikke er i ligevægt med omgivelserne, vil målingen i fugthætten ikke repræsentere andet end selve den flade, der er dækket af fugthætten. En sådan måling vil ikke kunne bruges til at regulere indeklimaet, da en øget affugtnings/ventilation af omgivelserne på kort sigt ikke vil påvirke fugthættemålingen (men være vigtig for rumluften og andre overflader i rummet). Målinger på en væg uden specifikke fugtpåvirkninger, dvs. en vis grad af tilpasning til indeklimaet, vil kunne give oplysninger om, hvornår fugtniveauet måtte nå værdier, der kunne være kritiske i sammenhæng med risiko for skimmelvækst. Her ville en overvågning af rumluften (indeklimaet) dog være en parameter, der hurtigere vil give en indikation af behov for indgriben, netop fordi materiale og rum er relateret, men materialet har en tidsforsinket respons på rumforholdene.

Konklusion

Overordnet konkluderes, at fugthætten fungerer til at måle fugtniveauet i ligevægt med den overflade af et materiale, hvor hætten monteres. Fastgørelsen til underlaget og underlagets vedhæftning til eventuelt bagvedliggende materiale er afgørende for en korrekt måling. Flere parallelle målinger og en samtidig måling i rumluften er en god støtte til tolkning af resultaterne, da større utætheder derved kan afsløres. Samtidigt vil større forskelle i RF mellem fugthætte og rumluft indikere, at materialet har en grad af opfugtning, der bør undersøges nærmere.

Den videreudviklede fugthætte har intern dataopsamling, hvilket gør den nemmere at håndtere. Målingerne kan aflæses med kommerciel brugerflade, hvilket gør den mere brugervenlig. Der er brug for nogle mindre justeringer af den videreudviklede fugthætte.

En overfladefugtighed på 75 % RF anses som en kritisk værdi i sammenhæng med vækst af skimmelsvampe. Hvis fugthættemålingen viser værdier op mod 75 % RF eller derover, er det en stærk indikation for et forhøjet fugtniveau, og det anbefales, at man ved sådan en observation skal være ekstra opmærksom og anvende andre målemetoder til nærmere undersøgelse af årsagerne til dette forhøjede fugtniveau.



1

INDLEDNING

1 INDLEDNING

1.1 Baggrund

Skimmelsvampe vokser på materialer, hvor den biologiske tilgængelighed af vand er tilstrækkelig. Materialer i ligevægt med en relativ luftfugtighed (RF) over 75 % anses normalt for at kunne angribes af skimmelvækst, hvis svampene kan finde næring i eller på materialet. Den relative fugtighed ved ligevægt kaldes også for materialets vandaktivitet og bruges bl.a. som mål for den biologiske tilgængelighed af vand i materialer. På BUILD er der arbejdet på at udvikle et instrument til at måle overfladematerialers vandaktivitet. Målemetoden vil således kunne bruges til at undersøge, om der et givent sted er tilstrækkelig fugt til stede til, at der kan opstå risiko for skimmelvækst. Derfor har metoden potentiale til anvendelse i forbindelse med skimmelvurderinger, hvor svaret vil foreligge relativt hurtigt og billigt.

Instrumentet består af en damptæt hætte, her kaldet "fugthætte", der anbringes tætsluttende på en overflade. Efter et vist tidsrum vil vandindholdet i luften i fugthætten indstille sig i en ligevægt med overfladen. Ved at måle RF i hætten kendes vandaktiviteten i materialets overflade uanset, hvilket materiale der er tale om. Den udviklede prototype består af en petriskål af plast, hvori der er anbragt en trådløs temperatur- og fugtføler. Petriskålen gøres fast til en overflade med en tætsluttende aftagelig klæbemasse på petriskålens kant, så petriskålen kan trykkes fast på en overflade og tages af igen uden at efterlade spor. Tiden hen mod ligevægt betegnes her som "indsvingningstiden". Den vil bl.a. afhænge af materialetype og overfladebehandling, men også forskellen mellem den relative fugtighed i rumluften og materialet.

Sammenlignet med målinger af luft- og overfladetemperatur og RF i rumluften, vil fugthættemålingen være mindre følsom overfor kortvarig udluftning, da RF i materialets poreluft ikke ændrer sig så hurtigt som RF i rumluften kan gøre. Det kan imidlertid være væsentligt for metodens anvendelse, hvor længe fugthætten skal være monteret. Jo kortere måleperiode desto større anvendelighed i praksis.

I forhold til andre indirekte fugtmålemetoder vil metoden være attraktiv, da den direkte angiver en vandaktivitet. De fleste andre metoder er relative og skal kalibreres til det aktuelle materiale evt. ved destruktiv prøveudtagning. En kalibrering er vanskelig at foretage, ikke mindst fordi det kan være svært at vurdere om fx en væg er af beton, pudset murværk eller letbeton. Det problem vil der ikke være med fugthætten. Desuden vil målinger af rumluften over længere tid kombineret med målinger med fugthætten kunne afsløre noget om kilden til et eventuelt fugtproblem fx skyldes beboeradfærd eller byggetekniske fejl. Yderligere kunne måleinstrumentet i visse situationer potentielt bruges til at langtidsovervåge fugtforhold på en overflade. En løbende dataovervågning ville således have potentiale til anvendelse til regulering af varme- og ventilationsforhold ud fra et perspektiv om forebyggelse af skimmelvækst.

1.2 Formål

Projektet har en række formål, der dels karakteriserer selve måleinstrumentet, dels brug i praksis. Da metoden har en vis indsvingningstid før det endelige måleresultat opnås, er et af formålene at undersøge, om målinger på en overflade allerede efter få timer kan bruges til at fremskrive udviklingen og dermed give mulighed for at ekstrapolere, hvad niveauet for

ligevægt (slutværdien) bliver. Dette undersøges gennem dataanalyse af eksisterende afprøvninger, der er foretaget med metoden i laboratoriet i forbindelse med udvikling af prototypen. Målingerne viser lovende resultater, men der går mange timer inden luften i fugthætten er i ligevægt med materialet.

Et andet formål med projektet er at færdigudvikle metoden, herunder at vurdere metodens usikkerheder. Dette indebærer også videreudvikling af selve instrumentet således, at det vil være muligt for fx varmemestre at opsætte instrumentet og via et program eller tabelopslag at kunne vurdere risiko for udvikling af skimmelvækst, hvor instrumentet har siddet i en given periode.

Et tredje formål er at undersøge, hvorvidt instrumentet vil kunne bruges fast monteret (stationært) på udsatte overflader og dermed opsamle og videresende data, der kan anvendes til styring af bygningsinstallationer. Således ville varme og ventilation kunne øges, hvis forholdene berettiger dette for at forebygge skimmelvækst.

1.3 Rapportens opbygning

Denne rapport omhandler karakterisering af selve måleinstrumentet, forsøg og beregninger samt en videreudvikling af prototypen. Forsøg, der karakteriserer selve materialerne, der er brugt til fugthætten, er samlet i bilag og konklusionerne præsenteret i rapporten. Rapporten præsenterer også grundlag for vurdering af risiko for dannelse af skimmelvækst og eksempler fra cases, hvor fugthætten er brugt i praksis.

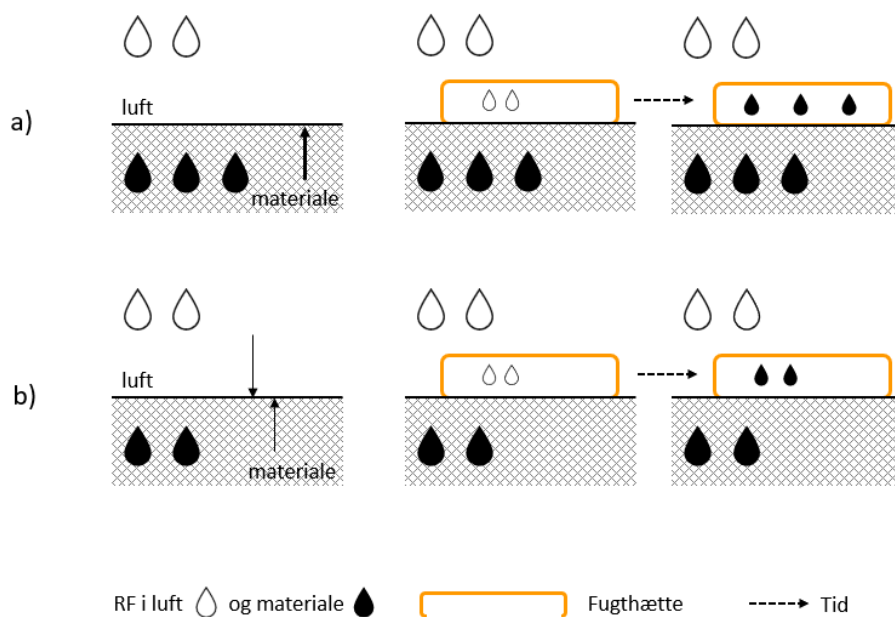
The background of the page is filled with a pattern of thin, dark blue, wavy lines that create a sense of movement and depth. These lines are arranged in concentric, slightly irregular curves that flow across the entire page. In the center, there is a solid dark blue circle containing the number '2'. Below this circle, the title 'MATERIALER OG METODER' is written in a bold, dark blue, sans-serif font, centered horizontally.

2

MATERIALER OG METODER

2 MATERIALER OG METODER

Fugthætten er brugt til forsøg i laboratorie og afprøvet i en bolig. Fugthætten består af en petriskål, der monteres med den åbne side ind mod et materiale med et klæbemiddel. Inde i hulrummet sidder en sensor, der registrerer temperatur og RF. Alle forsøg er udført efter samme princip, hvor fugthætten monteres på et materiale eller vægoverflade, hvorefter der måles temperatur og relativ fugtighed over en given tidsperiode. I laboratoriet er materialeprøverne blevet kunstigt opfugtede og der fordampes derfor vanddamp fra de fugtbelastede materialer til en fugthætte monteret i en atmosfære, hvor fugtindholdet er lavere end materialet. Dette kunne repræsentere en situation med en opfugtet væg i et rum, hvor rumluften er affugtet eventuelt gennem kraftig udluftning eller hvor rumklimaet er normalt, men konstruktionen opfugtet af fx utætheder i klimaskærmen. Efter et stykke tid vil RF i luften i fugthætten være i ligevægt med materialet. Princippet er illustreret FIGUR 1a. I boligen, der er brugt til afprøvning af fugthætten, er de testede overflader ikke fugtbelastede og her repræsenterer målingerne en situation, hvor der i højere grad er en løbende udveksling af vanddamp mellem materiale og rumluft (illustreret FIGUR 1b). Udluftes boligen til en lavere RF, hvorefter fugthætten monteres, kan situationen ligne den, der illustreres i laboratorieforsøgene.

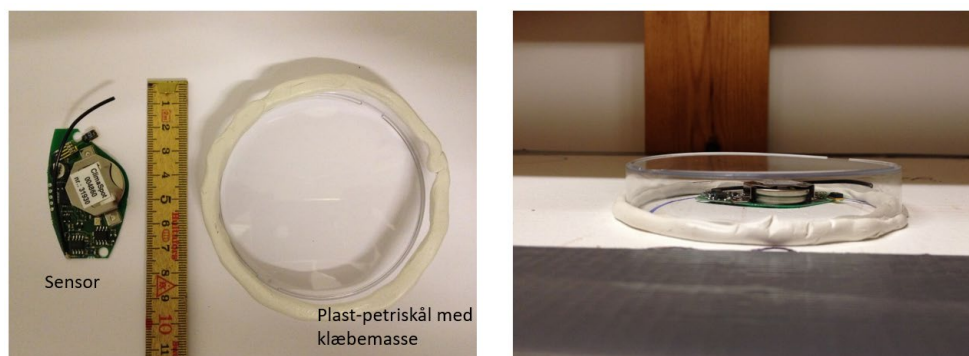


FIGUR 1. Principskitse af fugthættemåling a) opfugtet materiale, hvor fugthætte monteres i atmosfære med en RF, der er lavere end ligevægs-RF, men over tid indstiller luften i fugthætten sig til ligevægt med materialet, b) materiale, der vekselvirker med luft, hvor fugthætte monteres i atmosfære, der er tættere på ligevægt og over tid opnår ligevægt med materiale.

I de følgende afsnit gennemgås de forskellige delelementer i forsøgene, først for forsøg i laboratorie, dernæst forsøg gennemført i bolig. Der er udført praktiske forsøg i en række bygninger (cases), som følger principperne beskrevet i metodeafsnittet. Disse resultater er beskrevet i afsnit 6.

2.1 Fugthætten

Den første version af fugthætten består af en petriskål af plast, 88 mm i diameter og højde på 14 mm, hvilket giver et luftvolumen i fugthætten på ca. 85 cm³ (hvis klæbemassen ignorerer), se figur 2. Til måling af temperatur og relativ fugtighed er der benyttet en trådløs temperatur- og relativ fugtighedssensor (Clima-Spot, BMT Instruments ApS, Staktoften 22D, 2950 Vedbæk). Sensoren sender data for den aktuelt målte temperatur og RF ca. hvert 4 minut til en Profort dataopsamler, der er koblet til en computer. ClimaSpot registrer temperatur i intervallet -10°C – +55°C med en usikkerhed på ±0,3°C mellem 0°C og 55°C. Den relative fugtighed registreres i intervallet 10-90 % med en usikkerhed på ±1,8 % RF.



FIGUR 2. Foto af temperatur og relativ fugtigheds sensor og petriskål (tv.) og fugthætte monteret på overflade (th.).

Fugthætten klæbes (monteres) på materialet ved brug af klæbemasse, der i daglig tale omtales ”lærerens tyggegummi”. Klæbemassen er aftagelig, dvs. overfladen efterlades intakt.

Dataopsamleren er tilkoblet en computer og vha. tilhørende programmer eksporteres de lagrede data manuelt til en Excel fil. I Excel-filen ligger alle data i én kolonne med id, tid og måleresultater for temperatur og relativ fugtighed. Herefter skal data behandles manuelt af brugeren.

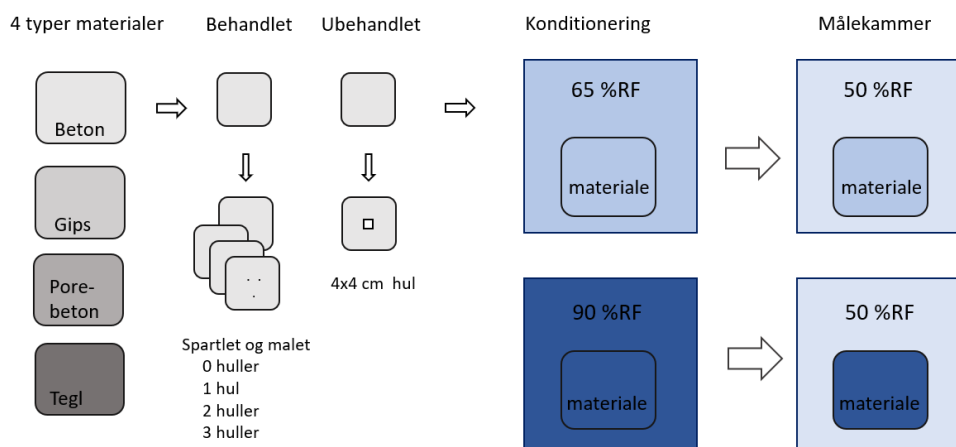
I afsnit 4 beskrives en videreudvikling af instrumentet, herunder tilhørende resultater fra en række cases præsenteres i afsnit 6. Resultaterne i afsnit 3 vedrører den første version af fugthætten beskrevet her.

2.2 Laboratorieforsøg

I laboratorieforsøgene blev prøveemner af beton, porebeton, tegl og gips overfladebehandlet på den ene side med spartelmasse (Dana Lim Letspartel Medium Extra 623), primer (Dyrup 2802 Puds Grunder) og to lag akrylmaling (Sadolin Verdensfarve – mat, serie 266-XXXX), mens bagside og kanter forblev ubehandlet. De ubehandlede overflader blev pakket ind i en 0,2 mm PE-folie, der blev fastgjort tætsluttende til den behandlede overflade med gaffa tape. Inden prøverne blev pakket ind i PE-folie blev de konditioneret i klimakammer til hhv. 65 % og 90 % relativ fugtighed (ved 20-23 °C).

Prøveemnerne kan opdeles i behandlede overflader og ubehandlede overflader. De behandlede overflader blev gennembrudt med 0, 1, 2 eller 3 små huller indenfor et areal, der ved montering blev dækket af fugthætten. Efter forsøg med behandlede overflader, blev den ubehandlede overflade testet ved at lave et 4 cm x 4 cm hul i PE-folien på modsatte side af den behandlede overflade. Folien blev fastholdt til prøveemnet med gaffatape, der også udgjorde kanten på kvadratet. Bilag 1 viser foto af de forskellige prøveemner.

Figur 3 illustrerer laboratorieforsøgene, hvor prøveemnerne efter konditionering ved enten 65 % eller 90 % RF, blev flyttet til et klimakammer med 50 % RF, hvor fugthætten blev monteret og måledata logget. Da det opfugtede materiale placeres i et klimakammer med en lavere RF, vil vandet fordampe fra overfladen og denne fordampning viser sig som ændringer i den RF i fugthætten.



FIGUR 3. Illustration af forsøgsrække i laboratorium.

2.2.1 Forsøgsrække

For hvert af de fire materialer, beton (flise), porebeton (blok), tegl (mursten) og almindelig gipsplade blev der udført tripel forsøg, dvs. tre fugthættemålinger på hver type overfladebehandling (behandlet 0, 1, 2, 3 huller eller ubehandlet 4x4). På hver type af materiale og overflade er der målt på tre forskellige positioner (se også foto bilag 1). De tre målinger kan være udført på samme eller forskellige dage.

De små huller i den behandlede overflade havde til formål at undersøge om en brudt overfladebehandling gav en øget fordampning. Dette var også formålet med at undersøge den ubehandlede overflade. Efter forsøg i 50 % RF klimakammeret blev prøveemnerne ført tilbage i det klimakammer, hvor de tidligere var konditioneret (ved hhv. 65 % RF og 90 % RF) og konditioneret, inden de blev taget i brug igen.

Målinger på behandlede prøveemner udgøres hele arealet under fugthætten, dvs. at hele arealet under fugthætten er overfladebehandlet, dog med undtagelse for tegl, hvor stensens bredde på 108 mm gør, at der er et lille smule gaffa tape under fugthætten. I modsætning til de behandlede overflader, er målinger på de ubehandlede overflader kun med en åbning mod fugthætten på 4 cm x 4 cm, mens resten af arealet er dækket af en PE-folie og gaffa tape. Der er taget hensyn til denne forskel i arealet i behandlingen af resultaterne med emission af vanddamp.

2.2.2 Materialer

De anvendte materialer, deres mål og egenskaber som densitet og vanddamppermeabilitet er angivet i tabel 1. I laboratorieforsøgene er der anvendt klæbemasse af to fabrikater, mens der har været anvendt tre i forsøgene i bolig. Der har været anvendt ca. 9-10 g klæbemasse. Kun én klæbemasse har været testet af El-Khattam og Andersen (2012), men det skønnes, at størrelsen på vanddampdiffusionsmodstanden, Z, er nogenlunde ens for alle anvendte klæbemasser.

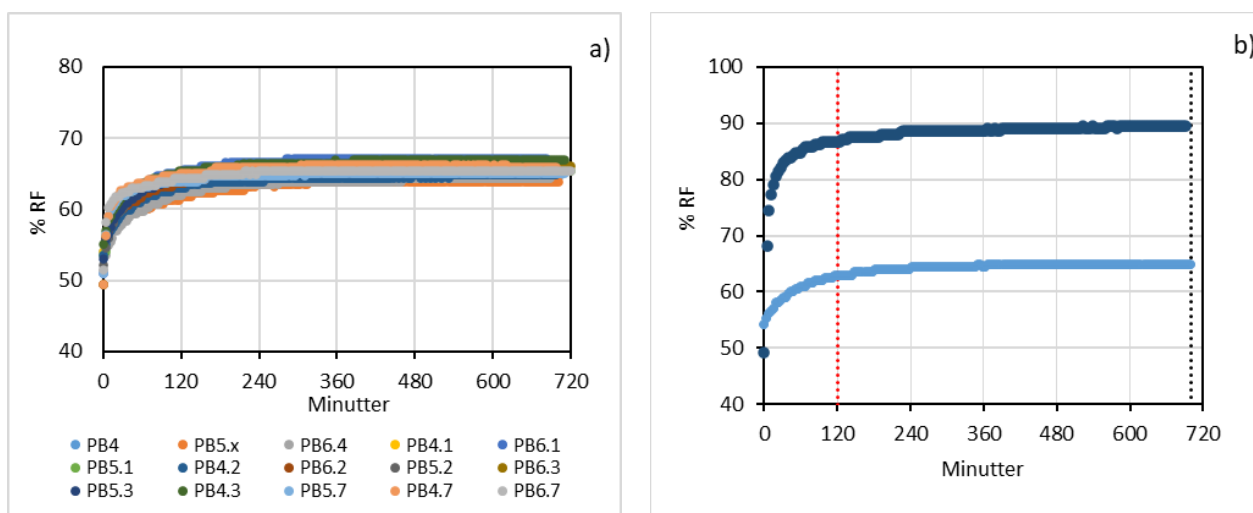
TABEL 1. Dimensioner, densitet og fugtegenskaber for materialer anvendt til laboratorieforsøg.

| Materiale | Dimension, mm | Densitet, kg/m ³ | Vanddamppermeabilitet, kg/(Pa·m·s) |
|----------------------------------|------------------|-----------------------------|---|
| Beton ^{A, D} | 400 x 400 x 50 | 2200 | 0,002·10 ⁻⁹ |
| Porebeton ^{A, D} | 600 x 400 x 50 | 535 | 0,067·10 ⁻⁹ |
| Tegl ^{A, D} | 230 x 110 x 50 | 1830 | 0,02·10 ⁻⁹ |
| Gips ^{A, D} | 400 x 400 x 12,5 | 750 | 0,026·10 ⁻⁹ |
| | | | Vanddampdiffusionsmodstand, (GPa·m ² ·s) /kg |
| Plastik hætte ^{B, D} | 88 / 14 | | > 500 |
| Overfladebehandling ^C | | | 1,6 |
| Klæbemasse ^C | 2 | | 233 |
| PE-folie ^D | 0,2 | | 500 |

^A Gennemsnitsværdier bestemt ved vejning og måltagning. ^B Dimensioner er angivet som diameter / højde. ^C Vanddampdiffusionsmodstanden er bestemt af El-Khattam og Andersen (2012). ^D Vanddamppermeabilitet, δ , er fra SBI anvisning 224 Fugt i bygninger (Brandt et al., 2013).

2.2.3 Kurvetilpasning af måledata

Figur 4a viser rådata for den RF målt i fugthætten på alle prøvetyper af porebeton, der er konditioneret ved 65 % RF. Figur 4b viser to typiske udviklinger af den RF over tid, målt i fugthætten på porebeton med intakt behandlet overflade konditioneret ved hhv. 65 % og 90 % RF. Den udadgående fugttransport ses som en stor ændring i den RF i fugthætten lige efter den monteres på prøveemnet. Efter noget tid flader kurven ud i takt med den RF i luften i fugthætten nærmer sig ligevægt med prøveemnet. Ved 700 minutter (11 timer og 40 min) er måleserierne tæt på ligevægt, og den målte værdi ved 700 minutter betragtes i denne sammenhæng som "slutværdi". Tiden hen mod ligevægt betegnes nedenfor som "indsvingningstiden" og forløbet af målingerne som "indsvingningsforløbet".



FIGUR 4. Fugthætte måledata for porebeton a) alle data ved 65 % RF konditionering, b) for intakt overfladebehandling, konditioneret ved hhv. 65 % og 90 % RF. Den røde linje markerer to timer (120 minutter) og den blå linje er 700 minutter efter montering. Data målt i disse perioder er anvendt som udgangspunkt for fremskrivning af slutværdi (jf. nedenstående tekst).

Der har været mindre variationer i temperaturen i de forskellige klimakamre og over måleperioden. Dette har indflydelse på den RF og for at fjerne betydningen af varierende temperatur i fugthætten, er den RF omregnet til absolut vandindhold (enhed g/m³) efter ligning 1 (Brandt et al. 2013). Den målte temperatur, θ , i fugthætten er anvendt til omregningen.

$$\text{absolut fugtindhold} = \frac{610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}}}{461,4 \cdot (273,3 + \theta)} \cdot \left(\frac{RF}{100}\right), \quad \theta \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

Måledata er anvendt til en kurvetilpasning ved brug af non-lineær regressionsanalyse med mindste kvadraters metode (Excel, version 2016). Luften i fugthætten har en RF omkring 50%, når den monteres på prøveemnet i målekammeret. Dvs. tilvæksten af fugt i hætten har en startværdi svarende til forholdene i fugthætten ved påsætning. Denne værdi bør fratrækkes resultaterne, men den er forbundet med en vis usikkerhed, der skyldes håndteringen ved påsætningstidspunktet. Det er derfor valgt at lade denne startværdi indgå som en parameter i funktionen for kurvetilpasningen i stedet for at fratrække den. Måledata er tilpasset følgende funktion:

$$y = \beta_1 - \beta_1 \cdot \exp(-\beta_2 \cdot \text{tid}) + \beta_3 \quad (2)$$

hvor

- β_1 "tilvækst" i koncentration
- β_2 udtryk for "kurvestejlhed"
- β_3 "start" koncentration (til tiden $t=0$)

Slutkoncentrationen eller slutværdien, dvs. den koncentration, der er ved ligevægt, er summen af startkoncentrationen og tilvæksten, dvs. slutværdi = $\beta_1 + \beta_3$.

Tiden til 95% af ligevægtskoncentrationen, t_{95} , kan udregnes som

$$t_{95} = \ln(0,05)/\beta_2 \quad (3)$$

Denne funktion er bl.a. egnet til at sammenligne tid til ligevægt for de forskellige materialer (se bilag 2).

I begyndelsen af kurveforløbet er kurven tilnærmelsesvis lineær. I dette tidsrum har fugtindholdet i luften i fugthætten minimal indflydelse på fordampningen fra overfladen. Efterhånden som fugtindholdet stiger i fugthætten øges indflydelsen på (netto)fordampningen ved materialets overflade og kurven begynder at krumme. Vi har arbitrært defineret tiden til 25% af ligevægt, t_{25} som den øvre grænse for en tilnærmelsesvis lineær afgivelse af vanddamp (se også Shoeib & Harner, 2002).

$$t_{25} = \ln(0,75)/\beta_2 \quad (4)$$

Der er lavet kurvetilpasning efter ligning 2 på to typer datasæt for alle målinger. Det ene datasæt omfatter alle måledata opnået i de første 700 minutter efter montering af fugthætten. Det andet datasæt er begrænset til måledata opnået i de første 120 minutter (2 timer) efter montering af fugthætten. Det er gjort for at simulere en kortere måleperiode, fx under et besøg i en bygning, og dermed muligheden for at fremskrive data til slutværdi efter bare 2 timers måling.

2.2.4 Udregning af emission af vanddamp

Emissionen (afgivelsen) af vanddamp fra prøveemne til fugthætte frem til ligevægt er beregnet. Emissionen er beregnet som mængden af vand der fordamper pr. arealenhed i tiden frem til ligevægt. Hermed tages der højde for, at de behandlede prøver kan fordampe vand fra hele arealet under fugthætten, mens de ubehandlede prøver fordamper fra den del af overfladen, der ikke er dækket af tape.

Der er regnet med følgende: fugthætten har en indvendig diameter 88 mm og en højde 14 mm samt yderligere 2 mm fra "tyggegummi". Det giver et behandlet overfladeareal på ca. 61 cm² og et volumen på knap 100 ml. De "ubehandlede" prøver har et emissionsareal på 4

cm x 4 cm og tapen betragtes diffusionstæt. Den mængde vanddamp, der er afgivet for at opnå ligevægt, er forskellen mellem udgangspunkt og ligevægts-koncentration. Den absolute mængde vand, der er fordampet, beregnes som "tilvækst" (ligning 2, $\beta 1$, enhed g H₂O/m³) multipliceret med volumen af fugthætten. Den tid, det har taget at fordampe vand til opnået ligevægt, er sat til t_{95} , dvs. den beregnede tid til 95% af tiden til ligevægt er opnået. For hvert materiale er alle behandlede prøver slået sammen.

2.2.5 Estimering af vanddampdiffusionsmodstand

Vanddampdiffusionskoefficienten for et porøst materiale kan bestemmes vha. kopmetoden (DS/EN ISO 12572:2016). Med udgangspunkt i beregningsmetoden, der anvendes for kopforsøg, er vanddampdiffusionsmodstanden nedenfor estimeret ud fra de parametre, der kan bestemmes ved kurvetilpasning. Dette er gjort i forbindelse med undersøgelsen af selve materialerne til fugthætten. Ved test af selve plasten, der udgør petriskålen i fugthætten, betragtes systemet som to kamre med en plastplade (petriskålen) imellem. Det ene kammer ("kammer inde") er luftrummet under fugthætten, det andet kammer ("kammer ude") er de ydre omgivelser omkring fugthætten. Fugthætten er monteret på en glasplade, og det antages, at ændringer i "kammer inde" sker gennem plasten, der adskiller de to kamre. "Kammer ude" er et klimaskab, hvor temperatur og RF kan reguleres (se også afsnit 2.2.6, "hættmateriale" nedenfor).

Vanddampdiffusionsmodstanden er den reciprokke værdi af vanddamppermeancen, der beskriver en given flux af vanddamp gennem en fladeenhed ved en given gradient. Ved de aktuelle forsøg estimeres permeancen ved at beregne fluxen ud (eller ind) gennem materialet (plast-petriskålen) indenfor det tidsrum, hvor fluxen gennem/fra materialet forudsættes konstant. Der ses bort fra modstanden mod diffusion af vanddamp i luften i fugthætten. Der anvendes beregnede data for forskellige parametre (t_{25} samt koncentrationer af vanddamp) baseret på kurvetilpasningen opnået med 700 minutters måledata.

Den mængde vanddamp, der er afgivet fra start frem til tiden t_{25} , er beregnet som forskellen mellem det beregnede udgangspunkt ($\beta 3$ i ligning 2, enhed g H₂O/m³) og koncentrationen ved tiden t_{25} (ligning 2):

$$\Delta m = (\beta 3 - y(t_{25}))/t_{25} \quad (5)$$

Afgivelsen pr. arealenhed er $\Delta m/A$, hvor arealet, A er arealet under fugthætten. Vanddamp-permeancen, W (enhed kg/Pa m² s) udregnes som:

$$W = (\Delta m/A) / \Delta p \quad (6)$$

Hvor Δp er damptryksforskellen (enhed Pa). Gradienten er estimeret som forskellen mellem start og slutværdi, dvs. $\beta 1$. I realiteten sker der en forøgelse af vanddampptrykket i fugthætten i løbet af perioden fra start til t_{25} , men det ses der bort fra, da det er en stigning på mindre end 10%. Ved beregningerne er anvendt mættet damptryk ved middeltemperaturen for hele måleperioden (700 min) for de enkelte forsøg.

Vanddampdiffusionsmodstanden, Z (enhed GPa m² s/kg) udregnes som den reciprokke værdi af β :

$$Z = 1 / W \quad (7)$$

2.2.6 Karakterisering af fugthættematerialer

Undervejs i projektet blev der behov for at karakterisere selve plasthætte og klæbemasse, da det under visse omstændigheder viste sig ikke at være fuldstændigt vanddampstæt.

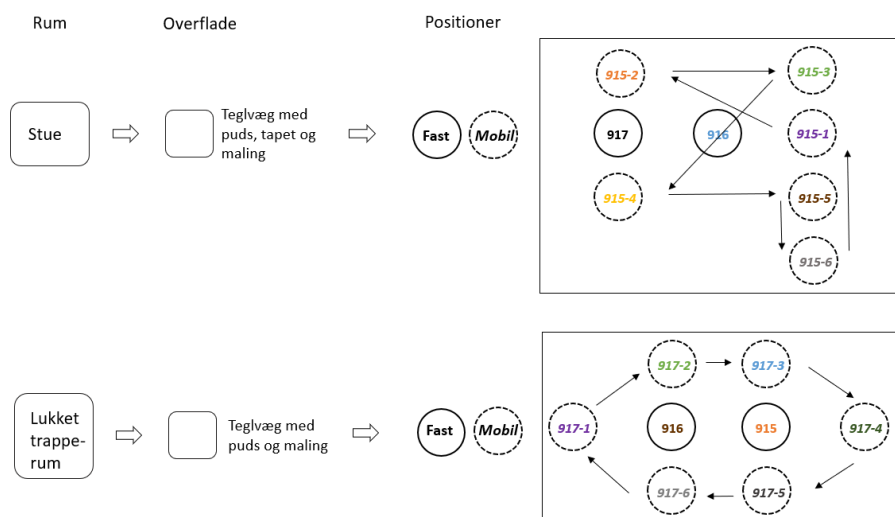
Dette har givet anledning til en række forsøg, hvor petriskåle af både plast og glas er karakteriseret gennem forsøg i klimakammer i laboratorie. Disse forsøg og deres resultater er beskrevet i bilag 4 og konklusionerne er summeret i afsnit 3.

2.3 Forsøg i bolig

Fugthættemålere er opsat på indvendige ydervægge i et tofamilieshus i to plan fra 1932. Det er et teglstenshus med hulmur, beliggende i Frederiksberg kommune. Boligen er i brug og typisk udluftet to gange dagligt med gennemtræk 10-15 minutter. Der er opsat fugthætter på to vægge med forskellig overfladebehandling. Den ene væg er i lukket trapperum mellem 1. sal og udnyttet loftetage, det andet rum er stue på 1. sal. Sideløbende med fugthættemålingerne på væggene er der målt temperatur og RF i rumluften med åben fugthætte, dvs. en fugthætte, der ikke er monteret, men ligger med den åbne side ud mod rummet.

Der har været 11 stk. prototype fugthætter til rådighed. 1½ døgns parallelmålinger i stuen ved omkring 21 °C og 51-54 % RF viste en standardafvigelse (SD) på hhv. < 0,3 °C og < 0,4 % RF og for begge typer målinger en relativ standardafvigelse (RSD) på ≤ 0,8 %. For det udregnede absolutte vandindhold var SD < 0,2 g H₂O/m³ og RSD < 1,5 %.

Nogle fugthætter har været monteret samme sted på væggen i en periode over mange dage (fast position). Andre fugthætter har været flyttet minimum dagligt til ny position på væggen (mobil position). Der er holdt en minimumsafstand på 10-20 cm mellem to fugthætter. Flytningen er ofte foretaget samtidig med eller lige efter en udluftning, og der er flyttet mellem seks bestemte positioner. Figur 5 viser oversigt over forsøgsgangen, mens yderligere detaljer er beskrevet nedenfor. I stuen var der et vindue mellem placeringerne af de fastmonterede fugthætter 917 og 916 (figur 5). Bilag 5 viser foto af trappeopsætning. Der er anvendt ca. 6 g klæbemasse (mærket Bantex) til opsætningen (svarende til en kugle på størrelse med en hasselnød med skal). Klæbemassen er genbrugt, dvs. ved nedtagning af en fugthætte er klæbemassen rullet til en kugle, derefter udrullet og sat på fugthættekanten igen og genopsat. Det er foregået i samme rum, som der måles, dvs. under de samme temperatur- og fugtighedsforhold.



FIGUR 5. Illustration af forsøgsrækker i bolig.

2.3.1 Stue: pudset, tapetseret og malet væg

Der er sat målere op på pudset, østvendt ydervæg i 1. sals højde. Væggen er tapetseret med glat papirtapet og malet med almindelig akrylmaling. Sideløbende målinger af temperatur og relativ fugtighed i rumluften er målt med åben fugthætte placeret i ca. 40 cm's afstand fra væggen (højde 1 m). På væggen er fugthætterne opsat ca. 165-180 cm over gulvet.

2.3.2 Trapperum: Pudset og malet væg

Der er sat målere op i 1½ sals højde på pudset, vestvendt ydervæg i et trapperum med lukket dør på både 1. og 2. sal. De yderste lag maling på væggen er almindelig akrylmaling, mens det inderste lag er fra før 1985 og af ukendt mærke. Fugthætterne er sat ca. 90-110 cm over gulvet på en repos. Sideløbende med fugthættemålingerne på væggen er der målt temperatur og relativ fugtighed i rumluften. Dette er gjort ved at placere en fugthætte med den åbne side fri til rumluften, ca. 20 cm fra væggen (højde 60 cm).

RESULTATER OG DISKUSSION

3 RESULTATER OG DISKUSSION

Resultaterne fra laboratorieforsøg og bolig er præsenteret nedenfor sammen med diskussion og konklusioner.

3.1 Laboratorieforsøg

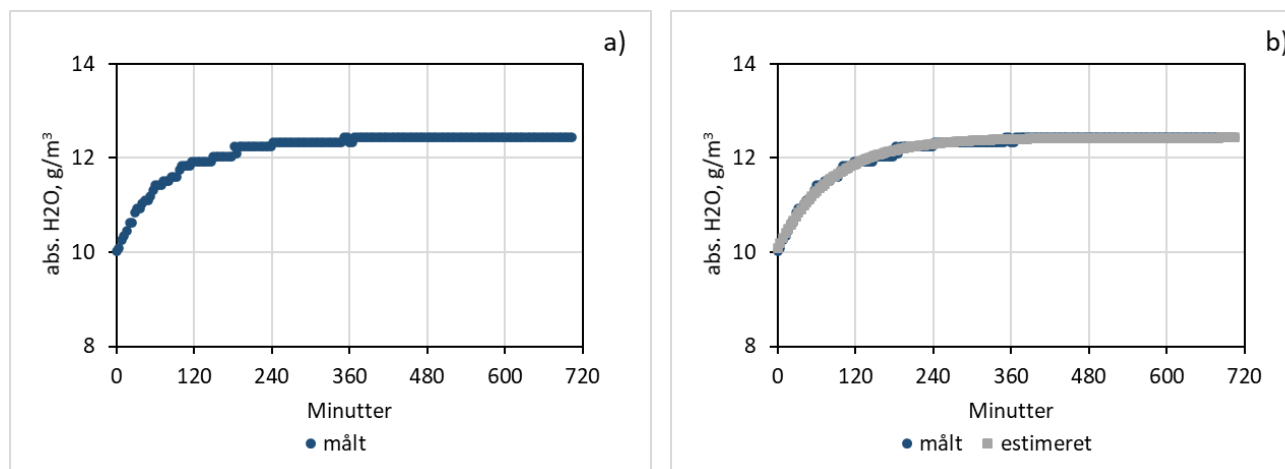
Resultaterne omhandler kurvetilpasning med de to typer datasæt samt tid til ligevægt og udregninger af fordampning (emission) af vand. To prøver for gips konditioneret ved 90 % RF er udeladt pga. fejl ved forsøgene.

3.1.1 Kurvetilpasning

Kurvetilpasningen baseres på måledata og afsnittet er opdelt efter tilpasning til lange tidsserier, her 700 minutter, dvs. 11 timer og 40 minutter og kortere tidserier, her 120 minutter, dvs. 2 timer.

700 minutter

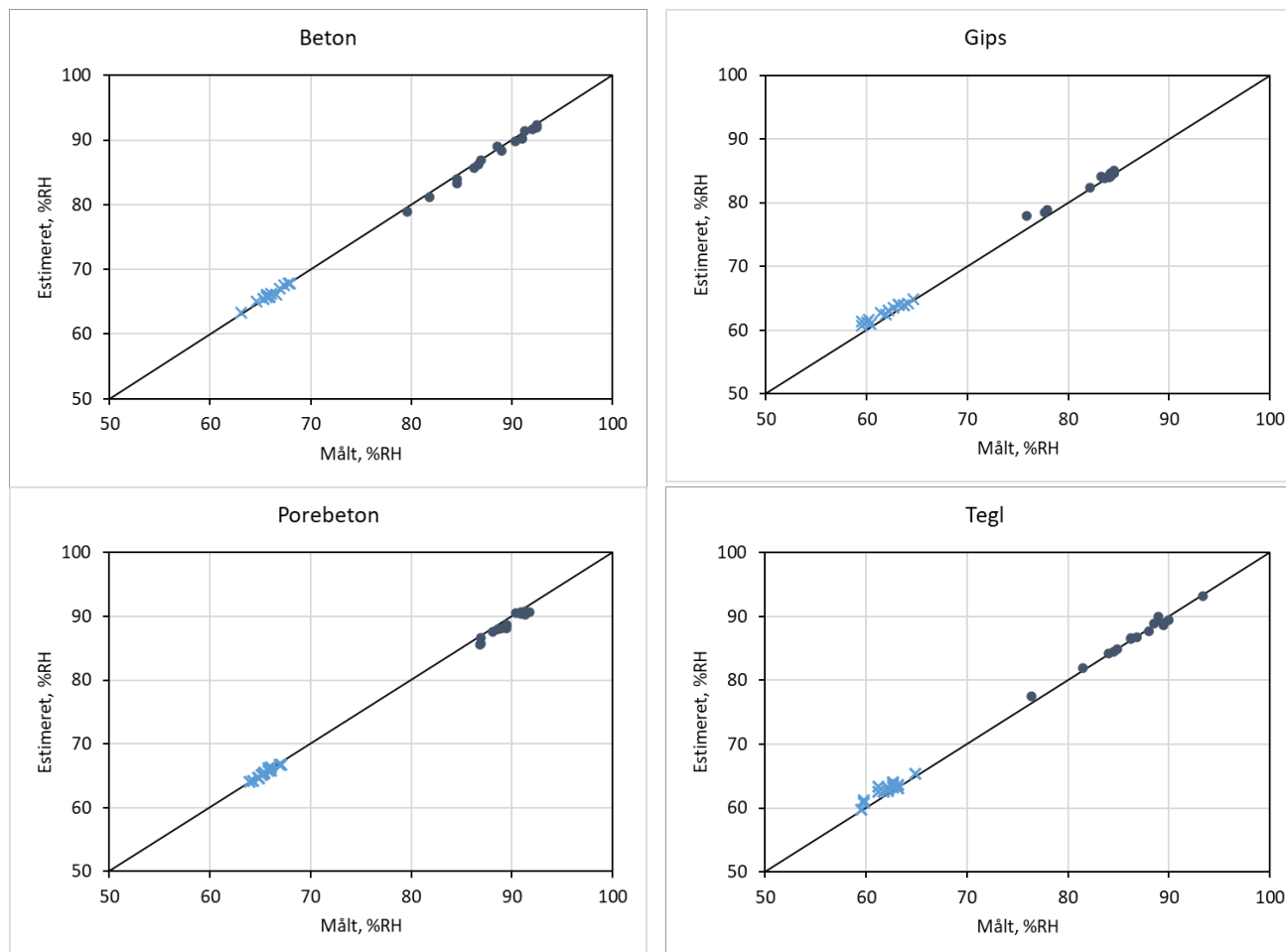
Dette afsnit viser resultater for kurvetilpasning og beregnede slutværdier baseret på data målt de første 700 minutter (11 timer og 40 minutter). Figur 6a viser et eksempel på måledata for behandlet porebeton uden huller konditioneret ved 65 % RF. Figur 6b viser de samme måledata sammen med kurven udregnet på baggrund af ligning 1.



FIGUR 6. Måledata for behandlet porebeton uden huller, konditioneret ved 65 % RF (a) og måledata sammen med estimat (b) udregnet på baggrund af ligning 1.

Som en del af resultaterne af den non-lineære regression udregnes forklaringsgraden, R^2 (korrelationskoefficienten kvadreret). En R^2 værdi på 1 betyder perfekt overensstemmelse, dvs. at alle variationer i målingerne kan forklares med funktionens afhængighed af tid. Generelt er der en god korrelation og dermed høj forklaringsgrad på laboratorieforsøgene, dvs. tidsudviklingen i målingerne fra de enkelte forsøg i høj grad følger den tilpassede funktion. 54 ud af 60 forsøg ved konditionering ved 65 % RF har en R^2 værdi mellem 0,9 og 1. For konditionering ved den høje luftfugtighed på 90 % har 54 ud af 58 forsøg en R^2 mellem 0,9 og 1 (se bilag 6).

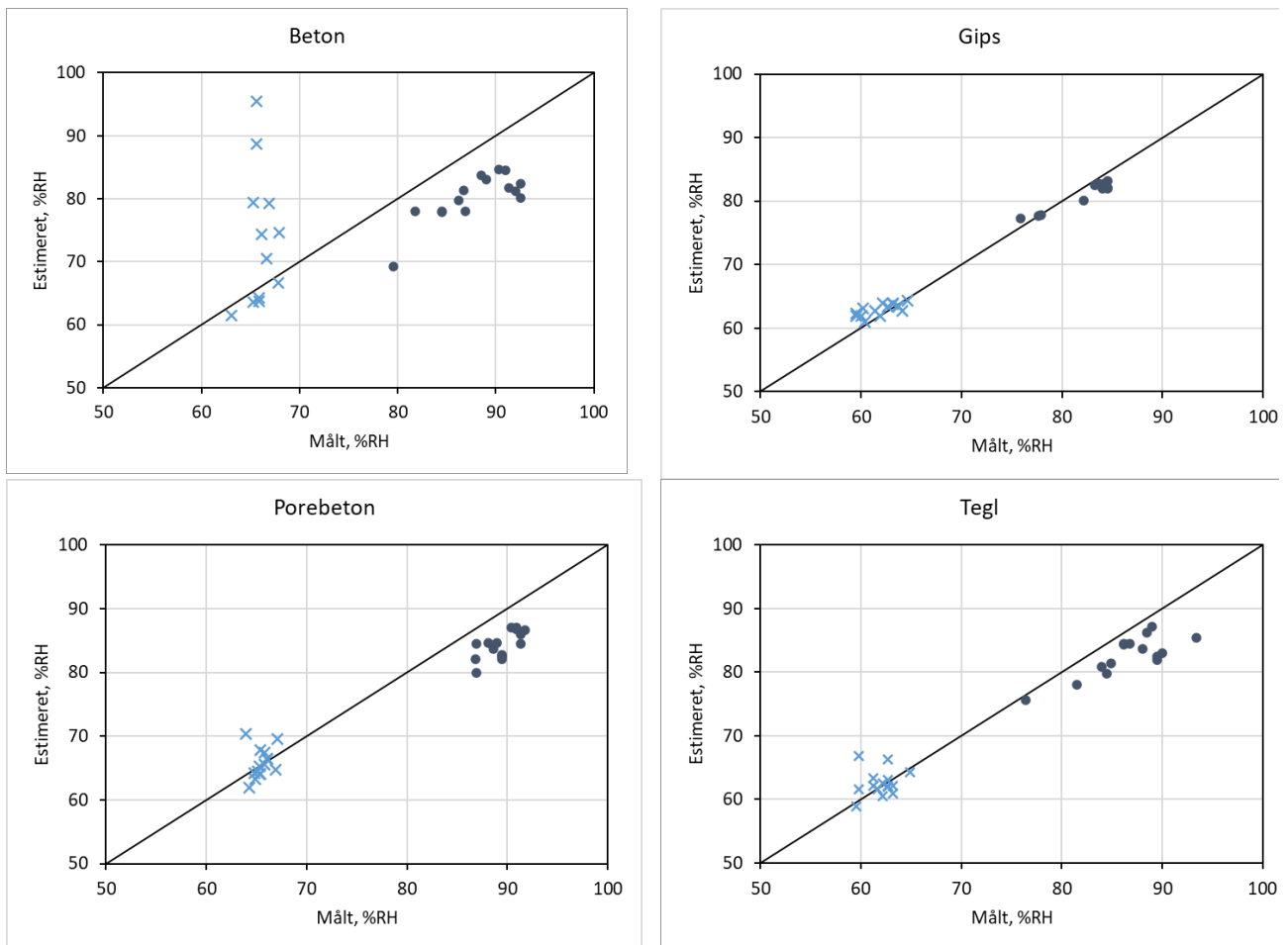
Den gode overensstemmelse mellem måldata og den matematiske funktion kan også ses ved at sammenligne den estimerede RF ved ligevægt med den faktisk målte værdi. Den målte værdi ved 700 minutter betragtes som værdien ved ligevægt. FIGUR 7 sammenholder estimerede RF ved ligevægt ($\beta_1 + \beta_3$, ligning 2, omregnet fra absolut vandindhold til RF) med målte værdier ved ligevægt for alle prøveemner og konditionerings, dvs. ubehandlet og behandlet materiale konditioneret ved hhv. 65 % RF og 90 % RF. Der ses generelt en god overensstemmelse mellem estimerer og målinger, hvilket også de høje R^2 værdier fra de non-lineære regressioner indikerer.



FIGUR 7. Estimerede I % RF ved ligevægt mod målte værdier efter de 700 minutter for alle prøveemner og konditionerings, dvs. ubehandlet og behandlet (med/uden huller) materialer konditioneret ved hhv. 65 % RF (lyseblå krydser) og 90 % RF (mørkeblå cirkler). 1:1 linjen er indtegnet.

120 minutter

Der er beregnet kurvetilpasning på baggrund af måldata fra de første ca. 120 minutter (2 timer). De 120 minutter er valgt på baggrund af et ønske om en metode, der efter kort tids måling kan fremskrives til at estimere % RF ved ligevægt. FIGUR 8 viser estimerer baseret på de første 120 minutters måldata sammenholdt med det målte resultat ved 700 minutter, der betragtes som tidspunkt med ligevægt. Estimerterne stemmer godt overens for gips ved begge konditionerings. For porebeton og tegl er der rimelig overensstemmelse for konditionerings ved 65 % RF og en lille underestimering for 90 % RF. For beton ses også en mindre underestimering af resultaterne for 90 % RF. For 65 % RF er visse af beton prøveemnerne i god overensstemmelse med målte værdier, mens andre af prøverne afviger meget (en outlier og to værdier over 100 % RF er udeladt).



FIGUR 8. Estimerede % RF ved ligevægt baseret på de første 120 minutters måledata mod målte % RF ved ligevægt (ved 700 minutter) for alle prøveemner og konditionerings, dvs. ubehandlet og behandlet (med/uden huller) materialer konditioneret ved hhv. 65 % RF (lyseblå kryds) og 90 % RF (mørkeblå cirkler). Beton: 1 outlier og to værdier over 100 % RF udeladt. 1:1 linjen er indtegnet.

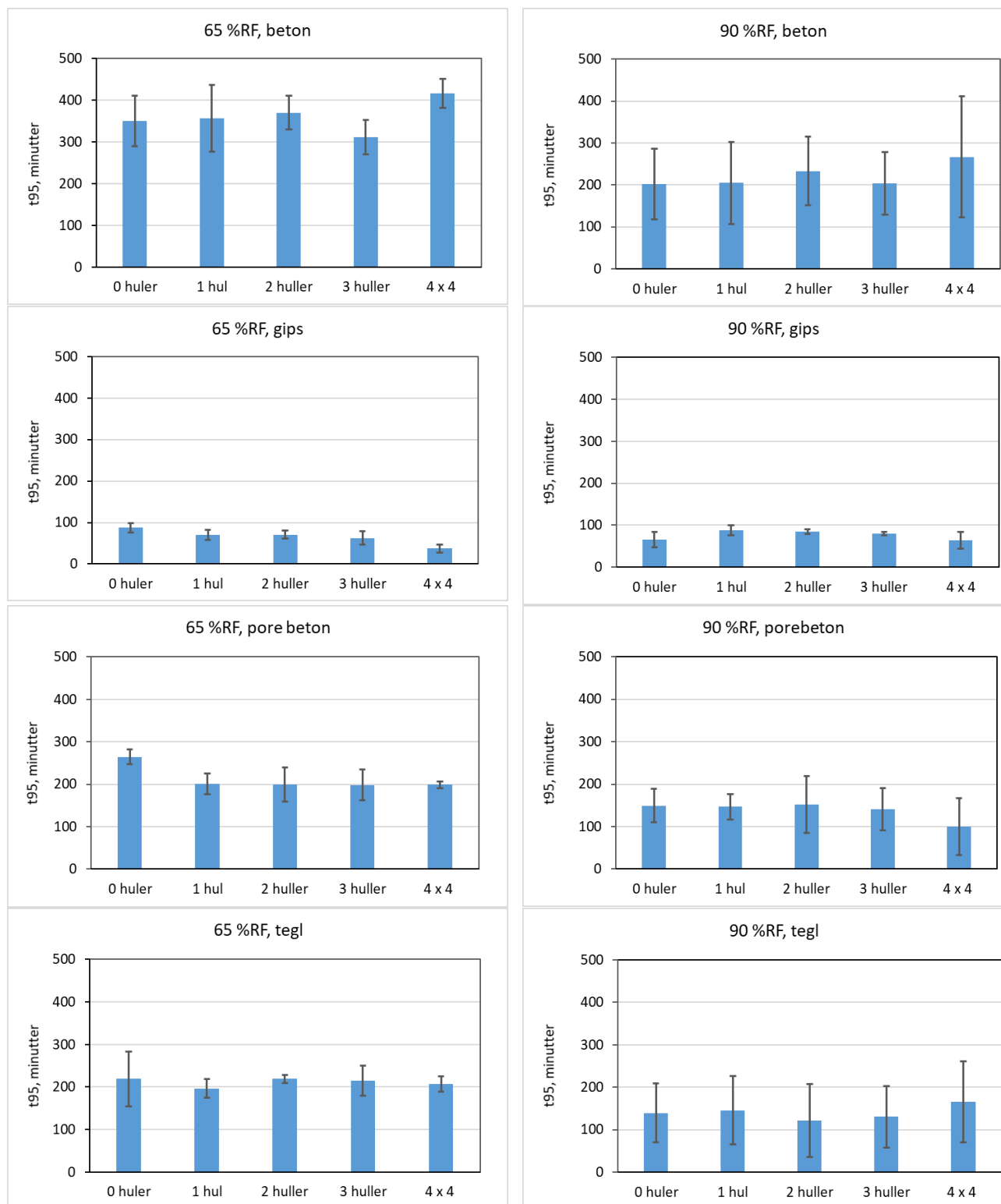
Generelt er reduktionen i datagrundlaget til den efterfølgende fremskrivning af niveau ved ligevægt rimelig for de fleste materialer, men ikke for visse af målingerne på beton. Fastholdes en fremgangsmåde med kun to timers måledata kan de afvigende resultater muligvis identificeres ved at tilføje dataprogrammer, der udregner konfidensgrænser på de estimerede slutværdier. Store afvigelser på værdien udregnet ved ligevægt vil kunne afsløre, at fremskrivningen ikke fungerer. På baggrund af andre erfaringer med prototypen af fugthætten er det dog besluttet ikke at arbejde videre med en beregningsmæssig løsning (jf. afsnit 4).

3.1.2 Tid til ligevægt

På baggrund af de parametre, der estimeres ved kurvetilpasningen, kan tid til 95 % af ligevægtskoncentrationen t_{95} beregnes (ligning 3). Der er god overensstemmelse mellem målinger og estimer baseret på data de første 700 min (FIGUR 7), og de udregnede t_{95} -værdier er både brugt til at vurdere tiden, men også til at sammenligne reproducerbarhed af de tre parallelle bestemmelser og intakt hhv. gennembrudt overfladebehandling. De ubehandlede prøver har et mindre areal til fordampning end de behandlede prøver, hvilket betyder, at t_{95} for de to typer overflader ikke direkte kan sammenlignes. Tid til ligevægt kan sammenlignes for de to niveauer af konditionerings.

t95 og reproducerbarhed

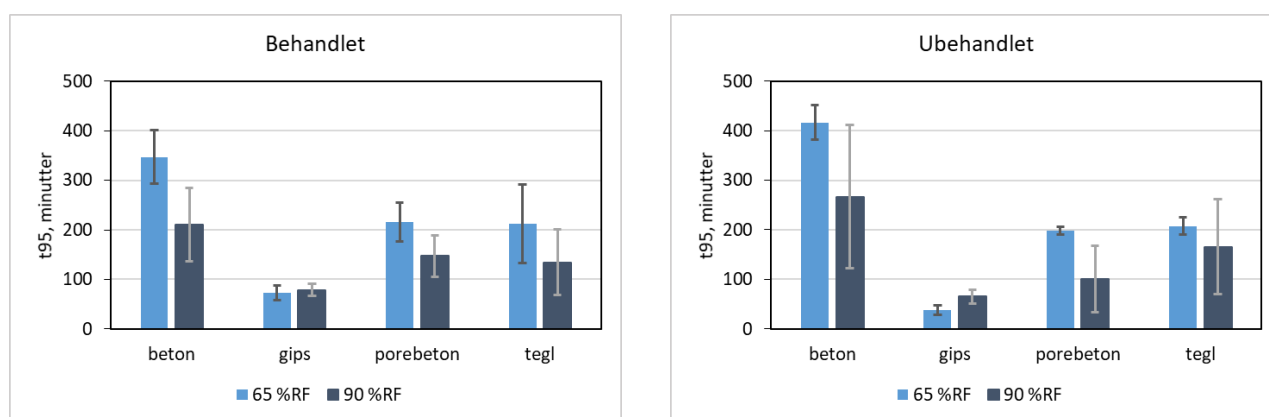
FIGUR 9 viser t95 for behandlede og ubehandlede prøver af de forskellige materialer konditioneret ved hhv. 65 % RF og 90 % RF. Standardafvigelser (SD) for de tre gentagelser er markeret på figuren.



FIGUR 9. Middelværdi (\pm SD) af tid til ligevægt (t_{95} , minutter) for de fire materialetyper og hhv. behandlet (ingen eller 1 til 3 huller) og ubehandlet (4 x 4 cm) overflade og konditionering ved hhv. 65 % RF (tv.) og 90 % RF (th.). (* gips 90 % RF 1 hul: en outlier udeladt).

Generelt er den relative standardafvigelse (RSD) lille på de tre parallelle prøver (RSD < ca. 20 %) ved konditionering ved 65 % RF samt for gips og til dels porebeton ved 90 % RF. Spredningen er noget større for beton og tegl ved 90 % RF, hvor forsøgene også viste større variation i slutværdier (FIGUR 7). Niveauer og spredningerne taget i betragtning, er det vurderet, at der ikke er forskel på intakt eller hullet overfladebehandling. Det er derfor valgt at slå de behandlede prøveemner sammen i den videre analyse.

FIGUR 10 viser middelværdi (\pm SD) af t_{95} for behandlede hhv. ubehandlede prøver ved de to konditioneringer (tabel vist i bilag 7). Reproducerbarheden på forsøgene afhænger af en række faktorer som kammerforhold, homogenitet af prøver, håndtering og også selve fugt-hættemålingen. Vurderet ud fra spredningen på t_{95} ses generelt en rimelig god reproducerbarhed af målingerne ved konditionering ved 65 % RF, mens spredningen øges ved konditioneringen ved 90 % RF, særligt for beton og tegl og både for behandlede og ubehandlede prøver. Det ses også på figur 7, at intervallet for slutværdier ved 90 % RF konditionering er større og dermed kan også t_{95} variere.



FIGUR 10. Middelværdi (\pm SD) for tid til ligevægt (t_{95} , minutter) for de fire materialetyper, hhv. behandlet (alle typer) og ubehandlet og konditionering ved hhv. 65 % RF og 90 % RF.

Permeabiliteten af vanddamp i visse materialer ændres med vandindholdet, hvilket betyder, at materialer med større vandindhold har større permeabilitet. Dette og den større potentielle forskel mellem materiale og luft i fugthætte er formentlig årsag til, at tid til ligevægt har tendens til at være kortere for konditioneringerne ved 90 % RF sammenholdt med 65 % RF.

t_{95} og materialer

Tid til ligevægt for de respektive materialer ligger på nogenlunde samme niveau for behandlede og ubehandlede prøver. For både behandlede og ubehandlede prøver konditioneret ved 65 % RF er beton længst tid om at nå ligevægt, mens gips er hurtigst og porebeton og tegl ligger på samme niveau. Ved 90 % RF konditionering stiger spredningen, og forskelle er mindre markante, men beton er stadig langsommere til ligevægt end gips. Tid til ligevægt materialerne imellem følger ikke helt samme mønster som vanddamppermeabiliteten angivet i TABEL 1. Beton er længst tid om at nå ligevægt og har også den laveste permeabilitet, mens tegl og porebeton er på samme niveau for tid til ligevægt, mens det er tegl og gips, der er på niveau for permeabiliteten, hvor porebeton højest. Overfladebehandlingen kunne have betydning, men ifølge test refereret i TABEL 1, er den ubetydelig.

For behandlede prøver er beton i gennemsnit mellem 200 og 350 minutter (3 til 6 timer) om at nå tæt på ligevægt ved de to konditioneringer. For de øvrige materialer er tiden under 3 timer. For de ubehandlede prøver er beton 6 til 7 timer om at nå tæt på ligevægt, hvor de øvrige materialer når ligevægt i gennemsnit indenfor 3 timer. De ubehandlede prøver er baseret på et fordampningsareal på 4 cm x 4 cm, mens en brugersituation forventes at anvende hele arealet under fugthætten. Det betyder, at tiden til ligevægt bliver kortere, da

mere areal kan afgive vanddamp. For behandlet beton og ubehandlet porebeton indikerer resultaterne længere tid til ligevægt ved 65 % RF sammenholdt med 90 % RF.

Under betingelserne i de pågældende laboratorieforsøg og den udregnede t_{95} , er en ligevægtskoncentration opnået indenfor 3-4 timer, dog længere tid for beton (7 timer). Det betyder, at en måleperiode fra en dag til den efterfølgende burde forventes at vise niveauet for fugt i væggen. Dette er et af argumenterne for at arbejde videre med at optimere prototypen til at sidde længere tid på væggen og undlade den matematiske fremskrivning til slutværdi. Dette er yderligere beskrevet i afsnit 4, *Instrument og brugerflade*.

3.1.3 Emission af vanddamp

Emissionen af vanddamp fra prøveemne til fugthætte er beregnet og figur 11 viser middelværdi (\pm SD) af emissionshastigheden for hhv. behandlede og ubehandlede prøver ved de to konditionerings (tallene fremgår af tabel i bilag 6). Spredningen er generelt stor, især for ubehandlede prøver, dog ikke beton.

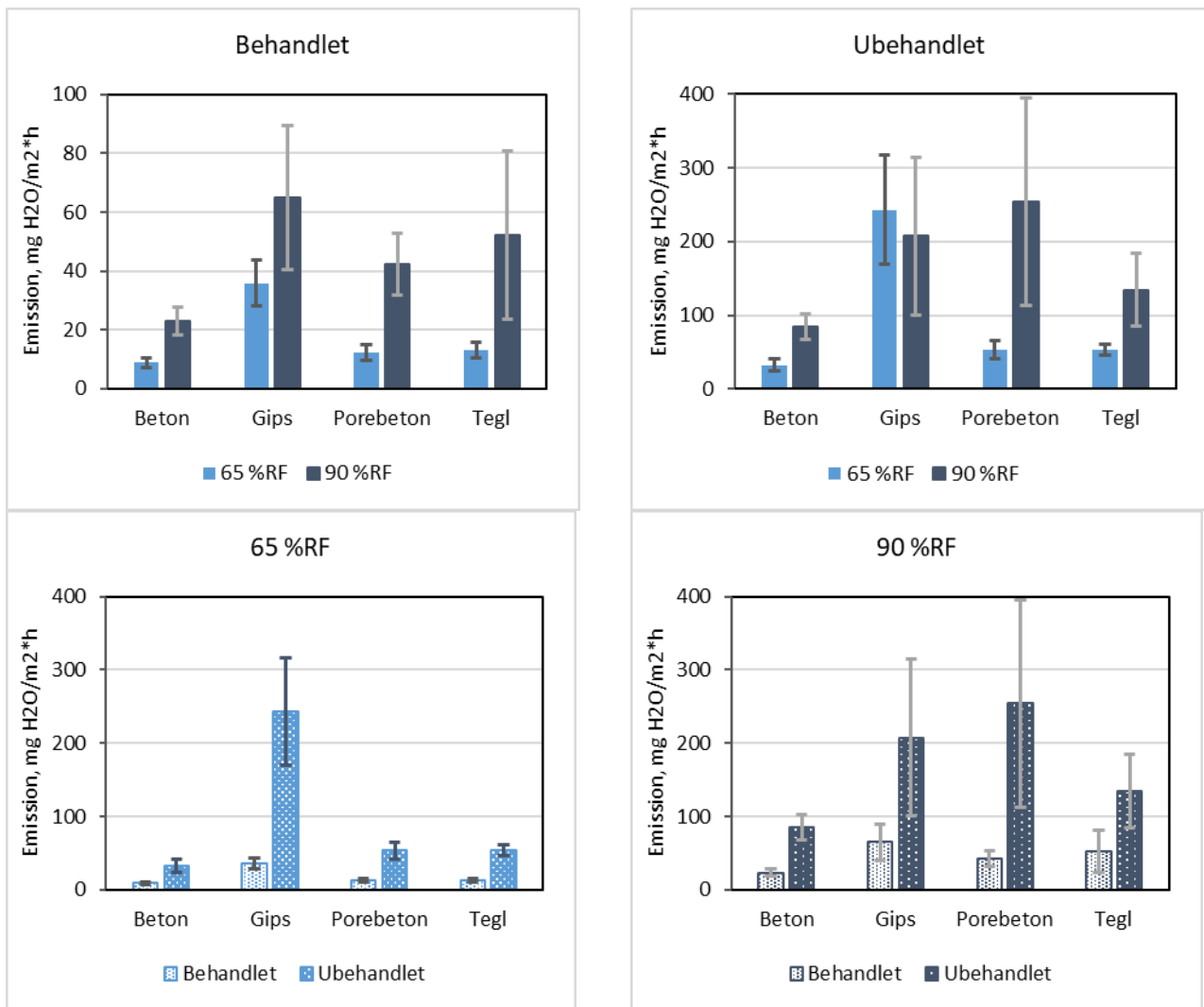
Materialer og overfladebehandling

Generelt er niveauerne for de ubehandlede prøver højere end for behandlede (bemærk de forskellige inddelinger på y-akserne (se også bilag 7)). Det betyder, at fugten bevæger sig hurtigere ud af de ubehandlede materialer sammenholdt med de behandlede, dvs. overfladebehandlingen udviser en vis "modstand" mod fordampning. Den større "modstand" mod fordampning er forventeligt på grund af vanddampsdiffusionsmodstand i overfladebehandlingen, dog er modstanden tilsyneladende noget større end den meget lave Z-værdi angivet i tabel 1. Det spekuleres, om arealet med fordampning er fejlbehæftet på de ubehandlede materialer, se nedenfor.

Konditionering

For konditioneringen ved 65 % RF har gips den højeste emissionshastighed, mens porebeton, tegl og beton er nogenlunde på samme niveau. Det gælder både behandlede og ubehandlede prøver. For konditionering ved 90 % RF er gips ikke længere markant forskellig fra de øvrige materialer, hverken behandlet eller ubehandlet.

For både behandlede og ubehandlede prøver ses generelt en højere emissionshastighed (og større SD) ved 90 % RF sammenholdt med 65 % RF, dog ikke for gips.



FIGUR 11. Middelværdi (\pm SD) for emissionshastigheden af vand fra de forskellige materialer for hhv. behandlet og ubehandlet overflade ved konditionering ved hhv. 65 % RF og 90 % RF. Bemærk graf for behandlede prøver (øverst tv.) ved de to konditionerings har anden skala på y-akse end de øvrige grafer.

Generelt synes de udregnede emissionshastigheder at have større spredning ved konditioneringen ved 90 % RF i lighed med t_{95} , der også indgår i beregningen. For de ubehandlede prøver spekuleres, om der har været tilfælde med manglende vedhæftning af gaffatopen mod materialet og dermed utætheder i lighed med tapetet, der ikke sluttede tæt til bagvæggen (jf. afsnit 3.2.4). Det ville betyde større fordampningsareal og give uens forhold for parallelforsøg. Det ville også betyde, at arealet benyttet i udregningen af emissionen er underestimeret, og det kunne bidrage til spredningen. Det er en mulighed, men forklarer ikke, hvorfor det specifikt skulle være 90 % RF konditioneringen og ikke 65 % RF konditioneringen, medmindre vandindholdet påvirker klæbeevnen. På teglstenene har der været lidt gaffatape på arealet under fugthætten. Det kan have bidraget til små forskelle i arealet under fugthætten, men næppe markant teglstenene imellem.

3.1.4 Konklusioner på laboratorieforsøg

Der er lavet to sæt af laboratorieforsøg. Det ene sæt er måling med fugthætten på de opfugtede byggematerialer. Det andet sæt forsøg karakteriserer selve fugthættes materialer og er rapporteret i bilag 4. Konklusioner fra begge typer forsøg er beskrevet nedenfor.

Matematisk tilpasning til forsøgsdata

Dataanalyser på resultater fra laboratoriet danner basis for en matematisk funktion for en kurvetilpasning, der beskriver forløbet i indsvingningstiden, fra montering af fugthætten frem til ligevægt med materialerne. Den matematiske funktion beskriver forløbet over de første knap 12 timer efter montering og giver mulighed for beregning af en række parametre, bl.a. niveau for ligevægt og den tid, det tager at opnå ligevægt. For at simulere en kortere måleperiode, er datagrundlaget for kurvetilpasningen ændret til kun at omfatte de første to timers målinger. Dette har baggrund i en undersøgelse af metoden, hvis den fx kun anvendes under et kortere varende besøg i en bygning. På dette grundlag er beregningen af niveau for ligevægt rimelig for de fleste materialer, dog viser nogle af betonprøverne, at kun to timers målinger er utilstrækkeligt til at karakterisere en kurvetilpasning, der kan bruges til fremskrivning.

Reproducerbarhed

Reproducerbarheden af målingerne i laboratoriet er bedømt på baggrund af tiden til ligevægt og er acceptabel ved konditionering ved 65 % RF, men spredningen stiger ved konditionering på 90 % RF. Den øgede spredning kan skyldes flere faktorer, som også har med selve forsøgsopstillingen, homogenitet af materialer og håndtering at gøre. For de ubehandlede prøveemner spekuleres, om der har været tilfælde med manglende vedhæftning af afdækningen mod materialet. Det kan give utætheder, hvilket også er erfaret ved målinger i boligen, hvor tapetet visse steder ikke har sluttet tæt til bagvæggen.

Tid til ligevægt

Dataanalyserne viser, at beton er længst tid om at nå tæt på ligevægt (6-7 timer), mens de andre materialer er mindre end 4 timer. Det betyder, at fugthætten i mange tilfælde ikke behøver en fremskrivning, hvis den sidder minimum 4 timer og 7 timer i tilfælde med betonvæg.

Databehandlingen viser, at fugten bevæger sig hurtigere ud af materialer uden overfladebehandling sammenholdt med de overfladebehandlede. Beregningerne er baseret på arealet af den fordampende flade. Der er tidligere bestemt en ret lille Z-værdi for overfladebehandlingen og det spekuleres, om forsøgene med ubehandlede overflader er påvirket af manglende vedhæftning af afdækningen mod materialet og at det fordampende areal dermed er større end det areal, der bruges i beregningerne og dermed fejlforklages målingerne (jf. ovenstående).

Gips undtaget, ses generelt en højere hastighed for fordampning og også større spredning på resultater ved 90 % RF sammenholdt med 65 % RF for både behandlede og ubehandlede prøveemner. Dette er formentlig udtryk for den større potentialeforskel mellem materiale og luft i fugthætten i kombination med større permeabilitet i materialet ved højere vandindhold.

Forsøg med fugthættens materialer

I bilag 4 er forsøg og resultater med test af materialerne til fugthætten beskrevet. De oprindelige laboratorieforsøg er gennemført med en forudsætning om en damp-tæt fugthætte, der var fremstillet af plast. Plasterne har dog vist sig ikke at være fuldstændig tæt for vanddampdiffusion, men at have en Z-værdi (vanddampdiffusionsmodstand) i størrelsesordenen 500 GPa m² s/kg. Denne værdi er betragteligt større end modstanden i de materialer, der er målt på. Derfor er afgivelsen af vanddamp fra materialerne dominerende for processen og målingerne vurderes valide. Parallelmålinger med fugthætter af hhv. plast og glas til måling af afgivelse af vanddamp fra behandlet gips og porebeton bekræfter, at fluxen fra materialerne dominerer målingerne.

Klæbemasse

Klæbematerialet har formentlig en vis vekselvirkning med fugten i fugthætten, men i lighed med plastmaterialet vil det næppe påvirke målingerne væsentligt, så længe der er en betragtelig flux af vanddamp ud af materialet. Bitumen er bedre egnet som tæt klæbemasse, men det er vanskeligt at demontere. Ønskes en mindre destruktiv metode, er klæbemassen at foretrække.

Glas eller plast

En gennemsigtig fugthætte er at foretrække, når man skal montere hætten. Man kan kontrollere, at klæbemassen sidder ordentlig fordelt på inder- og yderside og til en vis grad, om den ser ud til at slutte tæt til overfladen. Petriskålen i glas er mere robust end udgaven i plast, hvilket gør den nemmere at montere. Der er dog en risiko for brud og her er glasskålen mere kritisk, da man kan risikere at skære sig, og man bør derfor tages forholdsregler.

Fugthætter af glas er tæt overfor diffusion af vanddamp. Der er observeret en temperaturafhængighed af målesystemet med fugthætter af glas (dette er ikke testet for plathætterne). Formentlig er det glasoverfladen, der adsorberer og desorberer vanddamp, når temperaturen sænkes eller hæves. Anvendes metoden i praksis på materialer med en begrænset vanddampsmodstand, forventes fænomenet at være ubetydeligt i relation til udvekslingen af vanddamp med materialerne. Dertil kommer, at der i praksis næppe vil være markante temperaturændringer over måleperioder af kortere varighed som fx et døgn.

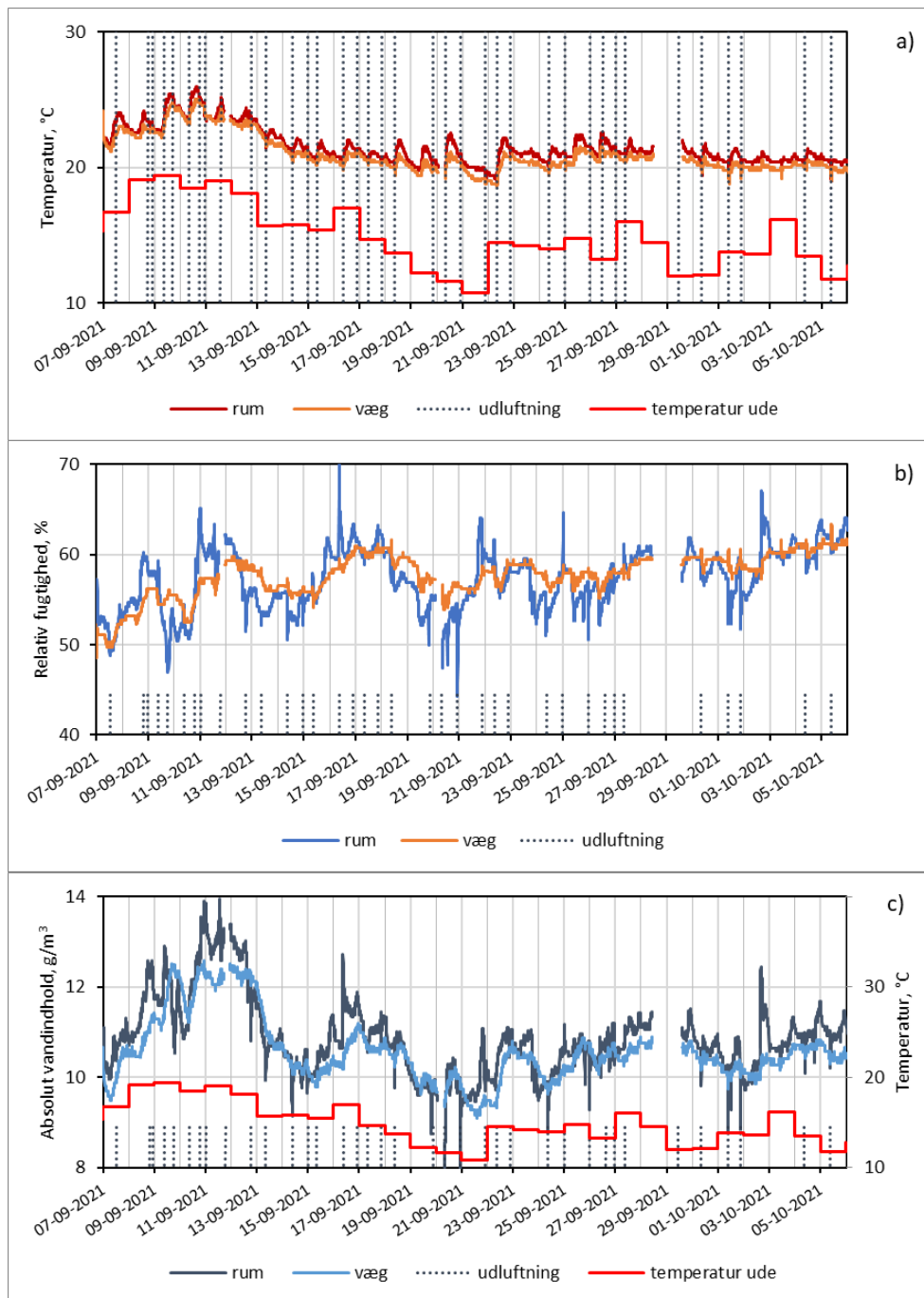
3.2 Analyse af data fra bolig

Der er målt med en åben fugthætte i rumluften (904) og fugthætter monteret på indvendige ydervægge. Alle målingerne er foretaget med fugthætter af plast. Nedenfor er præsenteret resultater fra en måleperiode i stue (september) hhv. trapperum (november). Først præsenteres målinger, der illustrerer variationer over tid. Derefter er målinger, der illustrerer reproducerbarhed af metoden. Målinger over den samlede periode med data i hhv. stue og trapperum er præsenteret med henblik på at vise interval for variation af temperatur og RF i hhv. rumluft og fugthætte.

3.2.1 Stue: Pudset, tapetseret væg

Variationer over tid

Der er monteret fugthætter på ydervæg i stue, hvor den pudsede teglvæg er tapetseret med glat papirtapet, der er malet med akrylmaling. FIGUR 12a viser temperatur i rumluften og på væggen i stuen i en periode i september måned, hvor der ikke er opvarmning. Temperaturen i rummet ligger en anelse over temperaturen på væggen. Døgnmiddeltemperaturen udendørs er også vist på figuren sammen med en indikation af perioder med udluftning (stiplede linjer). FIGUR 12b viser målingerne af den relative fugtighed i rumluften og på væggen. I rumluften ses kortvarige spidsværdier (både opad- og nedadgående) i forbindelse med udluftning, men også en generel variation i fugtigheden. Fugthætten på væggen følger det generelle mønster i rumluften, men uden de kortvarige spidsværdier og generelt på niveau eller højere end rummet. FIGUR 12c viser omregning til vandindholdet i rumluften og på væggen. Generelt er vægmålingerne på niveau eller lavere end rumluften og følger den generelle variation, men med mindre udsving og lidt forsinket over tid. Det kunne tyde på, at væggen er i en form for ligevægt med rumluften, men med en vis forsinkelse, da vanddampen er en vis tid om både at afsættes og afgives.

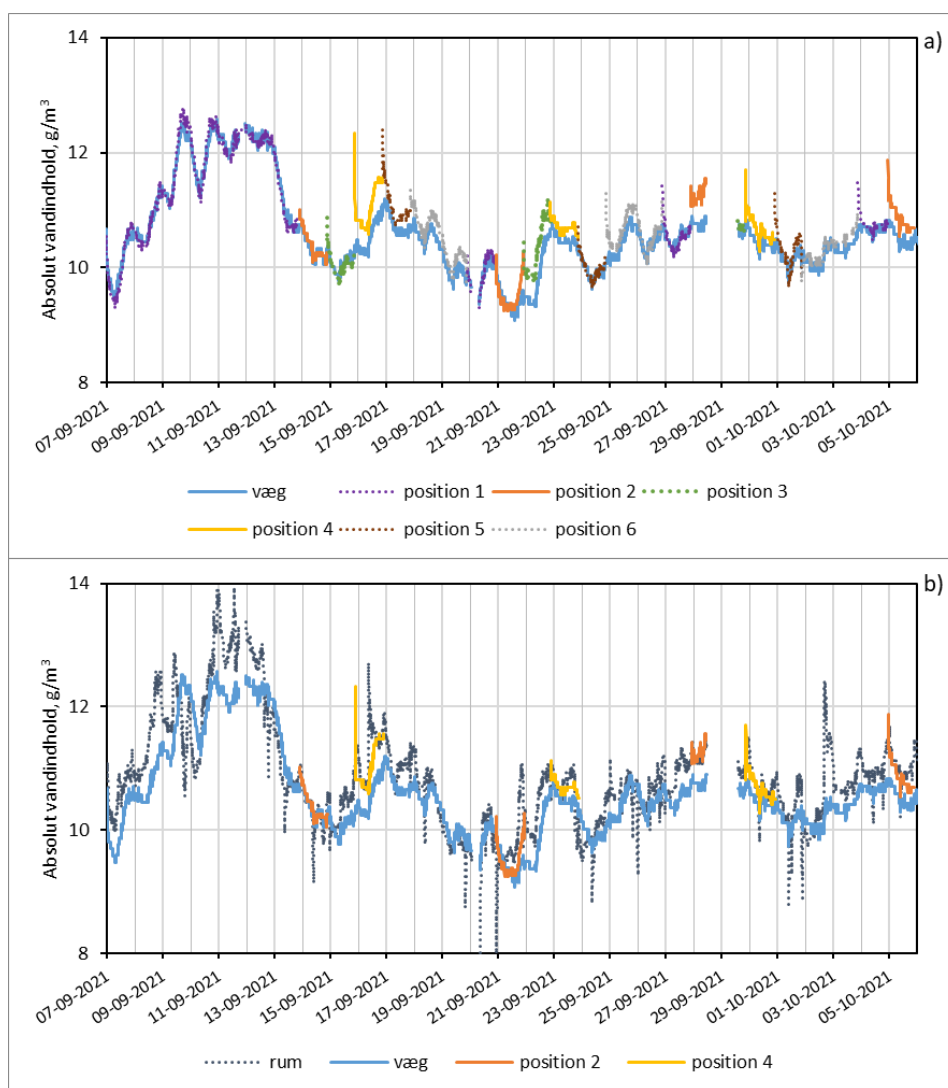


FIGUR 12. Måledata for a) temperatur, b) relativ fugtighed og c) absolut vandindhold for to fugthætter placeret i hhv. rumluft (904) og på væg (916) i stue. Udetemperatur er døgnmiddelværdier fra DMI's hjemmeside, Frederiksberg Kommune. Prikkede linjer angiver udluftning af boligen.

Parallele målinger på væg

FIGUR 13a viser de samme data for den faste vægmåling (fugthætte 916) som FIGUR 12c samt det absolutte vandindhold beregnet fra målinger med den mobile fugthætte 915. I den første periode (d. 7.-13. sep.) sidder både fugthætte 916 og 915 fast monteret på væggen, og her ses sammenfaldende målinger. Efter d. 13. sep. er fugthætte 915 flyttet minimum dagligt mellem seks positioner på væggen. Nogle dage er der god overensstemmelse mellem målingerne, men andre dage er der ikke. Visse af de kortere varige målinger passer efter kort tid med den fastmonterede fugthætte, men sættes fugthætten på i forbindelse med en markant kortvarig ændring i rumluften (fx aften d. 16. sep., 915 position 5) kommer der også et

vist indsvingningsforløb. Det er efterfølgende erfaret, at tapetet nær position 2 og 4 enkelte steder var løsnet fra bagvæggen. Dette kunne høres ved at banke let på tapetet med en finger. På figur 13b ses, at disse positioner (fuldoptrukken linje på figuren) i mange tilfælde i højere grad følger rumluftens absolutte vandindhold end vandindholdet i den fastmonterede fugthætte 916. Manglende vedhæftning af tapet eller underlag er således en fejlkilde til målingen, da vanddampen dermed transporteres i luftlommer og påvirker vægmålingen. Laboratorieforsøgene med transport af vanddamp i malet tapet (jf. ovenfor) tyder på en vis træghed i selve tapet med maling, og dermed er det generelle billede af målingerne på væggen formentlig udtryk for de reelle forhold og ikke kun det yderste lag med tapet.

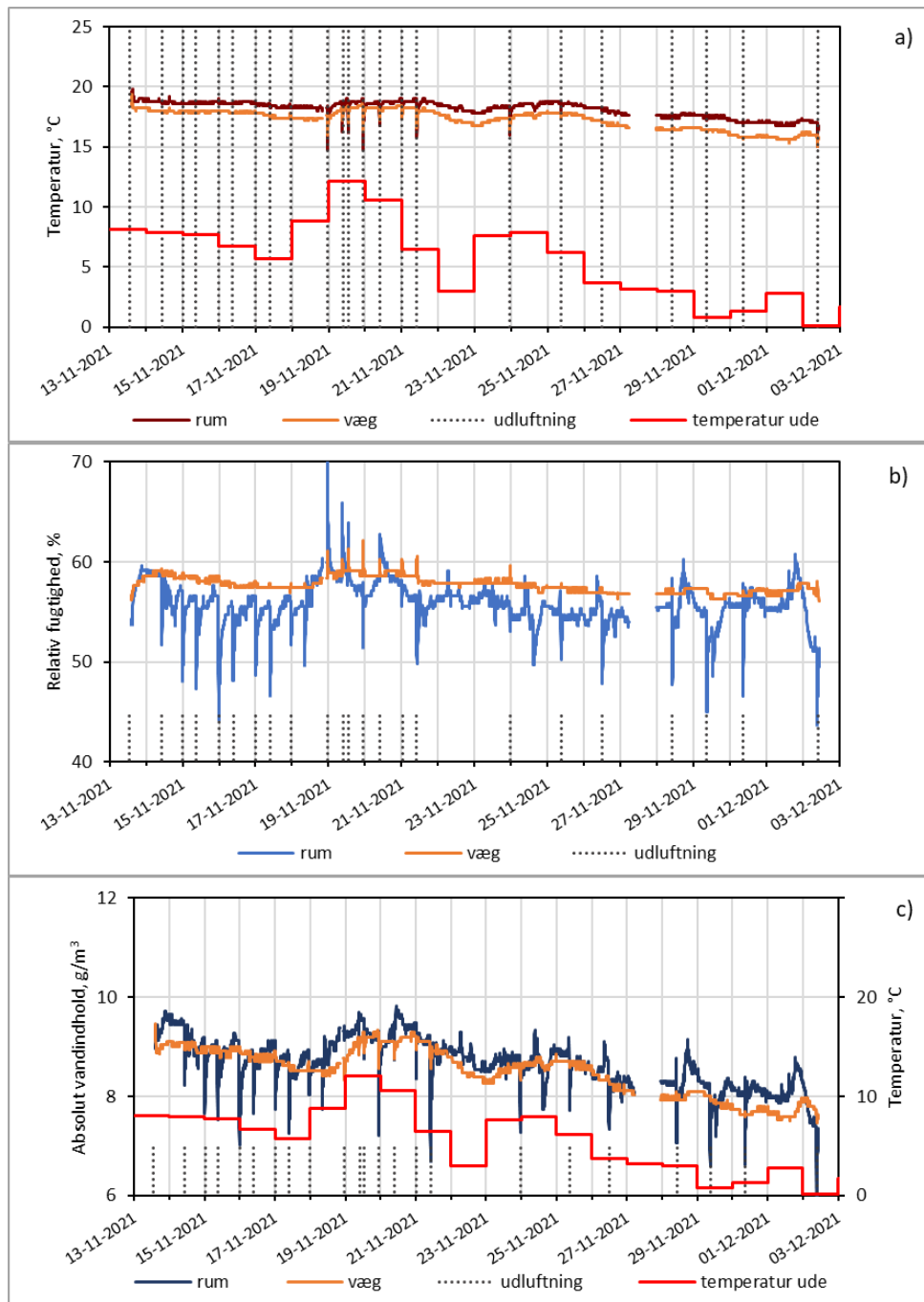


FIGUR 13. Måledata for absolut vandindhold for a) fast placering på væg (916) og mobil måling (915) flyttet mellem forskellige positioner samt b) fast placering på væg (916) og mobil måling (915) på position 2 og 4 samt måling i rumluft (904).

3.2.2 Trapperum: Pudset og malet væg

Variationer over tid

FIGUR 14 viser måledata for temperatur, relativ fugtighed samt udregnet absolut vandindhold for to fugthætter placeret i hhv. rumluft (904) og permanent på væg (915) i lukket trapperum. På FIGUR 14 er perioder med udluftning markeret med stiplede linjer. Data mangler d. 27. nov. pga. nedbrud på PC.



FIGUR 14. Måledata for a) temperatur, b) relativ fugtighed og c) absolut vandindhold for to fugthætter placeret i hhv. rumluft (904) og på væg (915) i trapperum. Udetemperatur er døgnmiddelværdier fra DMI's hjemmeside, Frederiksberg Kommune. Prikkede linjer angiver udluftning af boligen.

Generelt ses et svagt temperaturfald for både rumluft og vægmåling i perioden, der strækker sig fra d. 13. nov. til d. 3. dec., hvor også udetemperaturen generelt falder (døgnmiddel angivet på FIGUR 14a). Enkelte udluftninger (bl.a. d. 19.-21. nov.) forårsager et temperaturfald på begge målinger. Over perioden ses også et generelt svagt fald i % RF. Udluftninger giver ofte en kortvarig påvirkning af rumluftens % RF. Dette ses ikke på fugthætten monteret på væggen, der udviser et mere jævnt forløb. Temperaturfaldet ved udluftning d. 19.-21. og 24. nov. afspejles dog i en ændring i % RF, der stiger både i rumluft og på vægmålingen.

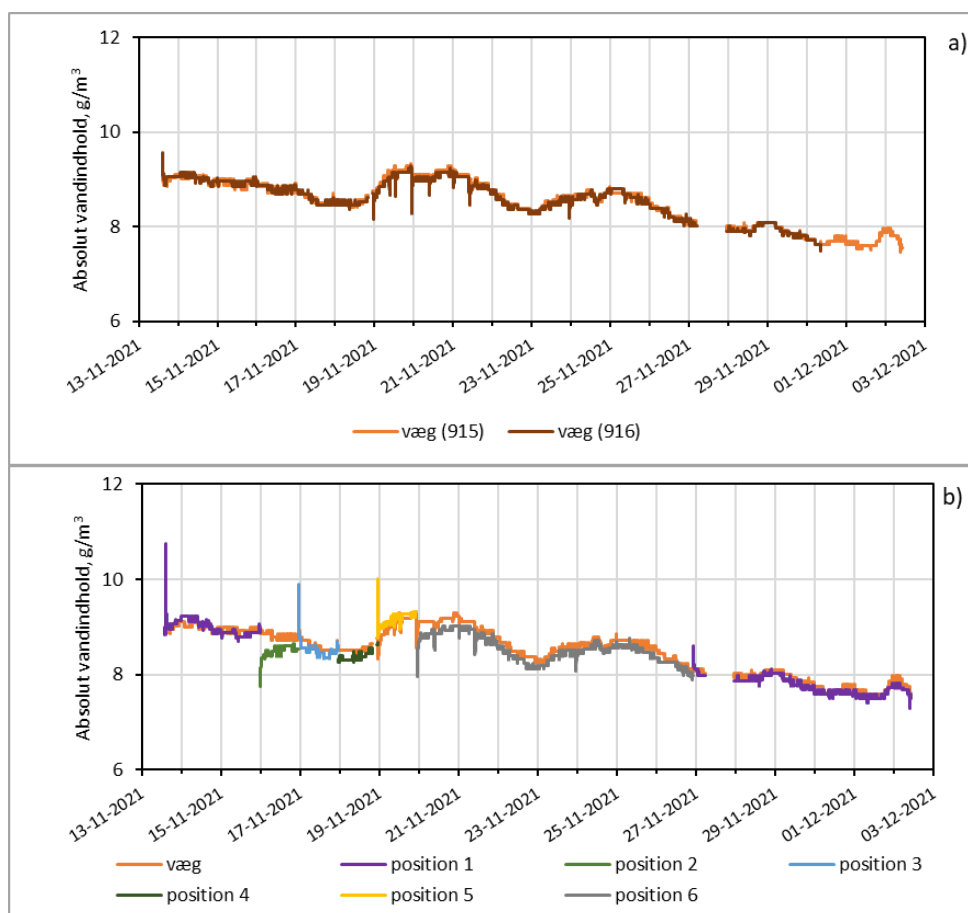
Det absolutte vandindhold i fugthætten på væggen ligger på niveau med eller lidt under niveauet i rumluften. Der ses et generelt fald over tid for begge målere, men med udsving

undervejs. Rumluften viser kortvarige udsving i forbindelse med udluftning, men der er også udsving over flere dage, der følger mønstret i udetemperaturen (FIGUR 14c). Fugthætten på væggen følger det generelle mønster i luften, men lidt tidsforskudt, også ift. udetemperaturen. Væg målinger i relation til rumluft ligner målingerne fra stuen.

Parallele målinger på væg

FIGUR 15a viser det absolutte vandindhold i to fugthætter med fast position på væggen i trapperummet. De to målere (915 og 916) viser god overensstemmelse og således en god reproducerbarhed for måling på to positioner ved siden af hinanden på den pågældende væg.

På FIGUR 15b ses det absolutte vandindhold i fugthætten med fast position på væggen (915) og indholdet i en fugthætte (917), der flyttes til ny position med mellemrum. De kortvarige spidsværdier (både opad- og nedadgående) ved flytning skyldes påvirkning fra rumluften. Generelt ligger det absolutte vandindhold på nogenlunde på samme niveau i de to fugthætter, dog ses flere indsvingningsforløb for den flyttede fugthætte, specielt d. 16. og 20. nov., hvor udluftningen påvirker rumluften kraftigt.



FIGUR 15. Det absolutte vandindhold i fugthætter monteret på væg i hhv. fast position (a) og fast og skiftende position (b). Stiplede linjer angiver udluftning

3.2.3 Sæsonforløb af relativ fugtighed og vægmåling

I både stue og trapperum er der målt over en periode, hvor udetemperaturen generelt er faldende (september til december). Ovenstående figurer er udsnit af data, mens hele dataserien er præsenteret i bilag 8. I begge rum ses en vis sammenhæng mellem udetemperaturen og de længerevarende udsving i den absolutte fugtighed, der er beregnet på baggrund af

målinger i de fastmonterede fugthætter. De større udsving for rumluft er oftest i forbindelse med udluftning.

Der måles i stuen i perioden fra d. 6. sep. til d. 13. nov. I perioden er minimum og maksimum værdi for den relative fugtighed på fastmonteret fugthætte på væg hhv. 49 % RF og 63 % RF, mens værdierne for rumluften er 37 % RF og 73 % RF (TABEL 2). Minimum for temperaturen er 18 °C for både væg og rum, mens maksimum er 25 °C for væg og 26 °C for rum.

TABEL 2. Middelværdi, standardafvigelse og relativ standardafvigelse samt minimum og maksimum for temperatur, relativ fugtighed og udregnet absolut vandindhold i fugthætte placeret i rumluft og på væg i stue.

| stue | Rum (904) | | | Væg (916) | | |
|----------------------|-----------|------|----------------|-----------|------|----------------|
| | Temp., C | % RF | abs. vand g/m3 | Temp., C | % RF | abs. vand g/m3 |
| 05-09 til 13-11 2021 | | | | | | |
| middel | 21 | 55 | 10 | 20 | 56 | 10 |
| SD | 1,1 | 4,0 | 1,0 | 1,1 | 2,9 | 0,9 |
| RSD | 5,2 | 7,3 | 10 | 5,6 | 5,2 | 9,1 |
| min | 18 | 37 | 6,6 | 18 | 49 | 7,9 |
| max | 26 | 73 | 14 | 25 | 63 | 13 |

I trapperummet måles perioden fra d. 13. nov. til 26. dec. (de tidlige forløb fremgår af bilag 8). Her er minimum og maksimum værdi for den relative fugtighed på fastmonteret fugthætte meget lig målingerne fra stuen (på væg hhv. 51 % RF og 62 % RF og for rumluften er 32 % RF og 72 % RF (TABEL 3). For temperaturen er minimum 15 °C for væg og 13 °C for rum, mens maksimum er 20 °C for både væg og for rum.

TABEL 3. Middelværdi, standardafvigelse og relativ standardafvigelse samt minimum og maksimum for temperatur, relativ fugtighed og udregnet absolut vandindhold i fugthætte placeret i rumluft og på væg i trapperum.

| Trappe | Rum (904) | | | Væg (915) | | |
|----------------------|-----------|------|----------------|-----------|------|----------------|
| | Temp., C | % RF | abs. vand g/m3 | Temp., C | % RF | abs. vand g/m3 |
| 13-11 til 16-12 2021 | | | | | | |
| middel | 18 | 53 | 8 | 17 | 56 | 8,1 |
| SD | 0,6 | 4,2 | 0,8 | 0,8 | 2,6 | 0,7 |
| RSD | 3,5 | 7,9 | 9,8 | 5,0 | 4,6 | 8,4 |
| min | 13 | 32 | 4 | 15 | 51 | 6,9 |
| max | 20 | 72 | 10 | 20 | 62 | 10 |

3.2.4 Konklusioner på boligmålinger

Det antages, at vanddampdiffusion gennem plsthætten har ubetydelig indflydelse på målingerne fra nærværende bolig, dels fordi væggene forventes at have en betydelig lavere modstand mod vanddampdiffusion, dels fordi forskellene mellem væg og rumluft ikke er markante.

Reproducerbarhed

Parallele målinger har vist god reproducerbarhed, hvilket tyder på en vis ensartethed af væggen indenfor de flader, hvor der er målt.

Væggen som dynamisk system og sæsonvariation

Vægmålingerne ligger tæt på rumluften, men med mindre udsving end rumluften viser og lidt tidsforskudt. Det tyder på, at væggene er uden specifikke kilder til opfugtning. Monteres

fugthætten i perioder, hvor udluftning ændrer rumluftens RF markant, ses en vis indsvingningstid, indtil fugthætten når ligevægt med væggen.

Vægmålingerne antager ikke en fast værdi, men ændres over tid, også indenfor døgnet. Det betyder, at den oprindelige intention med en matematisk fremskrivning af få timers måledata ikke nødvendigvis vil fungere, da der ikke er en bestemt "slutværdi". I de her givne perioder har den relative fugtighed målt med fugthætte fastmonteret på væg i efterår og tidlig vinter i begge rum varieret fra omkring 50 % til lidt over 60 %. Dette skal ses i sammenhæng med temperaturen, der også har en variation over tid. Det absolutte vandindhold i væggene viser en tydelig sammenhæng til den udendørs temperatur. Set i relation til risikovurderinger af skimmelvækst kan forholdsvis små ændringer have mindre betydning, mens det generelle niveau har stor betydning.

Fejlkilder

Stuevæggen har malet tapet og manglende vedhæftning af tapet til bagvæg er en tydelig fejlkilde til målingerne. Der synes ikke at være forskel på de generelle observationer fra tapetseret, malet stuevæg og malet trappevæg. Laboratorieforsøgene med tapetserede glasplader viste, at vanddampsmodstanden i malingen var dominerende over selve papirtapetet, når vandamppåvirkningen kom "udefra". Det er formentlig også malingen (og ikke tapetet), der gør, at der ikke synes at være generelle forskelle på resultaterne mellem stue og trappe.

Det er erfaret under forsøgene, at klæbemassen i visse tilfælde kan rive maling eller dele af underlaget af. Det anbefales derfor at undlade genbrug klæbemasse, da den dels kan indeholde overfladerester, dels måske afspejler en fugtpåvirkning fra en tidligere opsætning.



4

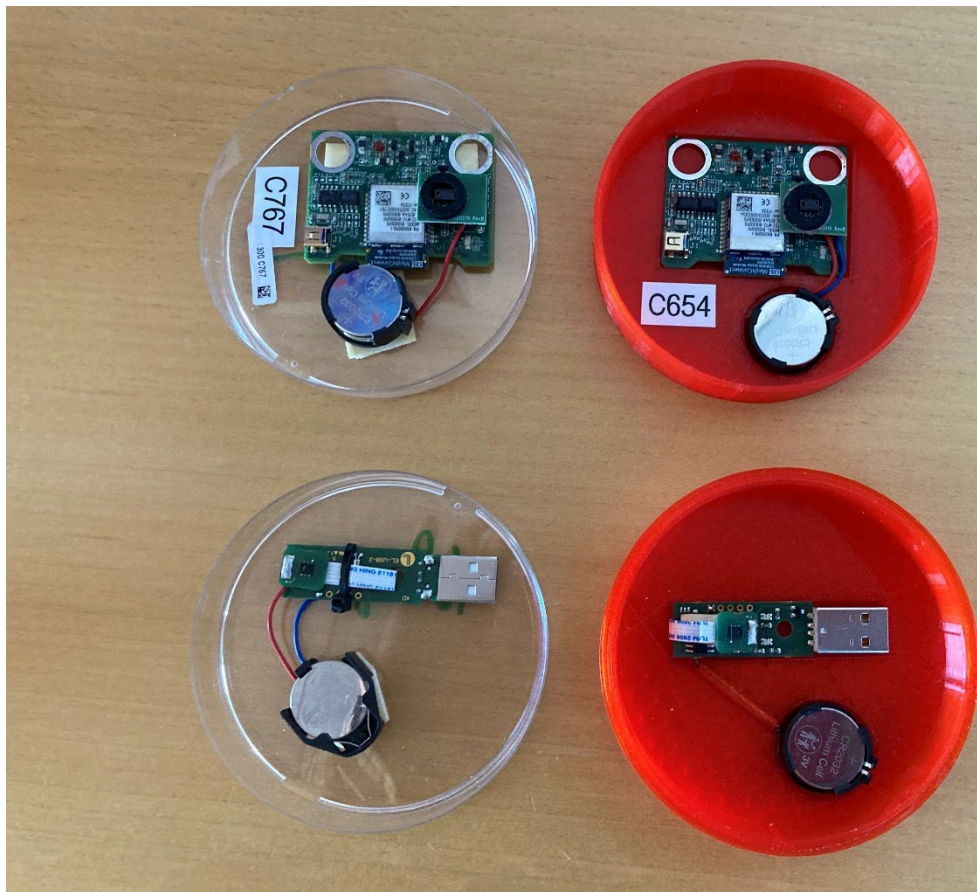
INSTRUMENT OG BRUGERFLADE

4 INSTRUMENT OG BRUGERFLADE

I laboratorie- og feltforsøgene, er fugthætten med tilhørende udstyr til dataopsamling brugt som beskrevet i metodeafsnittet. Det er vurderet, at dette setup for dataopsamling er for omstændigt i sammenhæng med professionel brug fx af en varmemester. Desuden har det været svært at finde en dataopsamler på markedet, som kan opsamle med 4-5 minutters tidsinterval. Det blev derfor besluttet at gentænke designet af fugthætten med især sensor og dataopsamling. Her er vægten af fugthætte og måleudstyr tillagt stor betydning, men også muligheden for logning med korte tidsintervaller.

Fugthætten forventes at skulle fungere under en række forskellige forhold med større eller mindre forskelle mellem fugt i væg og rumluft. Der kan opstå store forskelle og dermed indsvingningsforløb, hvor væggen har en opfugtning og rumluftens fugtighed er markant lavere, måske pga. kraftig ventilation. Hvis fugthætten monteres under en udluftningsepisode, hvor rumluften kortvarigt er meget anderledes end de generelle forhold, kan der også komme et indsvingningsforløb. Der kan også være forhold, hvor væggen i højere grad er tæt på ligevægt med omgivelserne, og dermed er forskellen mellem væg og rumluft mindre. Det giver mening at fremskrive et forløb med et markant indsvingningsforløb frem til en rimelig stabil slutværdi, dvs. hvor der er stor forskel mellem væg og rumluft. For andre situationer, hvor ændringerne sker som følge af ændrede forhold i rummet eller temperaturforhold i det ydre miljø, giver det mindre mening at følge en procedure frem mod en slutværdi, da forløbet undervejs vil ændre sig og slutværdien også kan variere. I princippet kan der udvikles dataprogrammer til at skille situationerne fra hinanden på baggrund af målingerne og varetage den videre databehandling. I dette projekt er der med gentænkningen af designet som omtalt ovenfor muliggjort en anden løsning, der ikke indebærer udvikling af programmer m.v.

Der er udviklet en ny type af fugthætte med indbygget sensor og datalogger, se FIGUR 16. Derved adskiller den nye type sig ved, at datalagringen sker i fugthætten og derved undgås ekstern dataopsamler med tilhørende computer og behov for strømtilgang. Samtidig kræver fugthætten ikke nødvendigvis en professionel nedtagning, dvs. beboer eller andre kan demontere fugthætten og aflevere eller sende den tilbage til varmemesteren eller andre. Løsningerne baserer sig på eksisterende sensorer til måling af temperatur og relativ fugtighed samt dataloggerer på markedet, der kan tilgås med enten USB eller Bluetooth. Disse er ombygget til et mindre batteri, da driftstiden på sensorerne var mindre betydningsfuld ift. vægten af fugthætten.



FIGUR 16. Fugthætte med indbygget temperatur og relativ fugtighed sensor og datalogger. Øverst er bluetooth og nederst USB. Den klare fugthætte er den anvendt i forsøgene, mens den røde er en ny udgave med en flange for bedre kontakt mellem fugthætte-klæbemasse-væg.

4.1 Krav til datalogning (software, tidsopløsning, rækkevidde mv.)

Det er vigtigt, at datalogningen sker med relativ kort tidsinterval, fx 5 minutter. Et for stort tidsinterval vil medføre, at udviklingen i temperatur og relativ fugtighed i fugthætten ikke aflæses tilstrækkelig ofte til at opnå et indtryk af den reelle stigning i indsvingningsforløbet og dermed muligheden for at vurdere, om målingen er tæt på ligevægt. Desuden må der ikke være for store usikkerheder på målingerne. De nye sensorer har større usikkerhedsintervaller end ClimSpot, der er anvendt i forsøgene beskrevet i Del I. Afvigelserne vurderes at være indenfor rimeligheden af denne type fugtmålinger, da sensorerne ofte anvendes til indeklimamålinger. Nedenfor er listet data for de nye sensorer.

- RS-PRO-USB-2, RS PRO Temperature, Humidity and Dew Point Data Logger (USB), Måleinterval: -35 til 80 °C / ± 1 °C og 0 - 100 % RF / $\pm 3,5$ % RF, logningsintervaller fra 1 sekund til 12 timer, <https://docs.rs-online.com/f0e5/0900766b816c3f7e.pdf>.
- PROTIMETER BLE Wireless Moisture Meter (Bluetooth), Måleinterval: -20 til 50 °C og 0 - 100 % RF / 20 - 80 % RF ± 2 %, Logningsinterval fra 5 minutter til 24 timer, Rækkevidde: 10 m afhængig af omgivelser, <https://www.protimeter.com/ble>.

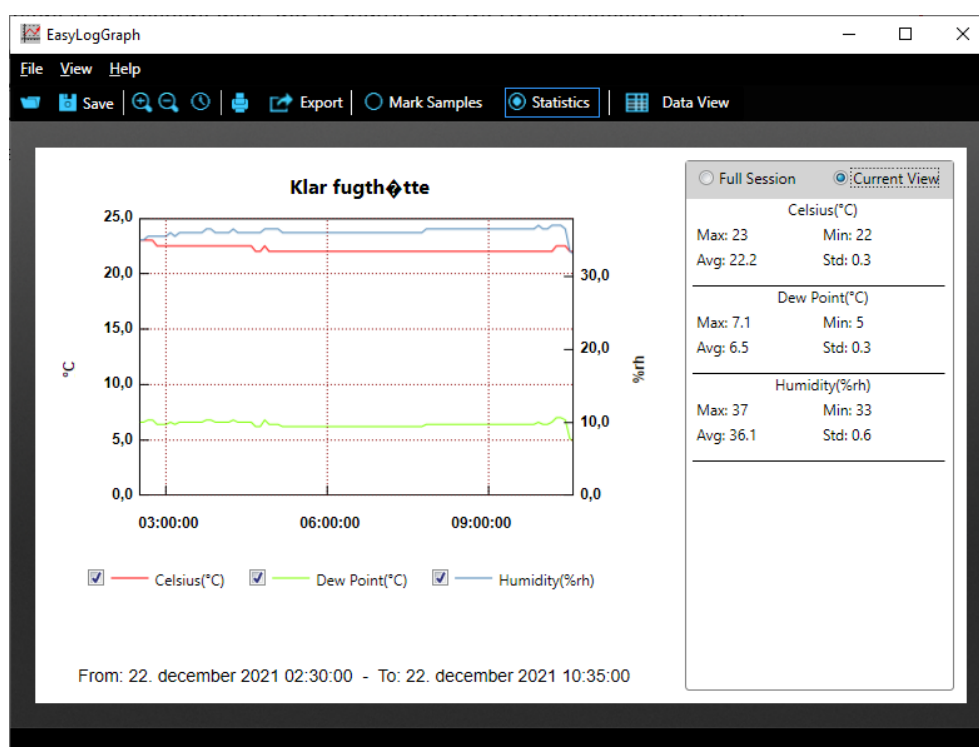
Når fugthætten nedtages, skal data læses ud ved brug af USB eller Bluetooth. Ved sidstnævnte mulighed kan data tilgås mens fugthætten måler, hvilket ikke er tilfældet med løsningen med USB.

4.2 Brugerflade dataloggere

Dataloggerer med hhv. USB og Bluetooth har begge kommercielle brugerflader til at hente data ud. I modsætning til dette, krævede udstyret anvendt i forsøgene (Del I), at data skulle eksporteres manuelt. Nedenfor er vist brugerfladerne for de to nye fugthætter. Data er målinger i rumluft i bolig.

4.2.1 USB datalogger

FIGUR 17 viser den grafiske brugerflade af de loggede data, der er hentet fra USB dataloggeren. Data hentes som en tekstfil (*.txt), men kan præsenteres direkte i programmet, der bruges til at hente data og giver dermed mulighed for en hurtig visuel præsentation af målingerne. I programmet er det muligt at få gennemsnit, maksimum og minimums værdier samt standardafvigelser for hele måleperioden eller dele heraf. Programmet har tillige en funktion, hvor cursor'en trækkes hen over grafen til et ønsket tidspunkt og herefter listes tidspunkt og tilhørende måleværdier under signaturforklaringerne (se FIGUR 28). Ydermere er det muligt at få vist rådata i tabelform. Data kan eksporteres til fx Excel, hvis der er behov for yderligere databehandling.



FIGUR 17. Visning af målinger i EasyLog USB hvor der er angivet relativ fugtighed, temperatur og dugpunktstemperatur.

Software til dataloggeren kan hentes på følgende link:

https://s3.amazonaws.com/lascar_downloads/EasyLogUSB+Installer.exe

Programmet er kompatibelt med 32-bit and 64-bit versioner af Windows 7, 8 og 10. Softwaren bruges til opsætning af logger, download af data, grafik og statistik på data eller eksportere i Excel-, PDF- og jpeg-formater. Softwaren gør det muligt at konfigurere følgende parametre:

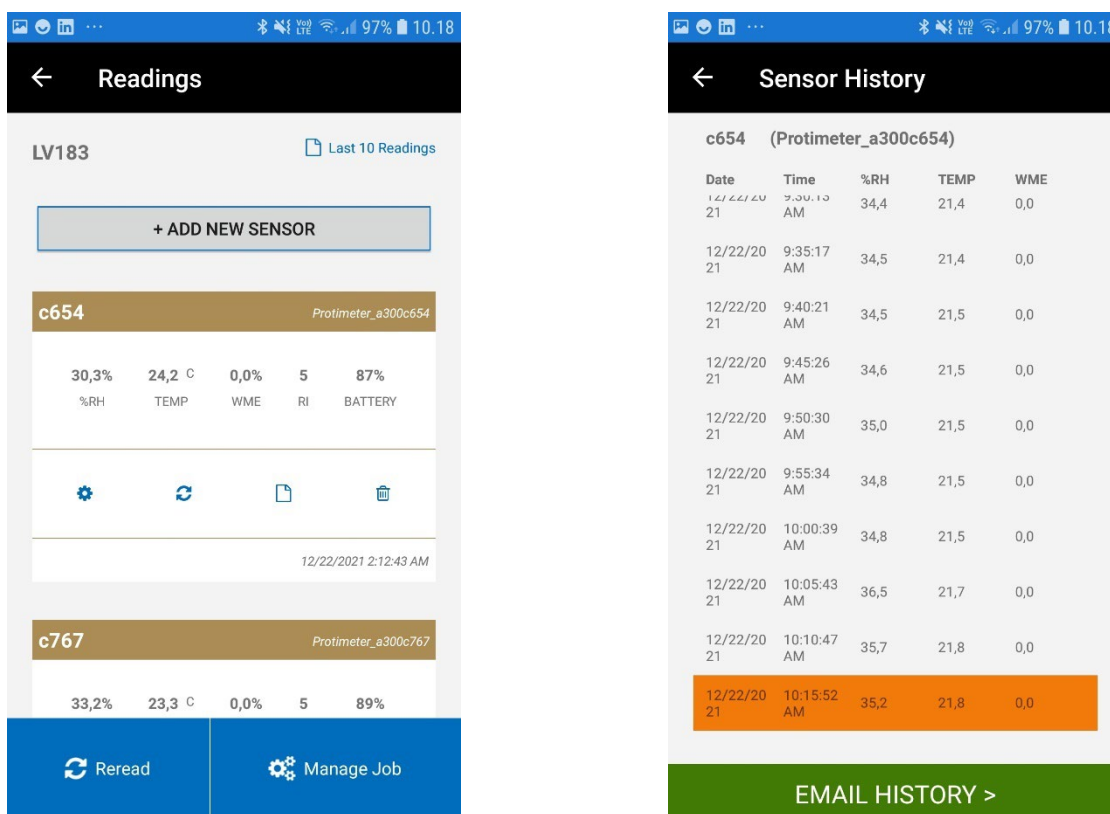
- Loggernavn
- Måleparameter (°C eller °F)
- Logningshastighed (bruger kan vælges mellem 10 sekunder og 12 timer)
- Høje og lave alarmer

- Øjeblikkelig og forsinket logstart.

Erfaringer med brug af USB er gode, og det tilknyttede program er meget simpelt at anvende. Loggeren kan programmeres til at have en forsinket igangsættelse, så den kan programmeres hjemmefra og skal så blot monteres på den givne placering. Det anbefales, at dataloggeren konditioneres til omgivelserne inden montering, eksempelvis skal fugthætter opbevaret i en kold bil opvarmes til rumtemperatur inden montering. Det vil give mulighed for at observere, om der er et markant indsvingningsforløb. Det er ikke muligt at kontrollere måleværdier fra fugthætten uden at benytte PC. At måleren er aktiveret og måler kan ses på en lille lysindikator, der blinker grønt.

4.2.2 Bluetooth datalogger

Figur 18 viser brugerfladen for Protimeter app'en. Her opsættes sensorerne og målinger kan ses kontinuert under logning, hvis der kan opnås Bluetooth forbindelse med dataloggeren. Data sendes via e-mail, og skal dernæst importeres til fx Excel for databehandling fx ved grafisk visning af temperatur og relativ fugtighed forløbet over tid.



FIGUR 18. Screenshot af Protimeter app, der viser hvordan data kan ses. Tv. Startside med dataloggere og th. målinger der er logget.

Software findes som app og hentes på

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.amphenol_sensors.protimeter

Erfaringerne med Bluetooth løsningen har været mere udfordrende end løsningen med USB. Hentning af data via mail har været kompliceret, og den efterfølgende import af data i Excel var udfordret af, at data var adskilt med samme symbol som decimal-separatoren. Der var derfor en stor del efter behandling af data for at kunne optegne kurver. Bortset fra dette, var det meget praktisk, at dataloggeren kunne tilgås under logning, så det var muligt at kontrollere, at der blev opsamlet data. Loggerene skulle igangsættes på stedet og kan ikke programmeres til at starte.

ANVENDELSESMULIG HEDER OG PER- SPEKTIVER FOR FUGTHÆTTEN

5 ANVENDELSESMULIGHEDER OG PERSPEKTIVER FOR FUGTHÆTTEN

Fugthætten er bl.a. karakteriseret for at se, om målemetoden kan bruges til at undersøge, om der et givent sted er tilstrækkelig fugt til stede til, at der kan opstå risiko for skimmelvækst. Dermed har metoden potentiale til anvendelse i forbindelse med skimmelvurderinger, hvor svaret vil foreligge relativt hurtigt og billigt. Skimmelvækst i indeklimaet skyldes typisk, at der er forhøjet fugtniveau forårsaget af uhensigtsmæssig brugeradfærd og/eller byggetekniske forhold. En undersøgelse for mulig skimmelvækst eller risiko for skimmelvækst igangsættes typisk på baggrund af beboere, der oplever gener eller ejers observationer. SBI-anvisning 274, *Skimmelsvampe i bygninger – undersøgelse og vurdering* (Thrane et al., 2020) beskriver forskellige forløb for undersøgelse for skimmelvækst, årsagsafklaring og omfang. Fugthætten er et instrument, der kan tages i brug, hvor der er mistanke om fugtforhold, der kan føre til skimmelvækst, men skimmelvækst endnu ikke kan ses.

Nedenfor er baggrunden for vurderingen af risiko for skimmelvækst beskrevet. Derefter følger afsnit, der beskriver bl.a. valg af målested og hvordan resultaterne fra målingerne skal bruges til fortolkningen af risiko for skimmelvækst. Til sidst er andre anvendelser af fugthætten beskrevet.

5.1 Risikovurdering af skimmelvækst

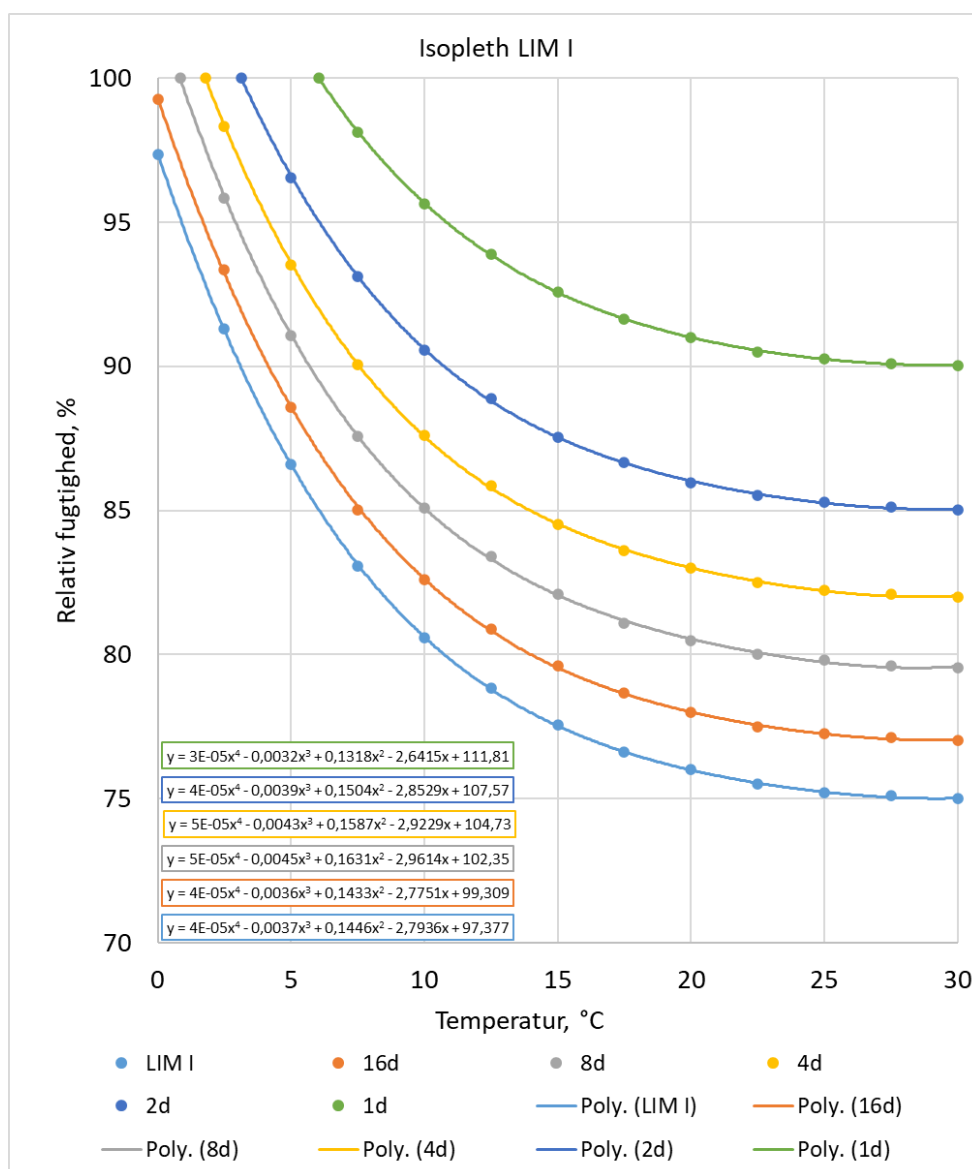
Der findes flere metoder til at vurdere risikoen for skimmelvækst. Den simpleste er at fastsætte en grænseværdi på 75 % RF, der ikke må overskrides. Denne simplificering tager ikke højde for flere af de væsentlige faktorer for skimmelvækst. Der er udviklet et antal modeller, der tager de fleste parametre for skimmelvækst i betragtning i deres risikovurdering (Vereecken & Roels, 2012). Disse modeller kan anvendes i forbindelse med simuleringer af temperatur og fugtforhold og ved langtidsmonitoring af temperatur og relativ fugtighed. Modellerne kan være anvendelige til at forudsige risikoen for skimmelvækst under givne eller fremtidige temperatur og fugtforhold. Dog er modellerne også forbundet med en vis usikkerhed.

I dette projekt anvendes en model, der er udviklet på baggrund af forskellige skimmelarter og typer af byggematerialer, og hvor minimum og optimum vækstbetingelser er bestemt. Modellen er opstillet på baggrund af Sedlbauer (2001) og Krus & Sedlbauer (2002). Modellen baserer sig på forholdet mellem temperatur og relativ fugtighed, og på baggrund af disse vækstbetingelser estimeres tiden til skimmelsvampenes sporer vil kunne spire og dermed begynde sin vækst. Disse forhold udtrykkes som isolinjer, der viser antal dage til spiring. Kurverne angiver tilnærmede værdier, der er baseret på en række forsøg med forskellige materialer og skimmelsporer. Forsøgene forudsætter rene materialeoverflader. Modellen tager desuden højde for typen af materiale, da skimmelvækst bl.a. afhængigt af selve byggematerialet. Materialerne opdelt i to grupper, der betegnes gruppe I og II.

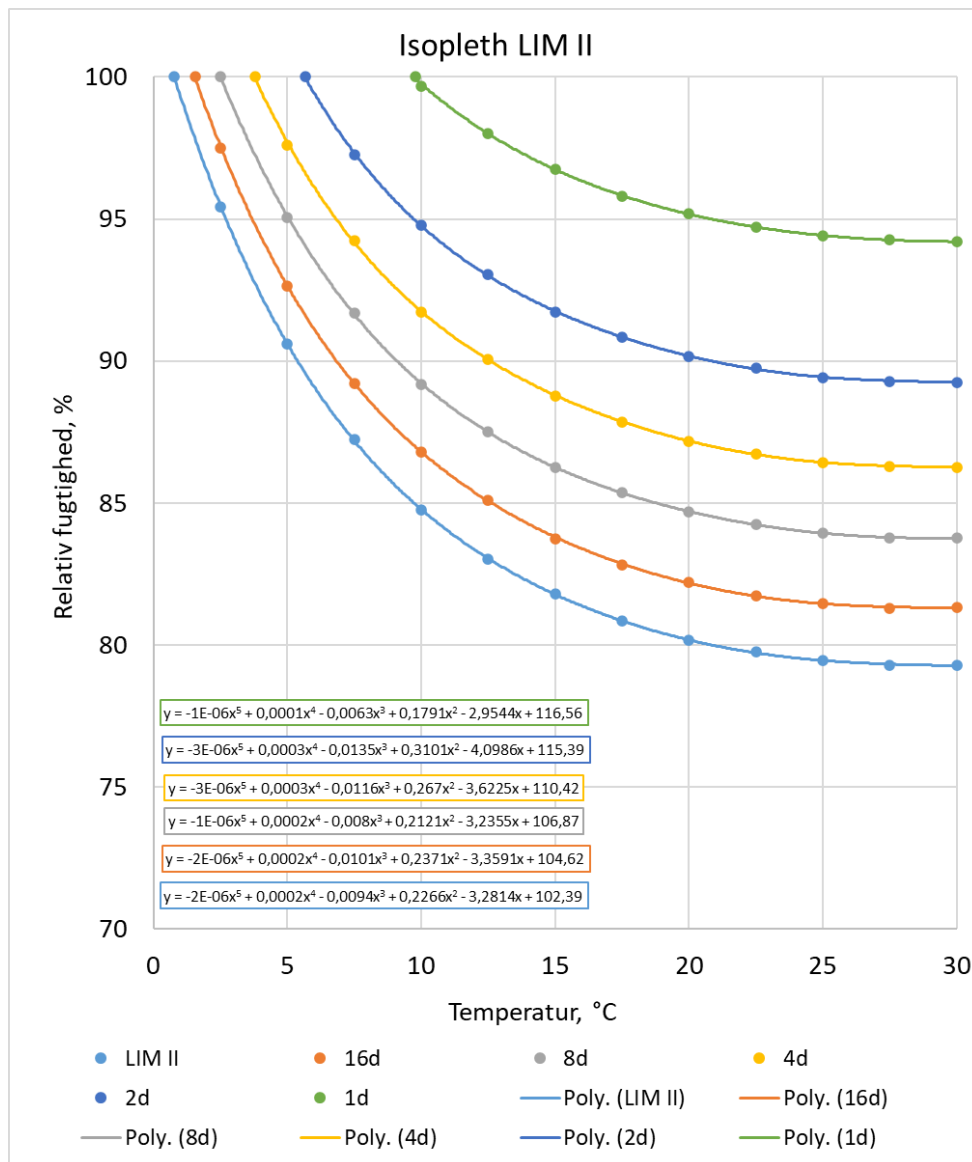
- I: Byggematerialer fx tapet, gips og karton som indeholder biologisk nedbrydelige råmaterialer (organiske materialer),
- II: Byggematerialer, fx puds, mineralske byggematerialer, isoleringsmaterialer, der ikke indeholder biologisk nedbrydelige materialer (uorganiske materialer) og er dækket af gruppe I.

Kurverne på FIGUR 19 og FIGUR 20 viser, hvor mange dage det minimum tager, før skimmelsporer spirer, når fugtighed og temperatur holdes konstant. Den nedre grænse for, hvor der vil optræde skimmelvækst betegnes "LIM-kurve" (Lowest Isoleth for Mould), se FIGUR 19 og FIGUR 20. Kurverne repræsenterer den nedre grænse for biologisk vækst (LIM-kurve) samt grænser for 1, 2, 4, 8, 16 dage. Eksempel på aflæsning af kurver er vist i afsnit 5.3.

Metoden egner sig godt til brug ved konstante temperaturer og relative fugtigheder, men kan være udfordret af varierende forhold, hvor kun noget af tiden har forhold, der kan påvirke til en spiring af skimmelsporer. Selve fugthættemålingen opnår ofte en ligevægt med materialet, hvorfor den anvendte model vurderes egnet til risikovurderingen af skimmelvækst på materialet overflade på det pågældende tidspunkt. Hvad det valgte målepunkt repræsenterer, må vurderes i sammenhæng med valget af målested (se afsnit 5.2.1). Er der variationer hen over vægfladen må dette tages med i vurderingen, gerne med flere målinger, der vurderes individuelt og sammen.



FIGUR 19. Skimmelrisiko på organiske materialer udtrykt ved forholdet mellem temperatur og relativ fugtighed samt tid for vækst (efter Sedlbauer (2001)).



FIGUR 20. Skimmelrisiko på uorganiske materialer udtrykt ved forholdet mellem temperatur og relativ fugtighed samt tid for vækst (efter Sedlbauer (2001)).

5.2 Måleforhold og resultater

Der er en række beslutninger og vurderinger, der følger med brugen af fugthætten. Der skal udvælges et eller flere målesteder og data skal vurderes til brug for den videre risikovurdering af skimmelvækst. Nedenfor er beskrevet forhold og tænkelige udfald af målinger, der kan hjælpe i processen.

5.2.1 Valg af målested

Når der skal udvælges et eller flere steder til at opsætte en fugthætte på en konstruktion, er det vigtigt at kunne vurdere de kritiske områder, hvor der kan være størst risiko for skimmelvækst. Derfor vil det ofte være godt at anvende en kapacitiv fugtmåler til at kortlægge konstruktionens relative fugtindhold (Brandt et al., 2013; Thrane et al., 2020). Desuden kan der ved opsætning af fugthætten udføres temperaturmåling af overflader fx ved brug af infrarødt termometer og dermed identificere eventuelle kuldebroer.

For ydervægge vil det indefra være opmærksomhedspunkter som kuldebroer, hvor der er misfarvninger, fugtskjolder mv. Andre tjeklister for fugtundersøgelser af bygninger kan ses i BYG-ERFA blad (99) 05 06 26, *Fugtundersøgelse af bygninger* (BYG-ERFA 2005). Placering af større inventar eller hjørner mellem vægge kan skabe områder med reduceret luftbevægelse og dermed uens forhold for fugt og temperatur på væggens overflade, der kan skabe kritiske forhold.

En risikovurdering for skimmelvækst afhænger ikke kun af fugtighed, men kræver også kendskab til temperatur, materialetype, overfladebehandling, renhed af overfladen og varigheden af fugtpåvirkningen. Organiske materialer er typisk mere modtagelige overfor skimmelvækst end uorganiske materialer, men fx snavs eller støv kan være tilstrækkelig næring for vækst af skimmelsvampe. Dertil kommer, at det skal vurderes, hvor repræsentativ målingen er over tid, bl.a. sæson. Der skal også laves en vurdering af, hvor repræsentativt målepunktet er for resten af væggen, dvs. hvor homogent eller ikke homogent væggen måtte være, ikke mindst hvis den er opfugtet. Eksempelvis kan solpåvirkning og lokal opvarmning skabe uens forhold. Områder med manglende fugtspærre mod undergrunden eller utætte nedløbsrør kan skabe en lokal opfugtning. For at vurdere målepunktets repræsentativitet opstår således også et behov for at vurdere forholdene, og hvorvidt det måske er hensigtsmæssigt at sætte flere fugthætter op. Solindfald på målestedet bør undgås.

5.2.2 Måleperiode og forløb

På baggrund af de resultater, der er opnået i laboratorie og bolig, er det vurderet, at en måleperiode på minimum 7 timer vil sikre, at der er opnået ligevægt i fugthætten, og at væggens RF derfor kendes. Hvis der ikke er tale om en betonvæg kan tiden formentlig forkortes til 4 timer, dog må man være opmærksom på typen af overfladebehandling. Fugthættemålingerne må betragtes over hele forløbet efter endt måling, og det må visuelt bedømmes, hvorvidt der er tale om et indsvingningsforløb, der har nået (tæt på) ligevægt. Mere end 7 timer til ligevægt er observeret i case C (se afsnit 6.3).

Indsvingning og slutværdi

Nogle målinger viser en brat stigning i den relative fugtighed lige efter montering og derefter aftager stigningen gradvist i takt med, at luften i fugthætten kommer i ligevægt med materialets fugtindhold. Her er det slutværdierne for temperatur og relative fugtighed, der bruges i den videre vurdering i forbindelse med risikovurdering for skimmelvækst.

Der kan være målinger, der viser et fald i den relative fugtighed i indsvingningstiden. Dette er observeret uden for opvarmningssæsonen, hvor der er monteret fugthætte på en væg, mens rumluften er præget af en udluftning, der tilfører fugtig udeluft. Dette er også observeret under forhold om sommeren, hvor udetemperaturen lå højere end indetemperaturen (Case D, afsnit 6.4). Her er det igen slutværdierne for temperatur og RF i fugthætten, der har relevans for vurderingen af skimmelrisiko.

Målingerne kan også vise et varierende forløb med både opad- og nedadgående niveauer som formentlig vil følge lignende variationer i indeluften. Her vil samtidige målinger i rumluften være en støtte til at vurdere, om målingerne er valide eller måske udtryk for utætheder ved fugthætten (se nedenfor). Kan umiddelbare utætheder udelukkes, kan et forløb med varierende relativ fugtighed i fugthætten være vanskelige at tolke, da der dermed opstår tvivl om udgangspunktet for aflæsning. Det er formentlig begrænset, hvor meget temperaturen ved væggen ændres indenfor en kortere periode (under et døgn) og på den baggrund kan man vælge at tage den maksimale værdi af relative fugtighed med tilhørende temperatur som udgangspunkt for risikovurderingen af skimmelvækst.

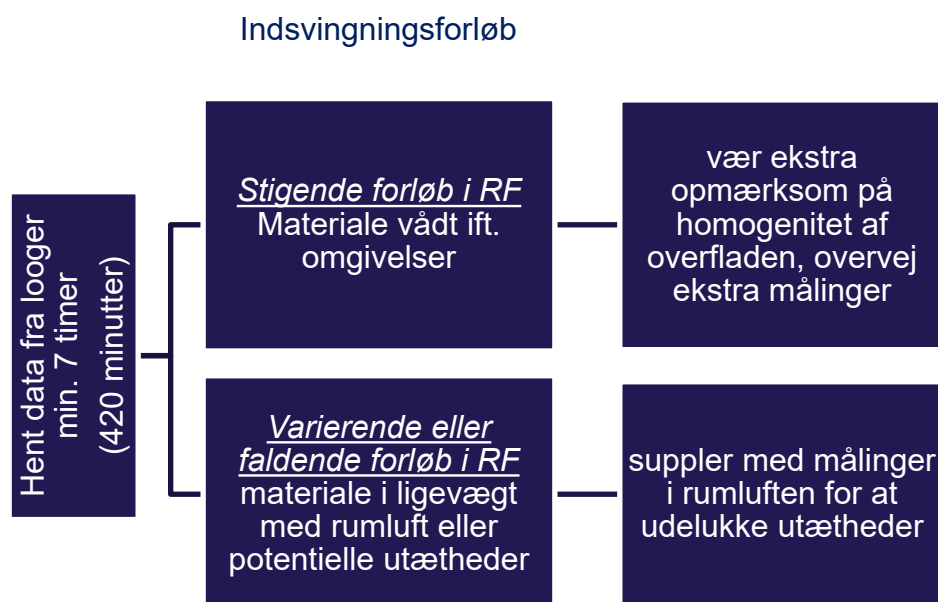
Målinger med store udsving i temperatur og relativ fugtighed bør kontrolleres en ekstra gang for, om der i måleperioden har været mulighed for direkte solpåvirkning. En måling påvirket af solindfald eller varmekilde er ikke egnet til vurderingen af risiko for skimmelvækst.

5.2.3 Tilhørende målinger

Fugthætten skal monteres lufttæt til overfladen for at opnå en valid måling. Samtidig skal det sikres, at overfladen hæfter tæt til underlaget således, at der ikke er luftlommer ind under fugthætten, fx ved løst tapet. Man kan visuelt undersøge, om klæbemassen ser ud til at hæfte på begge sider af fugthætten og mod underlaget. Man kan banke forskellige steder på overfladen af materialet, fx tapet og lytte efter, om det lyder ensartet. En yderligere støtte til fugthættemålingen er at lave en parallel måling af rumluften. Hvis der i måleperioden er større udsving i % RF i rumluften og vægmålingerne følger med, kan det skyldes utætheder ved fugthætten. Der er således grund til at gentage målingen med opsætning et andet sted.

Ønskes en bedre forståelse af fugthættemålingen i sammenhæng med vurdering af fugttransporten vil en tilhørende måling af rumluftens temperatur og relative fugtighed være relevant. Hvis temperaturforholdene er meget forskellige, kan en omregning til absolut fugtighed gøre det nemmere at sammenholde resultaterne.

Proces for vurdering af måledata



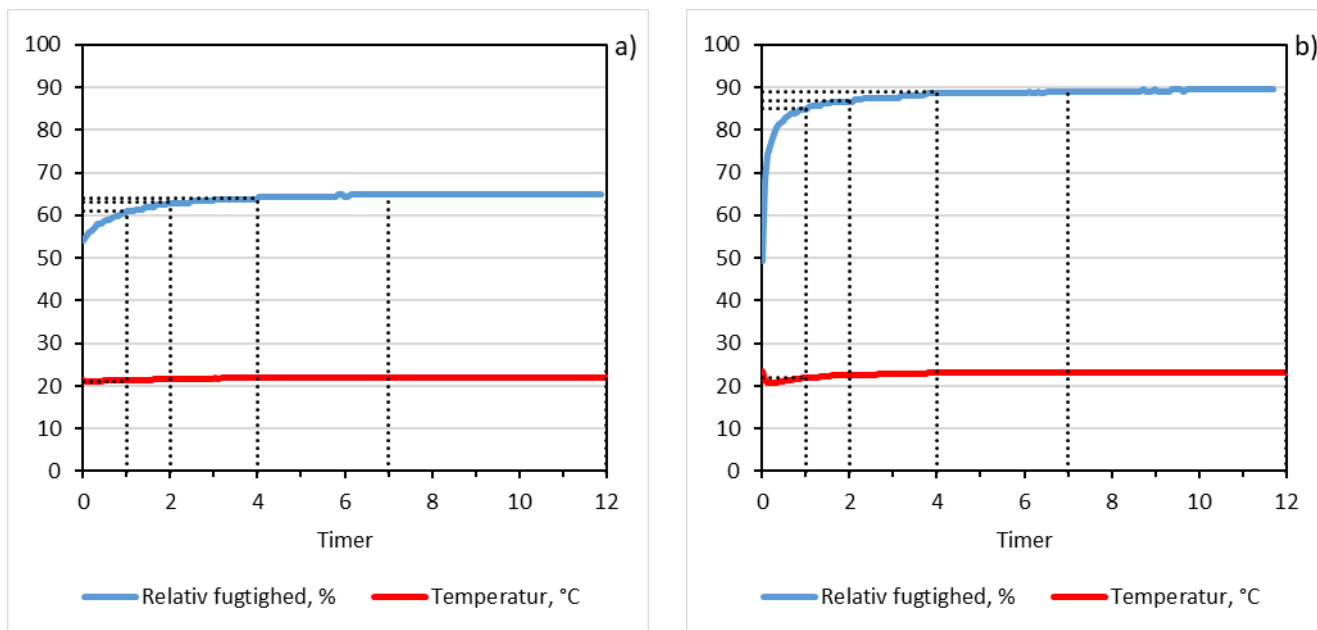
FIGUR 21. Procesdiagram for vurdering af måledata til brug for risikovurdering af skimmelvækst.

5.3 Sammenkobling af måleresultat og skimmelrisiko

Hvis RF i fugthætten forbliver under 75 %, uanset den målte temperatur, så vurderes det, at der ikke er risiko for skimmelvækst (se FIGUR 19 og FIGUR 20). Det må i de tilfælde antages, at materialet ikke er opfugtet i en grad, der giver risiko for dannelse af skimmelvækst. Hvis den relative fugtighed overstiger 75 % er der risiko for skimmelvækst og sammen med temperaturen kan tidsperspektivet vurderes på baggrund af FIGUR 19 eller FIGUR 20, afhængigt af materialtypen.

For at illustrere aflæsning af måledata er anvendt to figurer med data fra laboratoriemålinger på porebeton, konditioneret ved hhv. 65 % RF og 90 % RF i klimakammer (FIGUR 22a og b). På begge figurer er markeret aflæsningstidspunkter ved hhv. 1, 2, 4, 7 eller 12 timer

og de tilhørende relative fugtigheder. De aflæste værdier er angivet i TABEL 4. For begge forløb ses en stabil temperatur og en relativ fugtighed, der har stabiliseret sig indenfor 4 timer.



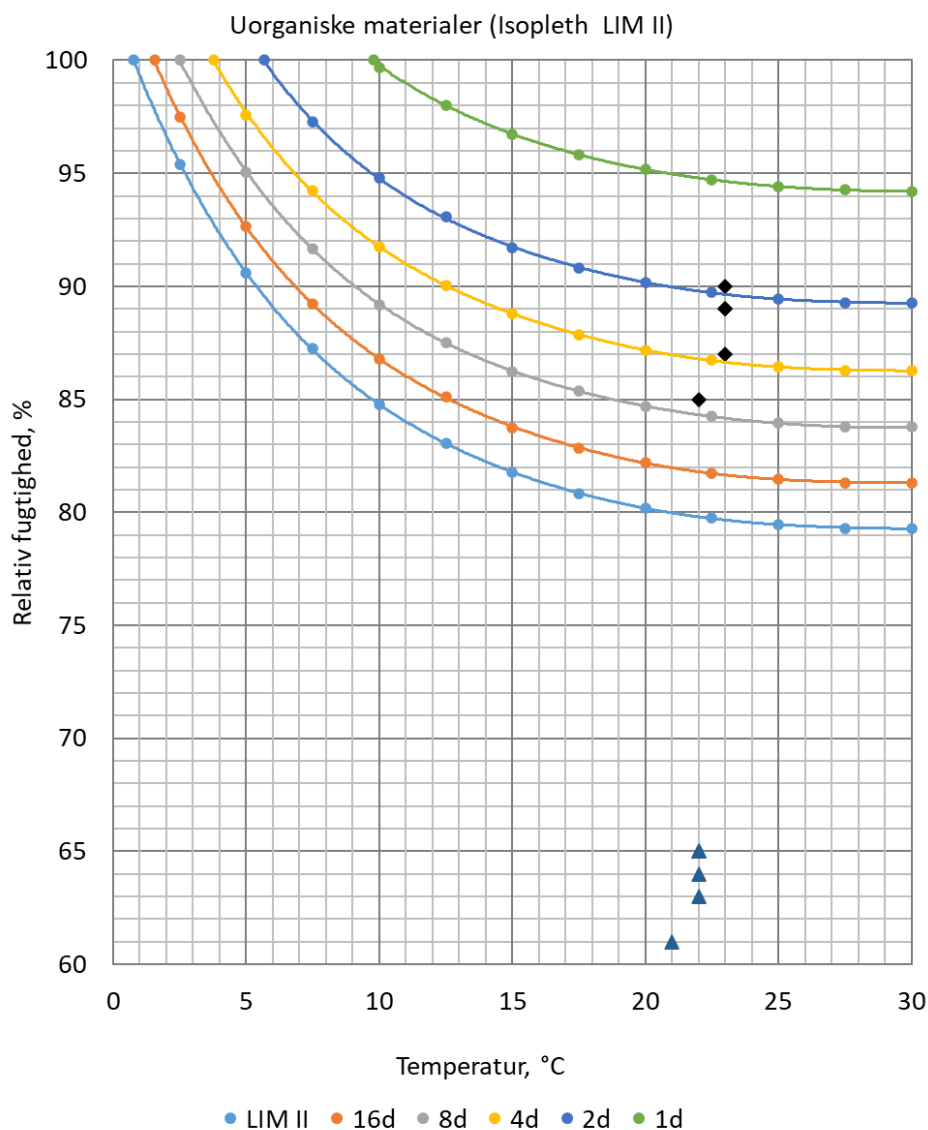
FIGUR 22. Fugthætte måledata for porebeton med intakt overfladebehandling, konditioneret ved a) 65 % og b) 90 % RF.

TABEL 4. Aflæsning af temperatur og relativ fugtighed i figur 22 samt risikoen for skimmelvækst aflæst i FIGUR 20 for uorganiske materialer, hvor temperatur og relativ fugtighed anvendes til at bestemme dage.

| Tid [timer] | Aflæsning, 65 % RF | | | Aflæsning, 90 % RF | | |
|-------------|--------------------|--------|----------------------------|--------------------|--------|----------------------------|
| | T [°C] | RF [%] | Skimmelrysiko ¹ | T [°C] | RF [%] | Skimmelrysiko ¹ |
| 1 | 21 | 61 | 0 dage | 22 | 85 | 7 dage |
| 2 | 22 | 63 | 0 dage | 23 | 87 | 4 dage |
| 4 | 22 | 64 | 0 dage | 23 | 89 | 2 dage |
| 7 | 22 | 65 | 0 dage | 23 | 89 | 2 dage |
| 12 | 22 | 65 | 0 dage | 23 | 90 | 2 dage |

¹ Risikoen for skimmelvækst er vurderet ud fra et overslag på dage til vækst ud fra interpolation mellem kurverne i FIGUR 23

Det er kun målinger fra porebeton, der er konditioneret ved 90 % RF, der ligger over 75 % RF, og dermed vurderes at kunne føre til en risiko for dannelse af skimmelvækst. Aflæsningen af antal dage til spiring af sporer er illustreret på FIGUR 23. Ved 90 % RF og 23 °C vil skimmelsporer spire efter ca. 2 dage. De aflæste antal dage er også indskrevet i TABEL 4. For illustrationens skyld er data fra konditioneringen ved 65 % RF også medtaget og for målingen ved 65 % RF og 22 °C ses ingen risiko for skimmelvækst, da RF ikke overstiger 75%.



FIGUR 23. Eksempel på aflæsning af risiko for skimmelvækst ud fra målinger ved 1, 2, 4, 7 og 12 timer i figur 22a og b for porebeton. Enkelte punkter er sammenfaldende for temperatur og relativ fugtighed.

5.4 Andre formål med anvendelse af fugthætten

Nedenfor er beskrevet overvejelser om fugthætten brugt som hjælp til at identificere kilder til opfugtning og langtidsmontering af overflade med henblik på risiko for skimmelvækst og mulighed for regulering af indeklima.

5.4.1 Kilde til fugt

Det kan spekuleres, hvorvidt målinger af rumluften kombineret med målinger med fugthætten kan afsløre noget om kilden til et eventuelt fugtproblem. På baggrund af laboratoriemålingerne kan vi konkludere, at målinger med fugthætten tydeligt indikerede opfugtede materialer. Her blev opfugtede materialer sammenlignet med en markant lavere rumluft. Nærværende forsøg med målinger i bolig (Del I) giver ikke datagrundlag, der kan dokumentere brugen af fugthætten i relation til kilde til fugt, da målingerne netop viser, at der ikke er et fugtproblem. Case C afsnit (6.3) beskriver fugthættemålinger udført på opfugtet kældervæg,

hvor samtidige målinger i rumluften klart indikere, at væggen afgiver vanddamp. I dette tilfælde viser målingerne tydeligt, at der er et problem med en opfugtet væg.

Da væggen ofte har en lidt anden temperatur end rumluften, vil det være nødvendigt at omregne til absolut vanddampindhold, når væg og rum skal sammenlignes. Hvis der er stor forskel mellem væg og rum, kan en yderligere undersøgelse af homogeniteten af væggen være relevant. Målinger forskellige steder på væggen kan afsløre, om der er uens opfugtning.

5.4.2 Vægmåling til længere tids monitorering

Det spekuleres endvidere, hvorvidt fugthætten i visse situationer potentielt kan bruges til at langtidsovervåge fugtforhold på en overflade. En løbende dataovervågning ville således have potentiale til anvendelse til regulering af varme- og ventilationsforhold ud fra et perspektiv om forebyggelse af skimmelvækst. Det er vanskeligt at vurdere dette generelt, da mange forhold har indflydelse. Det må indkredses, hvorvidt konstruktionen er fugtbelastet af byggetekniske årsager og/eller hvordan de generelle indeklimaforhold er i sammenhæng med konstruktionen.

Måles på et opfugtet materiale, der ikke er i ligevægt med omgivelserne, vil målingen i fugthætten ikke repræsentere andet end selve den flade, der er dækket af fugthætten. Case C (afsnit 6.3) viser en fugthættemåling på næsten 100 % RF, der ikke er påvirket af en affugtning af rumluften. En sådan måling vil ikke kunne bruges til at regulere indeklimaet, da der er en kontinuerlig opfugtning af væggen og fugthætten vil dermed blive ved med at vise høje værdier. En øget affugtning/ventilation af omgivelserne vil dermed ikke nødvendigvis påvirke fugthættemålingen, men være vigtig for rumluften og andre overflader i rummet.

Målinger på en væg uden specifikke fugtpåvirkninger, dvs. en vis grad af tilpasning til indeklimaet, vil kunne give oplysninger om, hvornår fugtniveauet måtte nå værdier, der kunne være kritiske i sammenhæng med risiko for skimmelvækst. Her ville en overvågning af rumluften (indeklimaet) dog være en parameter, der hurtigere vil give en indikation af behov for indgriben, netop fordi materiale og rum er relateret, men materialet har en tidsforsinket respons på rumforholdene. En overvågning af temperatur på væggen kan være en hjælpende parameter sammen med det absolutte vanddampindhold i rumluften og en omregning til % RF, der kan sammenholdes med risiko for skimmelvækst. Her kunne så indlægges en tidsgrænse for, hvor lang tid et forhøjet fugtniveau tolereres. Anbefalinger kan baseres på LIM-kurverne på FIGUR 19 og FIGUR 20, hvor der er sammenhæng mellem temperatur, relativ fugtighed og tid. Sker der overskridelse af de givne dag-kurver (1, 2, 4, 8 og 16 dage) vil det være kritiske forhold på overfladen.

5.4.3 Bestemmelse af materialeegenskaber

I projektet har det vist sig, at fugthætten muligvis kan anvendes til at bestemme grove estimater for materialeegenskaber for vanddamprtransport.

5.4.4 Anbefalinger for yderligere undersøgelser

For at yderligere at afdække potentiale og anvendelsesmuligheder – samt begrænsning – for fugthætten anbefales det, at:

- fugthætten afprøves under forhold, hvor materialefugtigheder er bestemt med brug af andre metoder
- undersøge metodens potentiale for måling af byggefugt
- undersøge metodens potentiale til estimering af vanddampsdiffusionsmodstand i vandskadede materialer og dermed videreudvikling af metoder til forudsigelse af optimale tørringsforhold og udtørringstider.

The background of the page is filled with a pattern of thin, dark blue, wavy lines that create a sense of movement and depth. These lines are arranged in concentric, slightly irregular curves that flow across the entire page. In the center, there is a solid dark blue circle containing the number 6.

6

EKSEMPLER I PRAKSIS

6 EKSEMPLER I PRAKSIS

Der er udført målinger på fire lokaliteter med forskellige hustyper for at vurdere fugthættens anvendelse i praksis. Forsøgene er udført med den nyeste prototype med intern datalogning og hukommelse, se afsnit 4, *Instrument og brugerflade*. Fugthætterne blev monteret med klæbemasse som beskrevet i afsnit 2, *Materialer og metoder*.

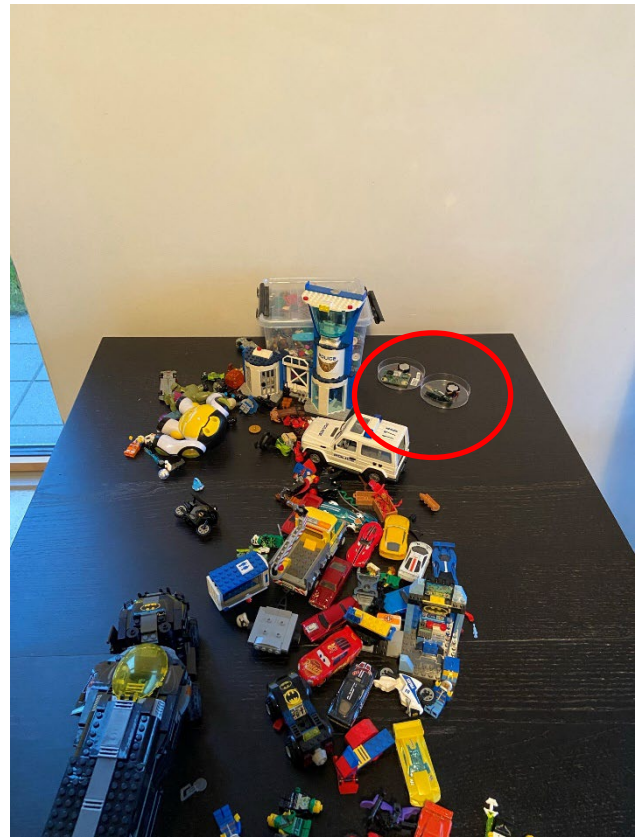
- Case A: Enfamiliehus opført i 2016, målinger i lysninger.
- Case B: Murermeister villa (teglsten) i 2 etager fra 1932, målinger udført indvendigt på kælderydervæg i opvarmet kælder.
- Case C: Etagebolig opført i 1948, målinger indvendigt på kælderydervæg i rum med opvarmning og affugtning.
- Case D: Sommerhus i letbetonsten opført 1952. Her er målt ad to gange (forår og sommer), indvendigt på ydervæg.

6.1 Case A

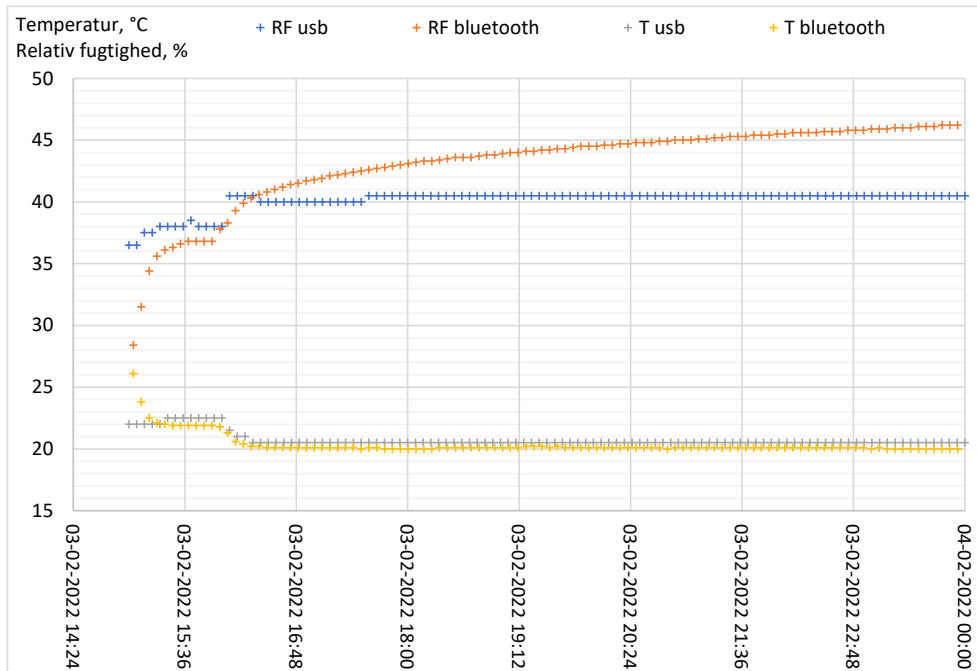
Målingerne er udført på en gipsudset lysning til en terrassedør. Ydervæg og lysning er opbygget med 100 mm porebeton i for- og bagmur. Ydervæggen er isoleret med 250 mm isolering. Fugthætterne var placeret ca. 20-30 cm over gulvet, og samtidig blev der logget indeklima temperatur og relativ fugtighed på et bord nær væggen (FIGUR 24). Vinduet var orienteret SØ og lysningen mod SV.

Målingerne blev udført med både USB og Bluetooth fugthætterne, og målingerne for 9½ timer er gengivet i FIGUR 25. Der var udfordringer med både USB og Bluetooth loggeren, så der er fx ikke logget temperatur i rumluften med Bluetooth, og den relative fugtighed i fugthætten målt med USB loggeren har et mærkeligt indsving, som kunne tyde på, at der er en utæthed, så der delvis måles på rumluften. Indsvingning for Bluetooth loggeren viser et tydeligt forløb som skyldes placeringen på væggen. 1 time efter opsætning sker der en sænkning af temperaturen i begge fugthætter, som giver anledning til en stigning i relativ fugtighed. Over de viste 9½ timer opnås der ikke en stabil relativ fugtighed for Bluetooth loggeren, men der er målt over flere dage hvor RF stabiliserer sig på omkring 50 % RF. Dermed er der ingen risiko for skimmelvækst under de givne forhold.

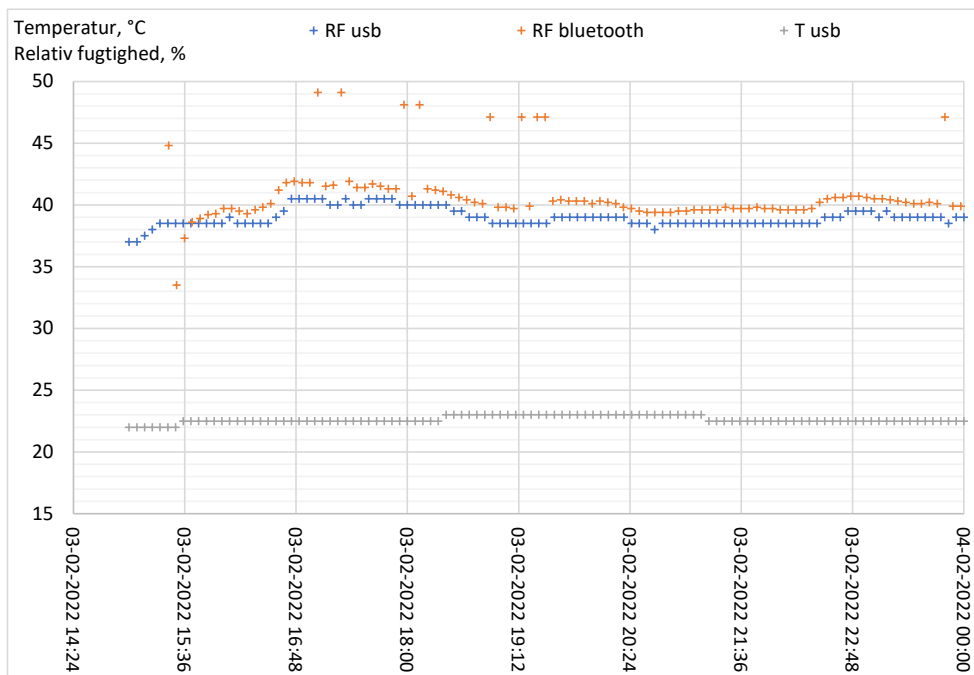
Det absolutte fugtindhold i fugthætten med Bluetooth logger og rumluften målt med USB logger, opnår tilnærmet samme værdi efter 7 timer, se FIGUR 27.



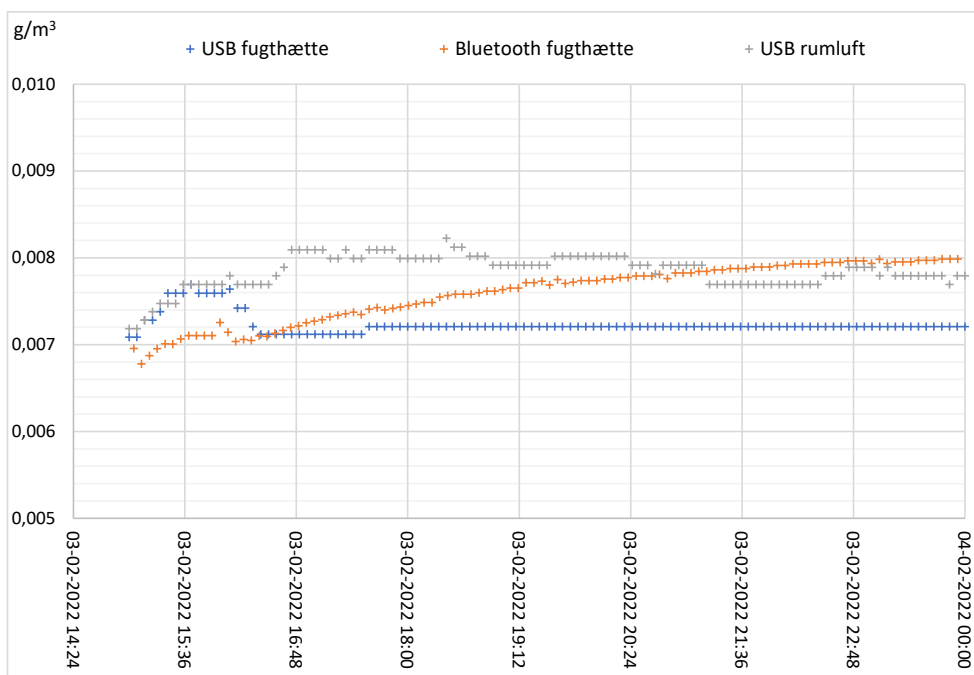
FIGUR 24. tv. Fugthætter placeret på lysning. Th. loggere måler indeklimaforhold.



FIGUR 25. Fugthættemålinger af temperatur og relativ fugtighed på lysning.



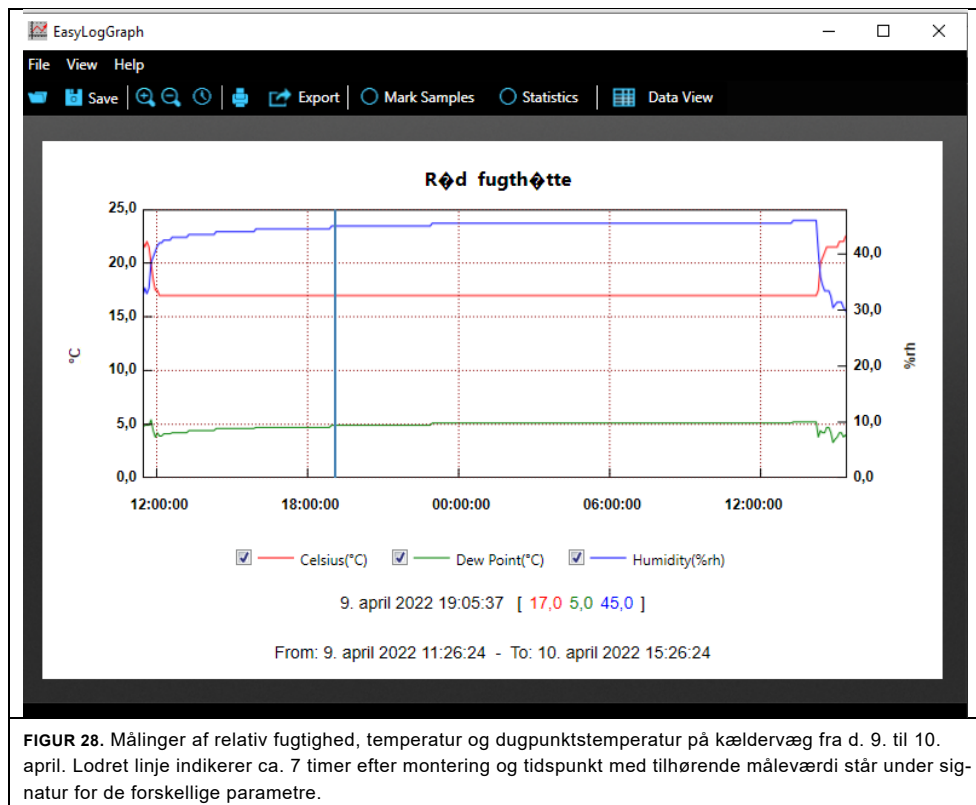
FIGUR 26. Temperatur og relativ fugtighed i rumluften. Der var ikke logget temperatur med Bluetooth



FIGUR 27. Absolut fugtindhold i hhv. fugthætte og rumluft. USB fugthætte har en mærkelig udvikling.

6.2 Case B

Kælder i hus fra 1932. Målingen (USB datalogger) viser et kort indsvingningsforløb ved start og ellers et stabilt niveau omkring 45% RF, dvs. ingen risiko for skimmelvækst.



6.3 Case C

Målingerne er udført på en kælderydervæg med maling. Ejendommen er opført i 1948, men det vides ikke, om der er fugtspærre i den murede kælderydervæg. Det forventes, at der ved opførelse har været en eller to vandrette fugtspærre, men der er ikke nødvendigvis en udvendig fugtspærre på kælderydervæggen.

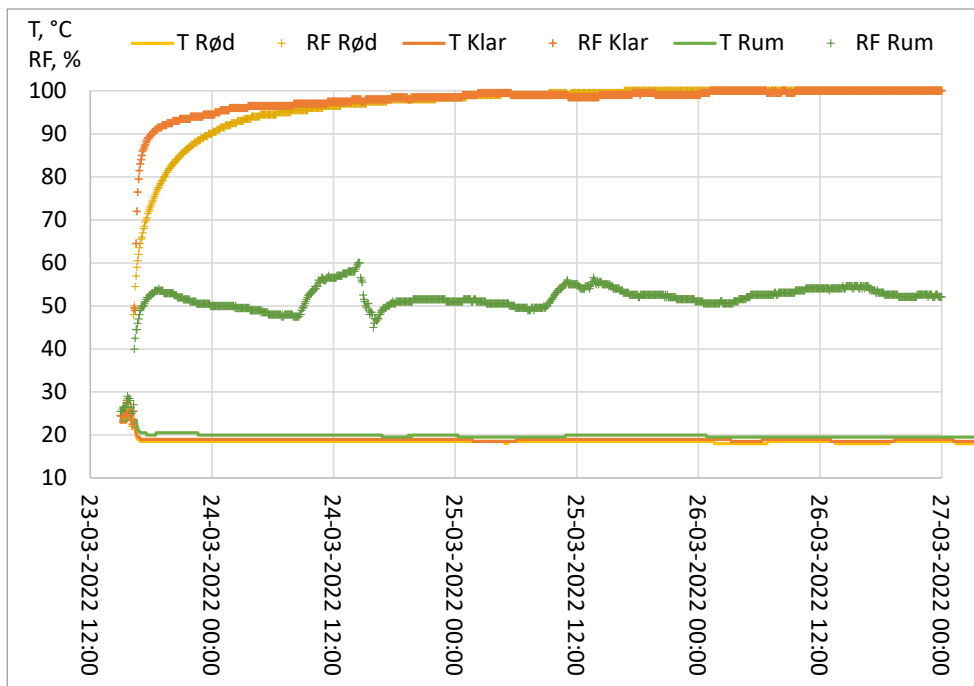
Målingerne blev udført med USB fugthætterne, der blev placeret 20-25 cm over gulvet, se figur 29. Indeklimaets temperatur og relativ fugtighed blev målt i samme højde som fugthætterne og ca. 20 cm under loftet. Temperaturen under loftet er ca. 1-1,5 °C højere end målt 25 cm over gulvet.

Målingerne viser et mere eller mindre hurtigt og stejlt stigende indsvingsningsforløb inden den relative fugtighed stabiliserer sig nær 100%, se figur 30. Igennem måleperioden har indeklimaets luft et absolut vandindhold på 7-11 g/m³ (svarende til 45-62 % RF), hvorimod fugthætterne opnår ca. 16 g/m³ efter et døgn. Det tyder på, at der sker en fugttilførsel til fugthætterne, som må komme gennem ydervæggen. Dette stemmer godt overens med, at der var en affugter i kælderen for at opretholde et acceptabelt indeklima. Målingerne med fugthætterne viser, at der er risiko for skimmelvækst indenfor en dag. Der var ikke synlig skimmelvækst og dette kan skyldes andre faktorer. Der er formentlig udfældning af salte på væggen (BYG-ERFA, 2022). Det vides ikke, i hvilken grad affugtningen af rumluften påvirker overfladen helt tæt på væggen, dvs. om det yderste lag af væggen kan have en lavere RF pga. affugtning. Det formodes, at der sker en kappillartransport af vand i væggen, og at fugten diffunderer fra overfladen til rummet. Når fugthætten monteres, vil luften i fugthætten indstille sig med væggen og påvirkningen fra den markant lavere RF i rumluften fjernes. Den ene fugthætte har et stejlere indsvingsningsforløb end den anden. Der er god kurvetilpasning ($R^2 > 0,9$) på begge forløb (ligning 2, baseret på 700 minutters måledata) og god overensstemmelse mellem beregnet og målt slutværdi. Tid til ligevægt er ret forskellig for de to målinger (2 hhv. 11 timer), hvilket de forskellige indsvingsningsforløb afspejler. Dette tyder på forskelle

ved væggen og understøtter, at man bør måle flere steder på den samme væg, da forholdene kan variere. Samtidig spekuleres det, om den ene måling repræsenterer et sted, hvor det yderste af væggen måske har en anden beskaffenhed eller overfladebehandling. 11 timer til ligevægt er lang tid i sammenligning med de oprindelig laboratorieforsøg, hvor overfladebehandlet beton som det langsomste var ca. 7 timer om at indstille sig. I denne case viser fugthætten som måleinstrument med stor tydelighed, at der er et problem med en opfugtet væg. Det giver en tydelig indikation om, at der er andre forhold, der skal igangsættes for at bremse fugttransporten ind i kælderen. Derudover bør man være opmærksom på, at der ikke placeres møbler eller andet foran væggen, da dette kan opfugte miljøet lokalt og øge risiko for skimmelvækst.



FIGUR 29. Placering af fugthætter og indeklimalogger på/ved kælderydervæg og under loft.



FIGUR 30. Temperatur og relative fugtighedsmålinger i rumluft i kælder og på kælderydervæg. Rummets målinger er vist for logger i samme højde niveau med fugthætter sad placeret. Data er overført til Excel graf for at illustrere sam-hørende data fra rumluft og væg.

6.4 Case D

Fugthætten monteret på ydervæg af letbeton med puds og maling d. 14. frem til d. 16. april. 2022 (FIGUR 31). FIGUR 32 viser et kort indsvingningsforløb og derefter rimelig stabil måling omkring 62 % RF, dvs. ingen risiko for skimmelvækst.



FIGUR 31. To fugthætter (USB datalogger) monteret på ydervæg af letbeton med puds og maling. Yderligere ses måler, der registrerer temperatur og RF i rumluften.



FIGUR 32. Målinger fra fugthætte monteret på letbetonvæg med puds og maling, d. 14. til 16. april.

Målingen er gentaget tre uger senere på samme væg (d. 8. til 9. maj). Der er et kort indsvingningsforløb efterfulgt af rimeligt stabilt niveau omkring 60% RF (FIGUR 33), dvs., ingen risiko for skimmelvækst. Niveaulet for både temperatur og % RF ligner målingen fortaget tre uger før.



FIGUR 33. Målinger fra fugthætte monteret på letbetonvæg med puds og maling, d. 8 til 9. maj 2022.

Målingen er gentaget i august måned (d. 3. til 4.). D. 3. aug. er temperaturen udenfor højere end inde. Der ses et fald i % RF ved montering af fugthætten på væggen (FIGUR 34). Fugthættmålingen viser omkring 60 % RF og dermed ingen risiko for skimmelvækst.



FIGUR 34. Målinger fra fugthætte monteret på letbetonvæg med puds og maling, d. 3. til 4. august. Montering markeret med lodret streg i begyndelsen af forløbet.



7

LITTERATUR

LITTERATUR

- Brandt, E., Bunch-Nielsen, T., Christensen, G., Gudum, C., Hansen, M.H., & Møller, E.B. (2013). *Fugt i bygninger* (SBI-anvisning 224). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- BYG-ERFA. (2005). Fugtundersøgelse af bygninger (BYG-ERFA blad (99) 05 06 26). Balle-rup.
- BYG-ERFA. (2022). Salte i murværk (BYG-ERFA blad (21) 22 04 22). København.
- El-Khattam, A. & Andersen, M. T.. 2012. Ikke-destruktiv måling af fugt i uorganiske bygge-materialer. Danmarks Tekniske Universitet, DTU Byg.
- Krus, M., & Sedlbauer, K. (2002). *Brauchen wir Gefährdungsklassen für schimmelpilze zur Beurteilung von Baukonstruktionen?* I proceedings: 11. Bauklimatische Symposium Dres-den; 26.-30. september 2002, 790–802.
- Sedlbauer, K. (2001) *Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen* (ph.d. af-handling). Stuttgart Universitet.
- Shoeib M. & Harner T. (2002) Characterization and comparison of three passive air sam-plers for persistent organic pollutants. *Environmental Science and Technology*, 36, pp. 4142-4151.
- Thrane, U., Olsen, K.C., Brandt, E., Ebbehøj, N.E., & Gunnarsen, L. (2020). *Skimmel-svampe i bygninger – undersøgelse og vurdering* (SBI-anvisning 274). København: Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet.
- Vereecken, E., & Roels, S. (2012). Review of mould prediction models and their influence on mould risk evaluation, *Building and Environment*, 51, 296-310.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.003>

The background of the page is a light blue color with a pattern of thin, dark blue, wavy lines that create a sense of movement and depth. The lines are curved and flow across the page, framing the central text.

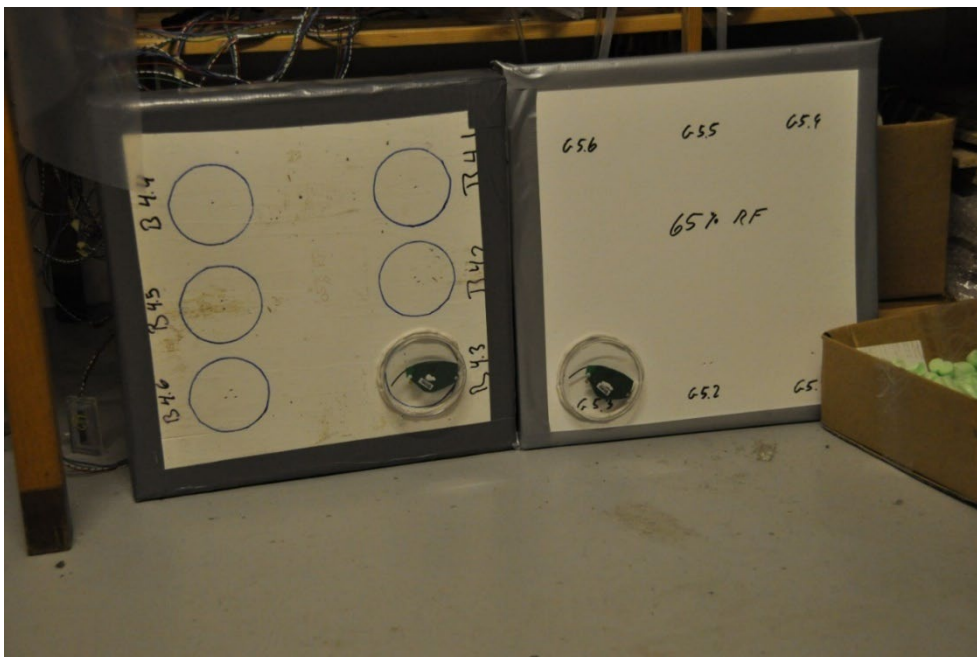
1

BILAG

BILAG

Bilag 1. Foto og materialer

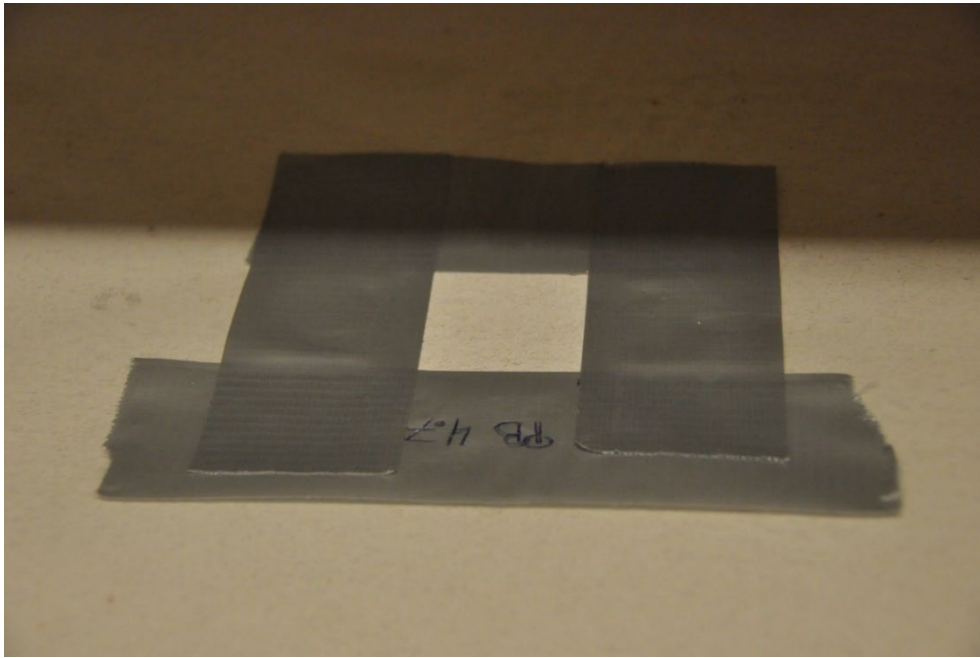
Prøvemner til laboratorieforsøg



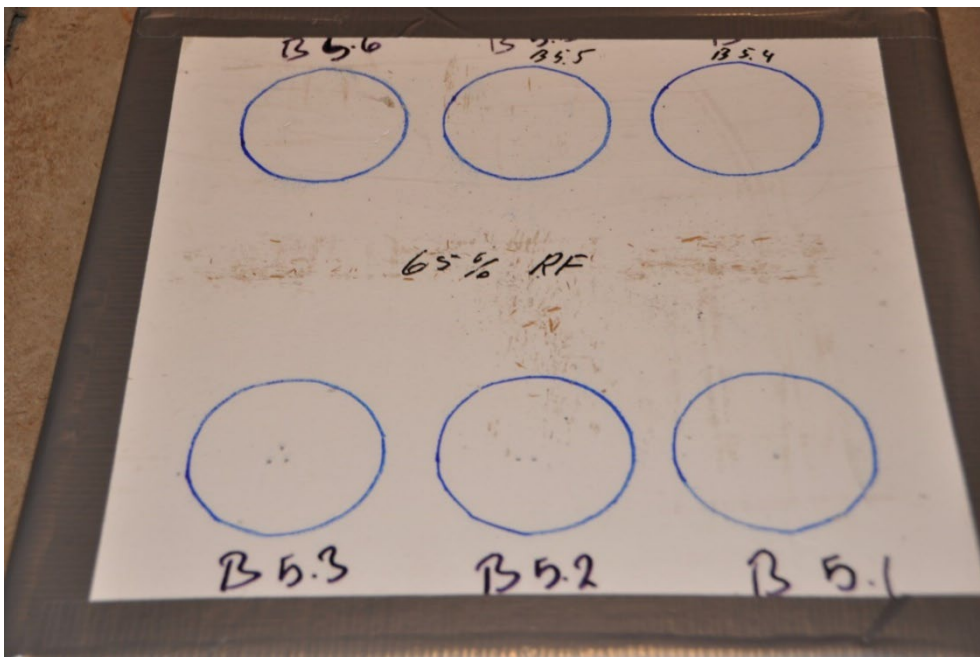
FIGUR B1.1. Foto af prøvemner (beton tv. og gips th.) med monteret fugthætte.



FIGUR B1.2. Foto af prøveemne på tegl med monteret fugthætte. Fugthætten overlapper gaffatape.



FIGUR B1.3. Foto af ubehandlet prøveemne (porebeton) med markeret 4 cm x 4 cm område til montering af fugthætte.



FIGUR B1.4. Foto af behandlet prøveemne (beton) med antydning af huller i overfladebehandlingen (nederste række: tv. 3 huller, i midten 2 huller, th. 1 hul).

Bilag 2. Beregningsparametre

Udledning af t_{95}

Forklaring på ligning 3 for tid til 95% af ligevægtskoncentration C_{eq} , hvor koncentrationen C er $0,95C_{eq}$. Her medtages ikke startkoncentrationen, da det kun er tilvæksten, der er tidsafhængig.

$$0,95C_{eq} = C_{eq}(1 - \exp(-k t_{95})) \quad \leftrightarrow$$

$$0,95 C_{eq}/C_{eq} = 1 - \exp(-k t_{95}) \quad \leftrightarrow$$

$$\exp(-k t_{95}) = 0,05 \quad \leftrightarrow$$

$$t_{95} = \ln(0,05)/k$$

Tilsvarende kan udregnes tiden til 25% af ligevægt, t_{25} .

Bilag 3. Klæbemasse

Der er gennemført en række forsøg med klæbemasse af forskellige fabrikater. Forsøgene er gennemført inden erkendelsen af, at fugthætten af plast i en vis grad tillader en diffusion af vanddamp ind i fugthætten. Nedenfor er beskrevet, hvilke produkter der er testet og hvordan det er gjort. Resultaterne viste, at det var ikke muligt at se forskel på produkterne med den givne fremgangsmåde. Det betyder samtidig, at de forskellige produkter af klæbemasse ikke har en markant indflydelse sammenlignet med fugthætten af plast. Det er derfor vurderet, at de nyere forsøg med klæbemasse kun behøvede test af ét af produkterne.

Produkter

Der er anvendt tre produkter af klæbemasse (Tabel B3.1).

TABEL B3.1 Anvendte produkter af klæbemasse

| Produkt | Information på pakning |
|---------------|---|
| Bantex | Tack-all, reusable, removable, adhesive, no. 8204 00, www.Bantex.com |
| Lyreco | Reusable adhesive gum, no. 1.492.539, Lyreco, rue du 19, mars 1962, 59770 Marly, France. |
| Faber-Castell | Tack-it, reusable multi-purpose tack, no. 18 20 60. Dermatologically tested. 90546 Stein, Germany |

Der er anvendt 9 g klæbemasse i laboratorieforsøg, mens der er anvendt 6 g i boligforsøg. Der er lavet test med fugthætte af plast, hvor både mærker og mængder er testet (se nedenfor).

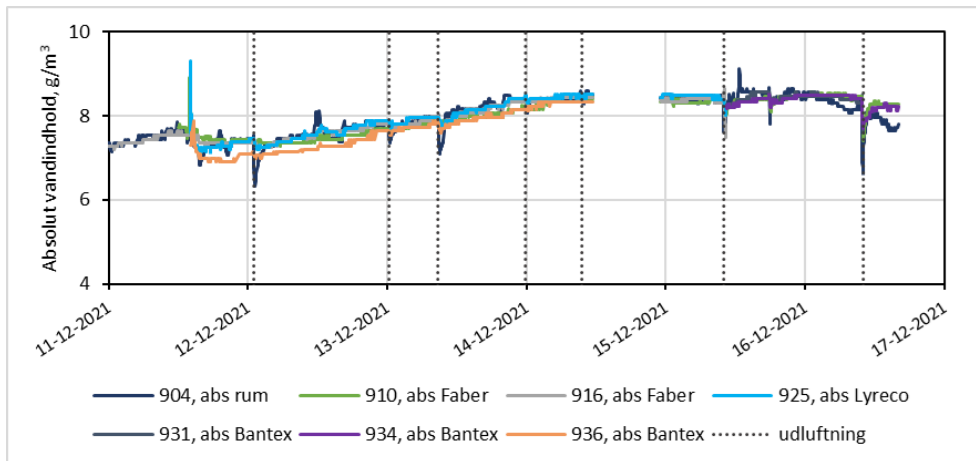
Test af klæbemasse

På grund af erfaringerne med manglende damptæthed er glaspladerne også brugt til at teste, om der er forskel på forskellige produkter af klæbemasse, og hvorvidt mængden af klæbemasse har betydning. Det vurderes, at der ikke er markante forskelle på hverken produktmærke eller mængde anvendt. Måske har det en indflydelse, hvorvidt klæbemassen genbruges indenfor et kortere tidsrum i det samme rum. De mange forsøg i stue og på trappe med mobil og fast position af fugtmåler viste rimelig reproducerbarhed, trods mange af flytningerne af den mobile måler var påvirket af udluftning. Her skal det bemærkes, at alle disse fugthætter var sat op med genbrugt klæbemasse fra den foregående placering.

Det er erfaret under forsøgene, at klæbemassen i visse tilfælde kan rive maling eller dele af underlaget af. Det anbefales derfor at undlade genbrug klæbemasse, da den dels kan indeholde overfladerester, dels måske afspejler en fugtpåvirkning fra en tidligere opsætning.

Sammenligning af produkter

Figur B3.1 viser det absolutte vandindhold i fugthætter monteret med klæbemasse af mærkerne Bantex, Lyreco og Faber-Castell. I den pågældende måleperiode ses ikke markante forskelle mellem klæbemasserne. Fugthætte 936 ligger lidt lavere i begyndelsen end de øvrige fugthætter, men tilsyneladende skyldes det ikke typen af klæbemasse, da de andre fugthætter med samme type klæbemasse måler mere ens.



FIGUR B3.1. Fugthætter monteret på glasplader med forskellige mærker af klæbemasse.

Bilag 4 Test af hætte-materialer i klimaskab

Dette bilag beskriver materialer og metode samt resultater for forsøg med hætte-materialer, der er testet i klimaskab i laboratoriet.

Materialer og metode

Undervejs i forløbet med forsøgene i bolig (omtalt nedenfor) blev det klart, at selve plast-hætte eller klæbemasse ikke var fuldstændigt vanddampstæt. Dette har givet anledning til en række forsøg, hvor bl.a. plast-petriskålene er karakteriseret ved hjælp af forsøg i klimakammer i laboratorie.

Kalibrering

Der har været 10 stk. prototype fugthætter-sensorer til rådighed, der kunne måle parallelt i klimakammeret. Målerne er lagt (åbne) i klimakammeret ved en temperatur på 21 °C og hhv. 50 % RF og 75 % RF. Der er udregnet middelværdi og spredning for temperatur og RF i perioder på hhv. 1½ og 3 timer ved de forskellige RF.

Klæbemateriale

Fugthætter af glas har været monteret på glasplader med hhv. klæbemasse (10 g af mærket Lyreco) og bitumen (dobbeltklæbende butyl tape, ca. 7 mm bredt og 5 mm højt). Fugthætterne har også været monteret med forskellige produkter af klæbemasse (se bilag 3).

Hættemateriale

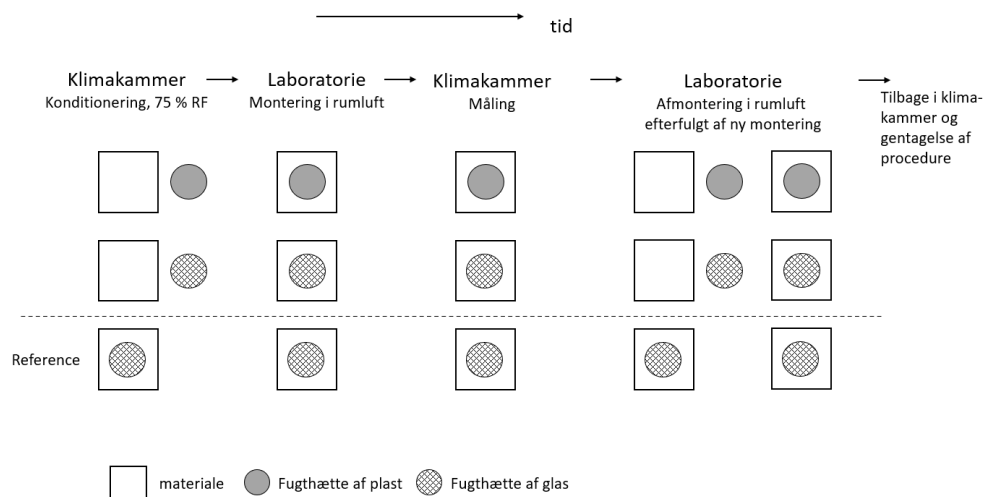
For at teste selve hættens, er petriskåle af plast (plasttype low-density polyethylene, "LDPE") monteret på glasplader. Der har været anvendt petriskåle fra to leverandører og begge typer er testet. Glas er brugt for at teste på et materiale, der ikke påvirkes af fugt og er diffusions-tæt. Hvis fugthætten er vanddampstæt og slutter tæt til glaspladen, forventes det absolutte vandindhold indeni fugthætten at være konstant over tid. Petriskålene er monteret med klæbemasse ("Lyreco") på glasplader i almindelig rumluft i laboratoriet og derefter placeret i klimakammer ved konstant temperatur (21 °C) og 75 % RF. Med passende mellemrum (dage) er klimakammerets RF ændret efter følgende cyklus: 75 % RF – 50 % RF - 75 % RF – 50 % RF. For at skelne plastmateriale fra klæbemassen, der også kan være utæt, er der målt på en parallel opsætning, hvor det er fugthætter af glas, der er monteret med klæbemasse på glasplader. Petriskålene af glas er 90 mm i indvendig diameter og 13 mm i højden. Under hele forsøget er RF og temperatur målt i omgivelserne (først rumluft og efterfølgende i klimakammeret) med en sensor placeret i en åben fugthætte.

Samlet system

Undervejs i forløbet er det undersøgt, hvordan fugthætten som isoleret system reagerer på temperaturforandringer, dvs. om udstyret i sig selv er påvirket og dermed kan give fejlbehæftede målinger. Når fugthætten håndteres under montering, påvirkes materialerne af varmen fra hænderne. Dertil kommer, at der i visse sæsoner vil være en laverede temperatur på fx en ydervæg i forhold til den rumluft, hvor udstyret håndteres. En ændring i temperaturen betyder en ændring i % RF, mens det absolutte vandindhold forbliver konstant, hvis fugthætte, montering og underlag er tæt og at de indvendige overflader ikke vekselvirker med vanddampen. Der er gennemført forsøg med fugthætter af glas, monteret på glasplader med hhv. bitumen og klæbemasse. Der er anvendt to størrelser af petriskåle, den ene som ovenstående, den anden lidt mindre (70 mm i indvendig diameter og 11 mm høj). Fugthætterne er anbragt i klimaskab ved 50 % RF og temperaturen ændret periodisk mellem 20 og 24 °C.

Gips og porebeton

Forsøgene har vist, at fugthætterne af plast tillader en vis vanddampsdiffusion, og det er undersøgt yderligere, om det har haft indflydelse på de oprindelige laboratorieforsøg, hvor plasthætten er anvendt. Det er gjort ved at sammenligne målinger med petriskåle af plast hhv. glas i klimakammerforsøg. Forsøgsproceduren er overordnet illustreret på Figur B4.1 og beskrevet nedenfor.



FIGUR B4.1. Illustration af procedure for forsøg med sammenligning af fugthætte af plast hhv. glas monteret på materiale (gips eller porebeton). Først konditioneres materialerne i klimakammer (75 % RF). Efterfølgende tages materialerne ud af klimakammeret og fugthætterne monteres (i rumluft). Efter montering sættes materialer med fugthætter tilbage i klimakammeret (75 % RF). Proceduren gentages således, at der monteres fugthætter tre gange. Samtidigt med håndteringen med montering og afmontering af fugthætter ind og ud af klimakammeret følger en "reference". Referencen består af materialet med en permanent monteret fugthætte af glas. Forsøgene er gennemført med dobbeltbestemmelser.

Der anvendes plasthætter fra samme leverandør som plasthætterne anvendt under de oprindelige laboratorieforsøg. Der er målt på to materialer: gipsplader (130 mm x 180 mm x 13 mm) med pålimet glasfilt og et lag maling på den ene side og porebetonplader (130 mm x 180 mm x 23 mm), behandlet med et lag maling på den ene side. Forsøgene er lavet med dobbeltbestemmelser, dvs. to fugthætter af glas er monteret med klæbemasse ("Lyreco") på hver sin gipsplade og hver sin porebetonplade (begge på den behandlede side). To gips og to porebetonplader er permanent monteret med glas-fugthætter og fungerer som "reference" materialer, dels for at sikre, at materialerne er konditioneret, dels for at følge påvirkningen af håndtering, når materialerne tages ud af klimakammeret. Plader og reference materiale er først konditioneret i klimakammer (21 °C og 75 % RF). De monterede fugthætter på referencematerialerne viser, hvornår materialerne er konditioneret til forholdene i klimakammeret og forsøget kan startes. Der er testet ét materiale ad gangen, først gipsplader. Gipsplader, åbne fugthætter og referencer tages ud af klimakammeret og to fugthætter af plast hhv. glas monteres på hver deres gipsplade i laboratoriet således, at fugthætterne monteres med rumluft inde i hættten. Derefter sættes plader og referencer tilbage i klimakammeret. Efter nogle dage (og opnået ligevægt) gentages forsøget ved at tage gipspladerne ud af klimaskabet, afmontere fugthætterne og efter 5-10 minutter atter montere fugthætterne og sætte pladerne tilbage i klimaskabet. Referencematerialet følger samme procedure, men uden afmontering. Forsøgene er gentaget således, at der er tre sammenlignende målinger for gips og porebeton.

I dette forsøg sættes materialerne tilbage i de samme konditioneringsforhold og dermed forbliver materialerne i ligevægt med kammeret, mens arealet under fugthætten afgiver vanddamp, indtil der opnås ligevægt i luften under fugthætten. Denne procedure adskiller

sig fra de oprindelige forsøg, hvor ubehandlede overflader på materialerne blev forsegleet og placeret i et andet klimakammer ved en lavere RF.

Tapet

For at teste diffusion af vanddamp i tapet og malet tapet, er der lavet forsøg, hvor fugthætter af glas er monteret på a) glasplade uden behandling, b) glasplade med glat papirtapet (af ældre dato og pålimet med limstift) og c) en glasplade, hvor det glatte pålimede tapet er malet to gange med almindelig hvid vægmaling (produkt Flügger 5). Fugthætterne er monteret i laboratoriet, hvor pladerne med tapet har ligget over længere tid (uger) og dermed konditioneret til rumluften. Pladerne med monterede fugthætter er placeret i klimaskab til konditionering (21 °C og 50 % RF) og efter 7 dage er den RF hævet til 75 % RF.

Resultater test i klimakammer

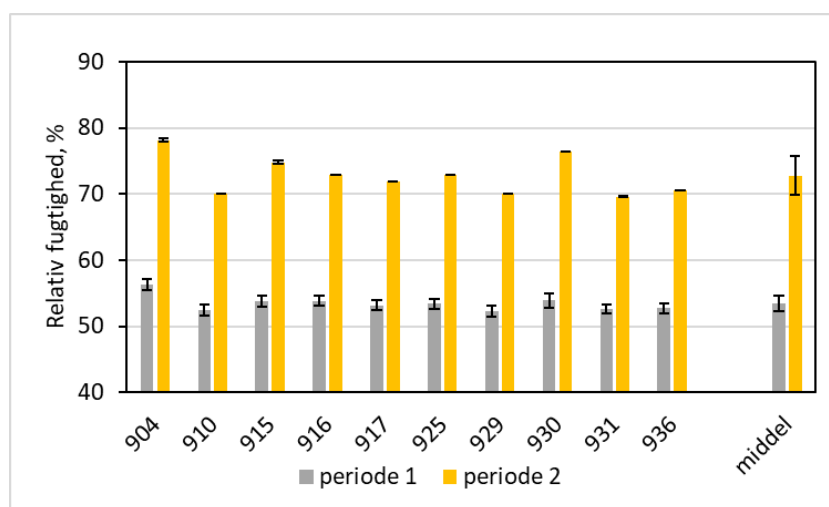
De forskellige forsøg til karakterisering af bl.a. fugthætten af plast er præsenteret nedenfor.

Kalibrering af målere

Tabel B4.1 viser middelværdi og spredning af målinger af temperatur og RF i to kalibreringsperioder, hvor klimakammeret i begge perioder er indstillet til 21,0 °C, men hhv. 50,0 % RF og 75,0 % RF. Tabel B4.1 viser middelværdier for % RF for de enkelte målere samt en samlet middelværdi for alle målere.

TABEL B4.1. Middelværdi, standardafvigelse (SD), relativ standard afvigelse (RSD) samt minimum og maksimum værdier af temperatur og RF i de to kalibreringsperioder (21 °C, 50 % RF og 21 °C, 75 % RF) med 10 målere.

| | Temperatur | | % RF | |
|--------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | Periode 1 | Periode 2 | Periode 1 | Periode 2 |
| N = 10 | | | | |
| middel | 21,3 | 21,2 | 53,5 | 72,7 |
| SD | 0,1 | 0,1 | 1,2 | 2,9 |
| RSD, % | 0,6 | 0,6 | 2,2 | 4,0 |
| min | 21,1 | 21,0 | 52,3 | 69,6 |
| max | 21,6 | 21,5 | 56,4 | 78,1 |

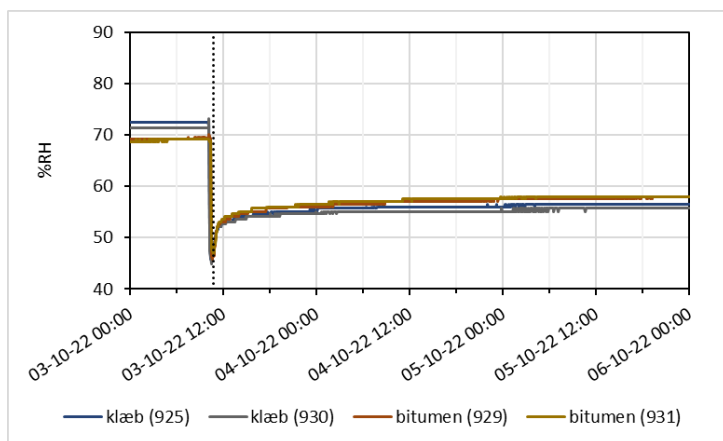


FIGUR B4.2. Målinger af % RF i de to kalibreringsperioder. Middelværdien (\pm SD) er vist for de enkelte målere samt middel for alle målere midlet over de to perioder. Tallene angiver ID på de anvendte fugtmålere

Målerne viser meget ens på temperatur, men der er små systematiske forskelle i visningen på % RF. For % RF viser målerne systematisk forskelligt fra klimakammerets indstilling, om end afvigelserne er små. Dette er der ikke taget hensyn til.

Klæbemateriale

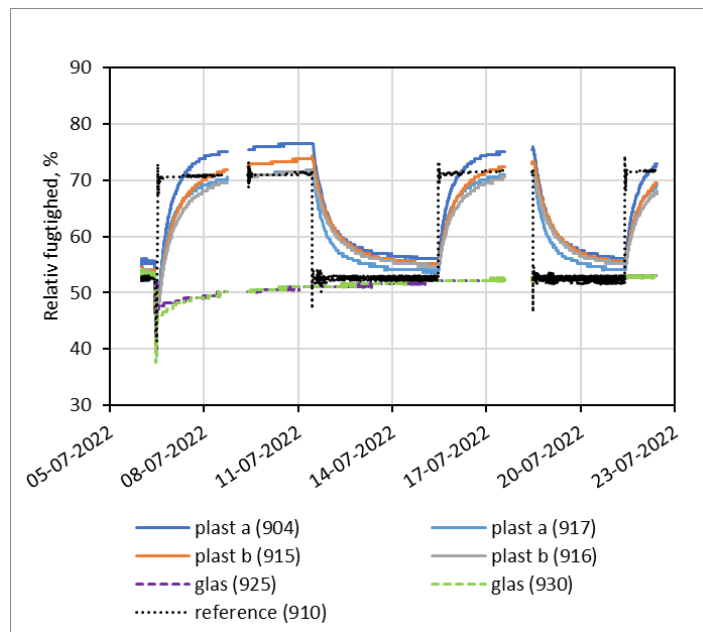
Fire åbne fugthætter af glas har været placeret i klimaskabet ved 21 °C og 75 % RF. Fugthæterne er taget ud og to monteret på glasplade med klæbemasse og to monteret med bitumen. Derefter er glaspladerne med fugthætter sat tilbage i klimakammeret (ved 21 °C og 75 % RF). Figur B4.3 viser forløbet, hvor fugtigheden falder fra omkring 70 % RF til ca. 45 % RF i forbindelse med udtagning af skabet og montering, hvorefter der sker en lille stigning ved indsætning i klimaskabet og derefter en svag stigning over tid indtil et niveau omkring 57 % RF (hvor klimakammeret er 75 % RF). Der ses ubetydelige forskelle på klæbemasse og bitumen, og der er ikke tegn på, at de to typer materialer har utætheder af betydning.



FIGUR B4.3. Tv.: Målinger af % RF i to fugthætter monteret med klæbemasse og to med bitumen på glasplader. Tidspunkt for montering er markeret. Klimakammeret er 21 °C og 75 % RH. Tallene efter materialetype er ID på de anvendte fugtmålere. Th.: foto af fugthætte monteret på glasplade med bitumen.

Hættemateriale

Vanddampsdiffusion gennem fugthætter af plast er testet og sammenlignet med fugthætter af glas. Udenfor klimakammeret er fugthæterne placeret på glasplader og derefter placeret i klimaskab ved konstant temperatur (21 °C), men vekslende % RF. Der er ændret mellem 50 % RF og 75 % RF efter følgende cyklus: 75 % RF – 50 % RF - 75 % RF – 50 % RF. Figur B4.4 viser forløbet af % RF-målingerne i fugthætter af hhv. plast (leverandør "a" og "b") og glas. Sideløbende er målt med en åben fugthætte i klimakammeret (reference), der dels indikerer tidspunkt for indsætning af målere monteret på glasplader i klimakammeret, dels viser variationerne i % RF i skabet undervejs i forsøget.

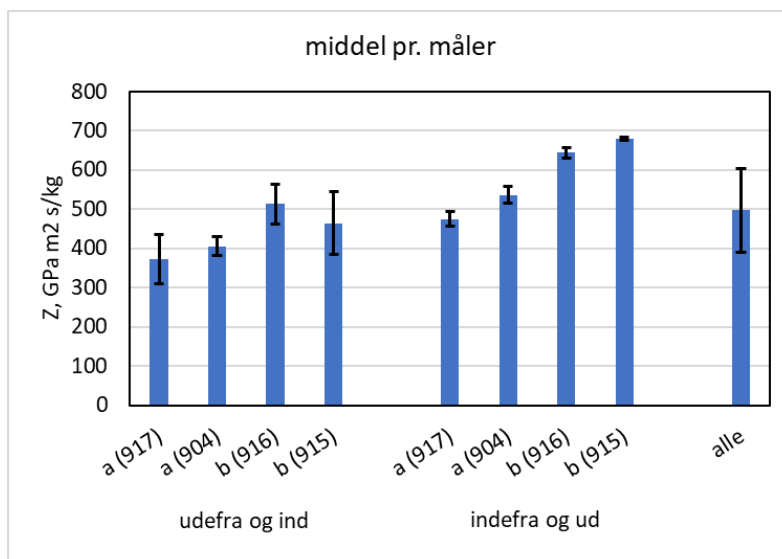


FIGUR B4.4. Målinger af % RF med fugthætter monteret på glasplader og placeret i klimaskab ved konstant temperatur (21 °C) og varierende % RF. Der er to fugthætter af glas samt to af plast fra hhv. leverandør a og b. Sideløbende er målt med en åben fugthætte (reference), der viser indsætning i skab samt efterfølgende variationer i klimaskabets % RF. Tallene efter materialetype angiver ID på de anvendte fugtmålere.

Fugthætter af plast viser en tydelig transport af vanddamp ind, hhv. ud af fugthætten i takt med omgivelsernes % RF. Der er systematiske forskelle mellem målingerne fra plathætterne, men dette skyldes i højere grad systematiske forskelle mellem selve målerne (se Figur B4.2) end forskelle mellem plastsåle fra forskellige leverandører.

Fugthætterne af glas tyder ikke på en diffusion af vanddamp fra omgivelserne. Der ses en svag stigning lige efter indsætning i klimaskabet og en stabilisering mod et niveau omk. 52 % RF, uanset ændringer i omgivelserne. Dette billede ses også ved forsøget, hvor klæbemassen sammenlignes med bitumen (jf. ovenstående).

På baggrund af målingerne med fugthætter af plast monteret på glasplader, kan der estimeres et groft mål for vanddampdiffusionsmodstanden (Z-værdien) af plastmaterialet. Resultater for plast fra forskellige leverandører samt, hvorvidt vanddampen går ind i eller ud af fugthætten, er præsenteret i figur B4.5. Figur B4.5 viser middelværdier (\pm SD) for estimerede Z-værdier (beregnet efter ligning 7), opdelt efter, hvorvidt platen er fra leverandør a eller b og hvorvidt vanddamp-fluxen har været ind i fugthætten eller ud af fugthætten. Søjlen længst til højre viser middelværdi (og SD) for alle målinger slået sammen.

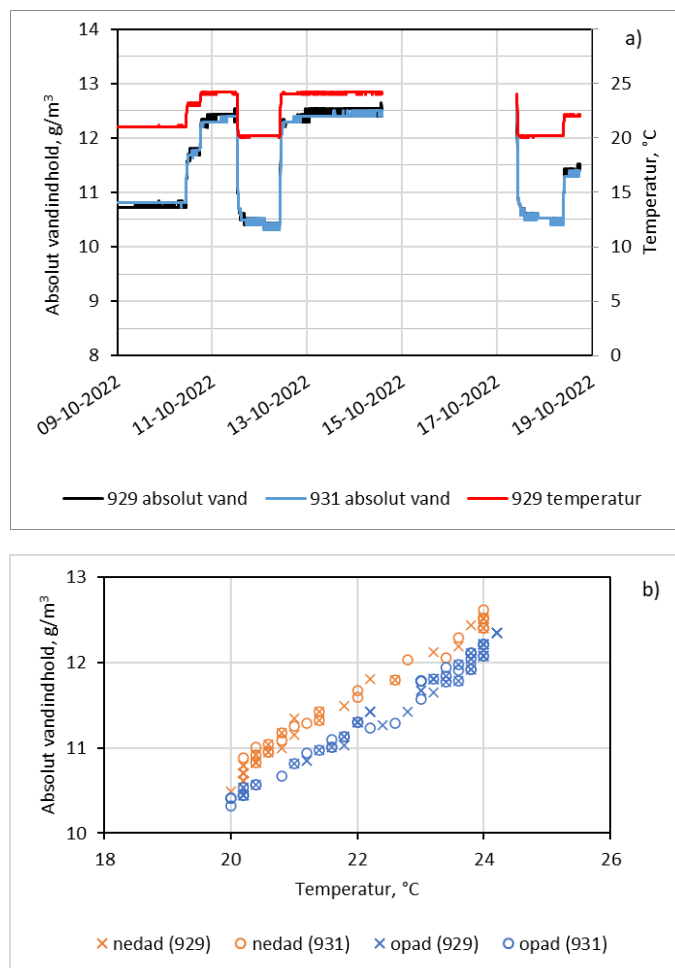


FIGUR B4.5. Middelværdi (\pm SD) for estimerede Z-værdier, baseret på transport af vanddamp fra omgivelser med højere % RF ind i plastskålene (udefra og ind) og forhold, hvor vanddampindholdet i fugthætten er højere end omgivelserne (indefra og ud) og dermed transporteres vanddampen ud af hætten. "a" og "b" repræsenterer petriskåle fra forskellige leverandører. Tallene efter "a" og "b" er ID for de anvendte fugtmålere.

Z-værdien som middelværdi af alle målinger, uanset plastleverandør og hvorvidt vanddampen transporteres ind eller ud af hætten, giver en middelværdi på 496 GPa m² s/kg med en RSD på 22 %. Dette er i overensstemmelse med den forventede Z-værdi (TABEL 1).

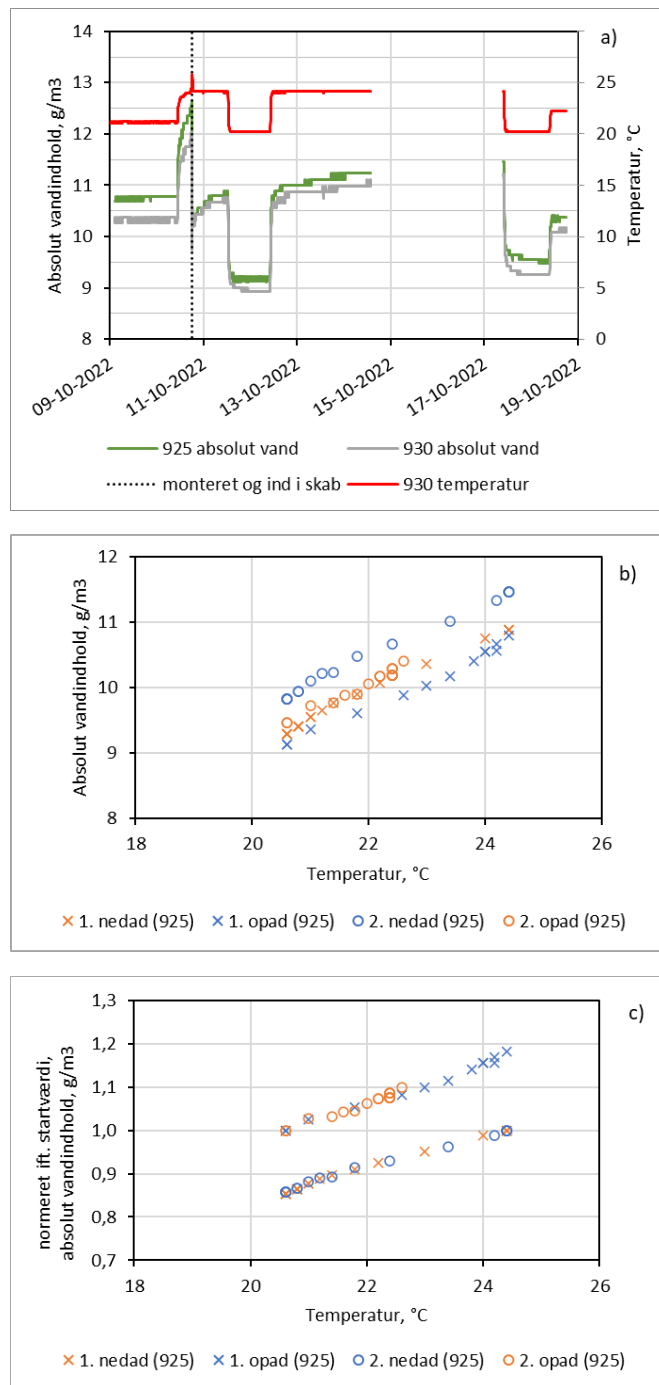
Samlet system

I en lukket fugthætte vil en ændring i temperatur betyde en ændring i % RF, mens det absolute vandindhold vil forblive konstant, hvis systemet er diffusionstæt for vanddamp og at selve fugthættens indvendige overflader ikke vekselvirker med vanddamp i luften i fugthætten. Figur B4.6 a viser et tidsforløb for det absolute vandindhold i to fugthætter monteret med bitumen på glasplade, der er placeret i klimakammeret. Temperaturen i klimakammeret og fugthætterne er meget ens og er vist for den ene hætte på figuren. De parallelle målinger af det absolute vandindhold viser god overensstemmelse, og der ses en tydelig påvirkning, når temperaturen ændres. Ændringen sker ret hurtigt, dvs. indenfor en halv time eller mindre. På figur B4.6b er afbildet et udsnit af data fra Figur B4.6a. Figuren viser sammenhæng mellem temperatur og vanddampindhold i perioder, hvor temperaturen ændres. Målingerne er opdelt efter, hvorvidt data er fra en periode, hvor temperaturen er stigende (opadgående) eller faldende (nedadgående). Forløbet viser, at der er en forskel på vanddampindholdets relation til temperaturen, afhængigt af, om der er skruet op eller ned for temperaturen i klimakabet. Mønsteret ligner et adsorption/desorption forløb præget af såkaldt hysteres. Det tyder på, at indvendige overflader i fugthætten vekselvirker med vanddampen. Det skal bemærkes, at fugthætterne med bitumen "genfinder" det samme niveau for vanddampindhold (ved hhv. 24 °C og 20 °C) efter ændringer i temperaturen.



FIGUR B4.6. Absolut vandindhold i fugthætter af glas (929 og 931), monteret med bitumen på glasplade i klimakammer med vekslende temperatur. a) vandampindhold og temperatur over tid, b) vanddampindhold og temperatur i overgangsperioder, hvor temperaturen er faldende ("nedad") eller stigende ("opad").

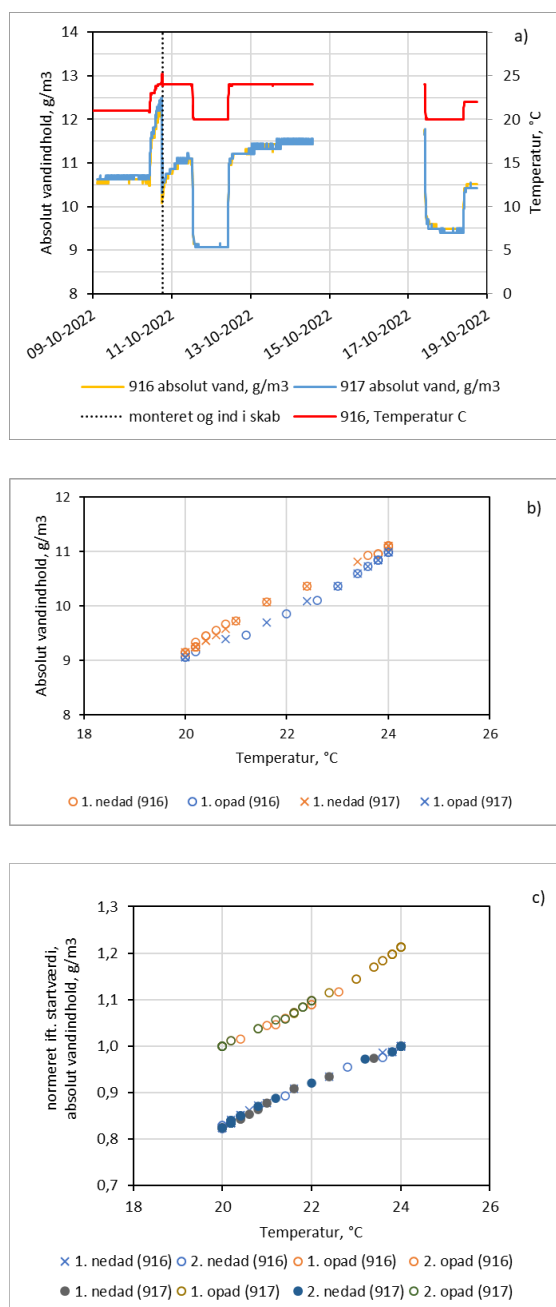
Figur B4.7a viser et tidsforløb for det absolutte vandindhold i to fugthætter (glas) før, under og efter montering med klæbemasse på glasplade og placering i klimakammeret. Temperaturen i den ene hætte er også vist på figuren. Forløbet er meget ens for de to fugthætter, men det absolutte vandindhold er systematisk forskudt, hvilket også er tilfældet inden fugthætterne monteres og placeres i klimaskabet. Der ses en tydelig påvirkning af det absolutte vandindhold, når temperaturen ændres, både når målerne håndteres lige inden de placeres i klimakammeret og efterfølgende i klimakammeret. I modsætning til fugthætterne monteret med bitumen (Figur B4.6a), "genfinder" disse fugthætter ikke helt samme vanddampsniveau efter den første ændring af temperaturen. Ses på sammenhængen mellem vanddampindhold og temperatur i perioder med faldende og stigende temperatur (figur B4.7b), følger det et lignende mønster som på figur B4.6b, men forskudt mellem den første og anden periode med temperaturfald efterfulgt af stigning. Det indikerer formentlig, at der også er en vekselvirkning mellem vanddamp og klæbemasse. Ved at normere resultaterne med den værdi for det absolutte vandindhold, der er udgangspunktet for perioden, hvor temperaturen ændres, kan det relative forløb i vanddampsændringerne følges. På figur B4.7c ses, at de relative forløb i ændringer i vanddampskoncentrationerne er ens, selvom de absolutte værdier er forskudt.



FIGUR B4.7. Absolut vandindhold i fugthætter af glas (925 og 930), monteret med klæbemasse på glasplade. a) tidsforløb, hvor det i begyndelsen er åbne fugthætter placeret i klimakammer, dernæst montering på glasplade og placering i klimakammer, hvor temperaturen ændres. b) vanddampindhold og temperatur i fugthætte (925) i første og anden periode, hvor temperaturen er faldende ("1. nedad" hhv. "2. nedad") eller stigende ("1. opad" hhv. "2. nedad"). c) vanddampindhold i fugthætte (925) normeret til udgangspunkt for perioden, hvor temperaturen ændres.

Forsøget er også lavet med fugthætter i en mindre størrelse og lignende reproducerbare resultater opnås. Figur B4.8 viser tidsforløb og temperaturafhængighed af absolut vandindhold i små fugthætter af glas, monteret med klæbemasse på glasplade og placeret i klimaskab. Der vekselvirker nogenlunde samme mængde vanddamp pr. arealenhed indvendig glasoverflade i de små fugthætter sammenholdt med de almindelige. Det antyder, at selve sensoren ikke vekselvirker væsentligt med systemet. Sensoren består af plast og elektronik, og det er samme sensor i begge størrelser fugthætter. Det skal bemærkes, at nærværende forsøg er lavet på en glasoverflade, mens fugthætten i praksis vil sidde på en overflade, der

afgiver vanddamp. Det betyder mindre overflade, der kan vekselvirke og dermed bliver effekten mindre.



Figur B4.8. Absolut vandindhold i små fugthætter af glas (916 og 917), monteret med klæbemasse på glasplade. a) tidsforløb, hvor det i begyndelsen er åbne fugthætter placeret i klimakammer, dernæst montering på glasplade og placering i klimakammer, hvor temperaturen ændres. b) vanddampindhold og temperatur i fugthætte (916 og 917) i første og anden periode, hvor temperaturen er faldende ("1. nedad" hhv. "2. nedad") eller stigende ("1. opad" hhv. "2. nedad"). c) vanddampindhold i fugthætte (916 og 917) normeret til udgangspunkt for perioden, hvor temperaturen ændres.

D. 11.10. ved 12-tiden ændres temperaturen i klimaskabet fra 24 °C til 20 °C (fald) og d. 12.1. ved 10-tiden ændres temperaturen fra 20 °C tilbage til 24 °C (stigning). Ændringen i absolut vanddampindhold kan udregnes for perioderne, hvor temperaturen ændres. Tabel B8 viser ændringen i vanddampindhold i fugthætterne i de to perioder, hhv. perioden for fald og stigning i temperaturen. Ændringen er angivet pr. arealenhed af indvendig glasoverflade i fugthætter monteret med hhv. bitumen (931 og 929), klæbemasse (930 og 925) og lille

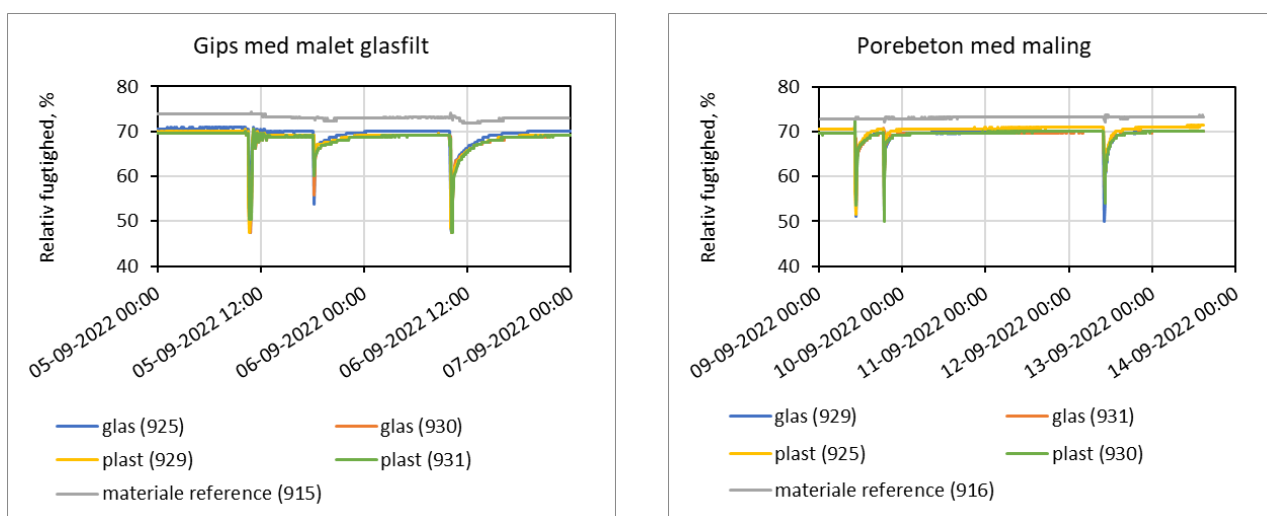
petriskål med klæbemasse (916 og 917). Der ses meget ensartede værdier for fald og stigning for de enkelte typer. Ses på dobbeltbestemmelserne viser de almindelige petriskåle med klæbemasse en mindre afvigelse. Ses på denne spredning og spredningen mellem almindelig og lille petriskål vurderes det, at der ikke er væsentlige forskelle. Det betyder, at selve sensoren, der består af plast og elektronik og er den samme i begge størrelser fugthætter, ikke har en væsentlig indflydelse på absorptions/desorptionsfænomenet.

Tabel B4.2 Ændringen i vanddampindhold i fugthætterne i perioder med fald hhv. stigning i temperatur i klimaskabet. Ændringen er angivet pr. arealenhed af glasoverfalden indvendig i fugthætter monteret med hhv. bitumen (931 og 929), almindelig petriskål med klæbemasse (930 og 925) og lille petriskål med klæbemasse (916 og 917).

| nr | type | fald | stigning |
|-----|------------|--------------------|----------|
| | | µg/cm ² | |
| 931 | bitumen | 1,58 | 1,75 |
| 929 | bitumen | 1,52 | 1,52 |
| 930 | klæb | 1,15 | 1,19 |
| 925 | klæb | 1,25 | 1,30 |
| 916 | klæb lille | 1,23 | 1,22 |
| 917 | klæb lille | 1,23 | 1,22 |

Gips og porebeton

Fugthætterne af plast tillader en vis vanddampsdiffusion, og det er undersøgt, om effekten kan negligeres i de oprindelige laboratorieforsøg. Figur B4.9 viser tre forsøg, hvor konditionerede plader af hhv. gips og porebeton (21 °C og 75 % RF) er taget ud af klimaskabet, monteret med fugthætte af hhv. plast og glas og derefter sat tilbage i klimaskabet igen. Figuren viser endvidere målinger fra referencematerialet (gipsplade hhv. porebetonplade med fastmonteret fugthætte af glas), der også tages ud og ind i klimaskabet. Målingerne med plast- og glasfugthætte viser meget ens forløb for begge materialer. Det bekræfter, at afgivelsen af vanddamp fra materialeoverfladen dominerer forløbet, og at vanddampsdiffusionen gennem plastmaterialet derfor har ringe betydning.

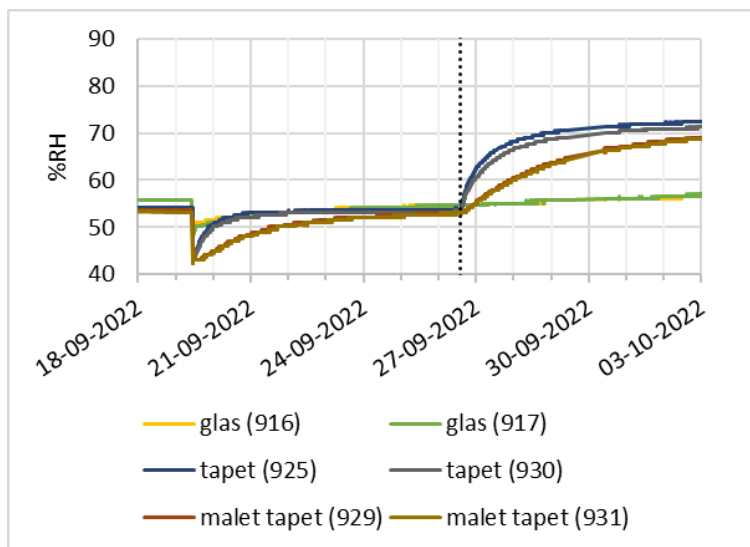


FIGUR B4.9. Målinger med fugthætter af hhv. glas og plast på konditionerede materialeplader (21 °C og 75 % RF) af gips og porebeton. Målinger med glasfugthætte (materiale reference) fastmonteret på materialeplade er også vist. Tallene efter materialetype af glashætte er ID på de anvendte fugtmålere

Referencemålerne viser, at håndteringen ikke påvirker pladen i nævneværdig grad. Selve målerne på begge referencematerialer ligger systematisk højere end de øvrige målere, hvilket ses allerede inden første forsøg, hvor de øvrige målere ligger åbent i klimaskabet.

Tapet

Figur B4.10 viser målinger med fugthætter monteret på glasplader med og uden tapet, og hvor tapetet er malet. Der er anvendt fugthætter af glas, da vanddampsmodstanden i tapetet ikke kendes, og dermed potentielt kan være så stor, at vanddampsmodstanden i en fugthætte af plast ikke er ubetydelig. Fugthætterne er monteret i laboratoriet, hvor pladerne med tapet har ligget i længere tid (uger). Derefter lægges pladerne i klimakammer ved 21 °C og 50 % RF og efter 7 dage ændres til 75 % RF (markeret på figuren).

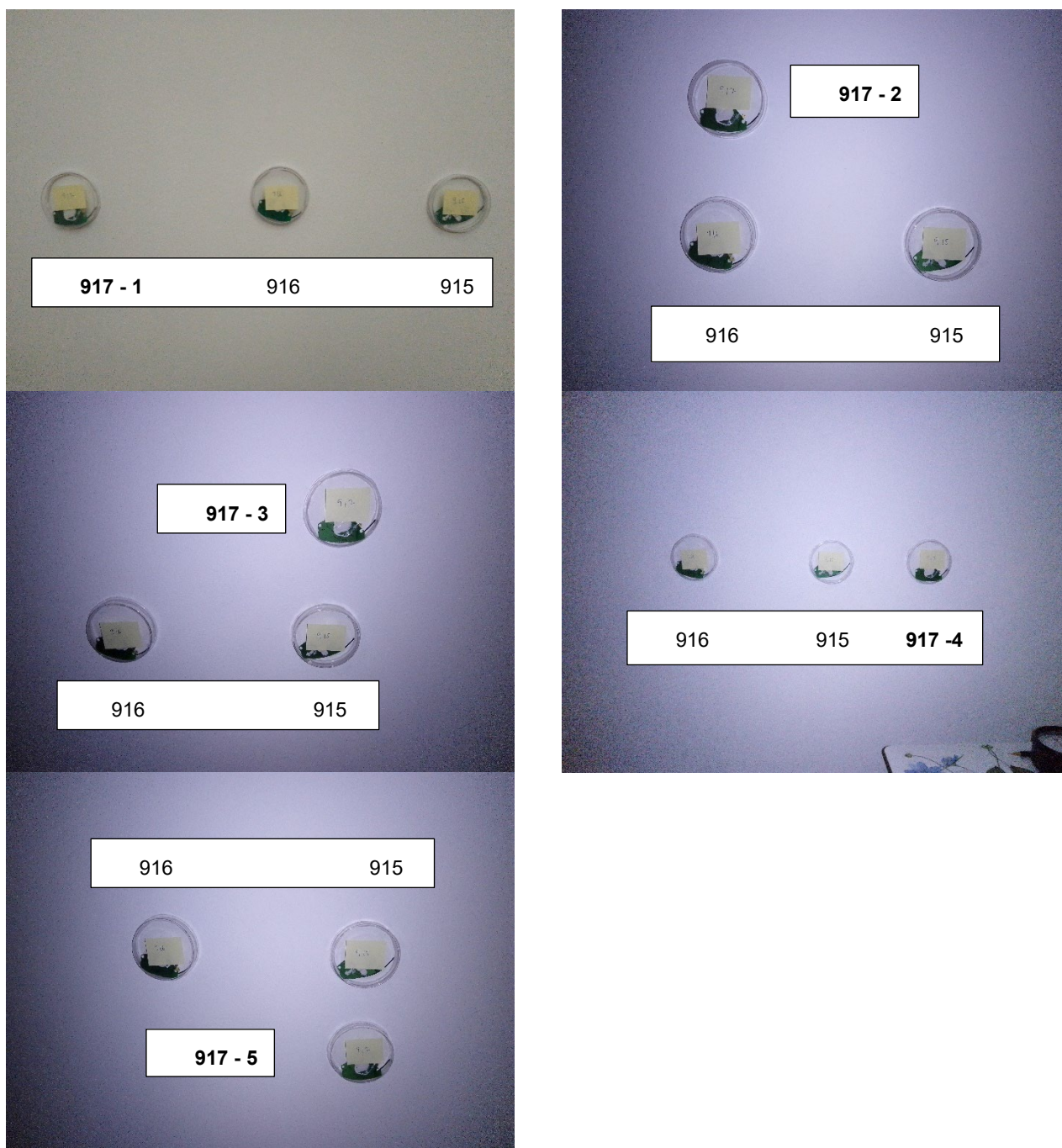


FIGUR B4.10. Målinger med fugthætter af glas på glasplade, glasplade med tapet og glasplade med malet tapet. Ændring fra 50 % RF til 75 % RF i klimakammeret d. 26.09. er markeret. Tallene efter materialetype af glashætte er ID på de anvendte fugtmålere.

Efter indsættelsen i klimakammeret ved 50 % RF viser de to fugthætter monteret direkte på glas meget ens og er svagt stigende hen over hele måleperioden i lighed med andre målinger på glas (Figur B4.3 og figur B4.4). Målingerne på tapet uden maling stiger til ligevægt (50 % RF) med omgivelserne i løbet af ca. 1½ dag, og dermed er der en transport af vanddamp gennem tapetet. Der ses også en stigning for tapetet med maling, men det tager længere tid før ligevægten nås. Efter de 7 dage ved 50 % RF ændres klimakammerets indstilling og den % RF i kammeret øges til 75 % RF og der ses et stigende forløb for både tapet og tapet med maling, dog over flere dage. Tapetet uden maling viser klart en større transport af vanddamp end det malede tapet, der har en mindre markant stigning hen mod en ligevægt. Det tyder på, at der er en vis diffusionsmodstand mod vanddamp i malingen.

Bilag 5 Foto af opsætning bolig

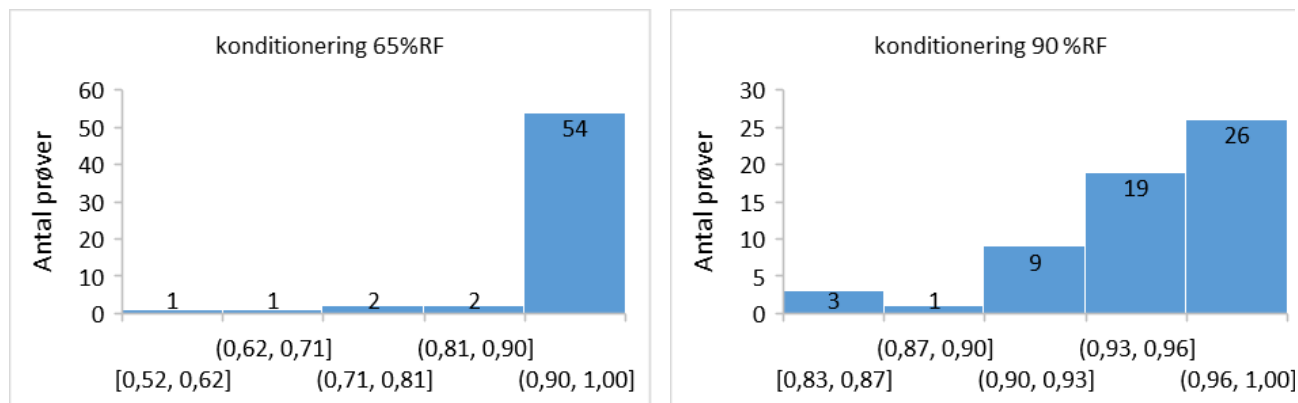
Nogle fugthætter har siddet på samme position på væggen over længere tid, mens andre er flyttet dagligt eller med få dages mellemrum. Figur 5 viser skitse af opsætning på vestvendt trappevæg. Fugtmåler 917 er den mobile fugthætte, der flytter position. Der er minimum 10-20 cm's afstand mellem to fugthætter. Figur B5.1 viser foto af fugthætte, hvor 917 er placeret på forskellige positioner.



FIGUR B5.1 Foto af fugthætte 915, 916 og 917, hvor 917 flyttes mellem forskellige positioner, mens 915 og 916 forbliver på samme position.

Bilag 6. Kurvetilpasning og forklaringsgrad

Forklaringsgraden, R^2 , er udregnet ved kurvetilpasningen (ligning 2) ved brug af data for de første 700 minutter. Figur B6.1 viser antal af udregnede R^2 værdier for alle forsøg ved konditionering ved hhv. 65 % RF og 90 % RF, grupperet efter størrelse. Der er 60 forsøg ved 65 % RF, hvoraf de 54 har en kurvetilpasning med en R^2 værdi på 0,9 eller højere (svarende til 90 % af forsøgene). Der er 58 forsøg ved 90 % RF, hvoraf de 54 har en R^2 værdi højere end 0,9 (svarende til 93% af forsøgene).



FIGUR B6.1 Antal af udregnede R^2 værdier for de tilpassede kurver for alle forsøg ved konditionering ved hhv. 65 % RF og 90 % RF, grupperet efter størrelse.

Bilag 7. Tabelværdier t95 og emission

Nedenfor er præsenteret værdier for middelværdi og spredning for en række parametre bestemt ud fra de oprindelige laboratorieforsøg, hvor forskellige materialetyper og testet ved konditionering ved hhv. 65 % RF og 90 % RF.

Tid til ligevægt, t95

Tabel B7.1 viser middelværdi og RSD (%) for udregnede t95 værdier for de forskellige prøveemner og konditioneringer.

TABEL B7.1 Middelværdi og RSD (%) af udregnet t95 (min) for de to konditioneringer og hhv. behandlede og ubehandlede prøver.

| 65 % RF | | middel | RSD % | | | middel | RSD % |
|-----------|-----------|--------|-------|------------|-----|--------|-------|
| Beton | behandlet | 347 | 16 | ubehandlet | 416 | 8 | |
| Gips | | 73 | 20 | | 37 | 26 | |
| Porebeton | | 216 | 18 | | 199 | 4 | |
| Tegl | | 212 | 38 | | 207 | 8 | |
| 90 % RF | | middel | RSD % | | | middel | RSD % |
| Beton | behandlet | 211 | 35 | ubehandlet | 267 | 54 | |
| Gips | | 79 | 16 | | 65 | 22 | |
| Porebeton | | 147 | 28 | | 101 | 66 | |
| Tegl | | 134 | 50 | | 166 | 58 | |

Emission af vanddamp

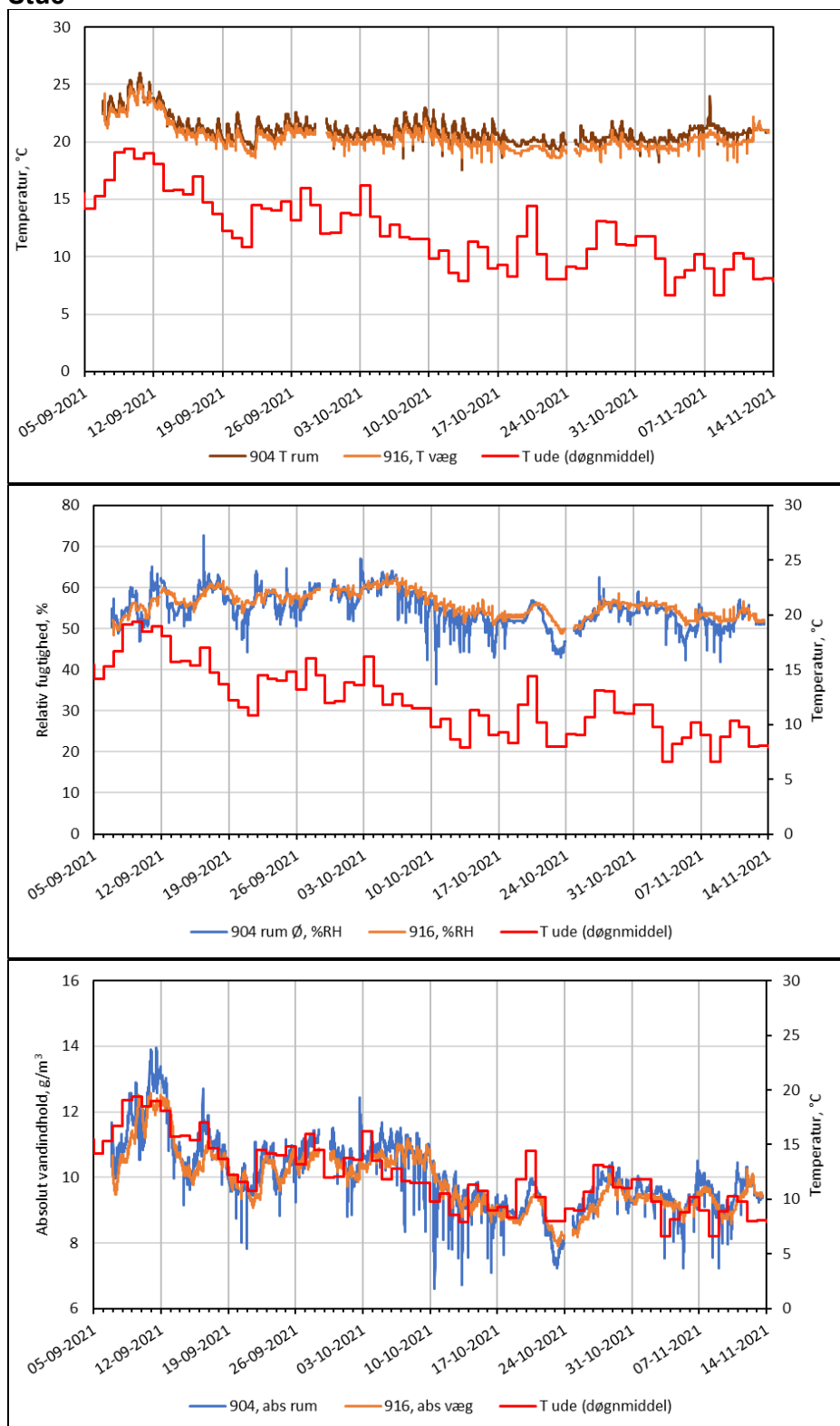
Tabel B7.2 viser middelværdi og RSD (%) for udregnede emissioner af vanddamp for de forskellige prøveemner og konditioneringer.

TABEL B7.2. Middelværdi og RSD (%) af udregnet emission (mg H₂O/(m²*h)) for de to konditioneringer og hhv. behandlede og ubehandlede prøver.

| 65 % RF | | middel | RSD % | | | middel | RSD % |
|-----------|-----------|--------|-------|------------|-----|--------|-------|
| Beton | behandlet | 8,9 | 19 | ubehandlet | 33 | 27 | |
| Gips | | 36 | 22 | | 243 | 30 | |
| Porebeton | | 12 | 23 | | 53 | 22 | |
| Tegl | | 13 | 20 | | 54 | 14 | |
| 90 % RF | | middel | RSD % | | | middel | RSD % |
| Beton | behandlet | 23 | 20 | ubehandlet | 85 | 20 | |
| Gips | | 65 | 38 | | 207 | 51 | |
| Porebeton | | 42 | 25 | | 254 | 56 | |
| Tegl | | 52 | 55 | | 135 | 37 | |

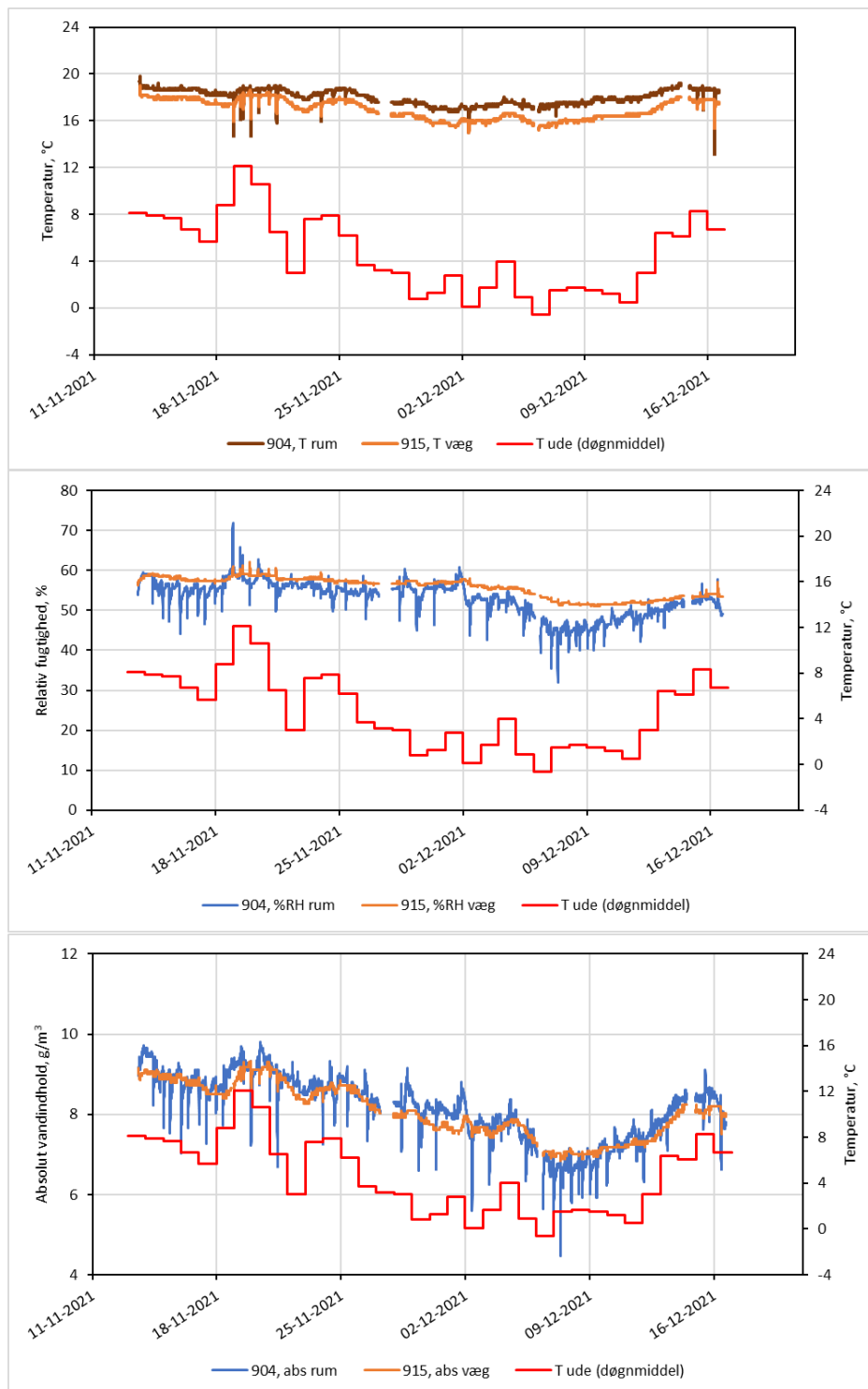
Bilag 8. T og % RF i stue og trapperum

Stue



FIGUR B8.1. Målinger fra stue. 904 er rumluft, 916 er fastmonteret på væg. Døgnmiddelværdi ude er data fra DMI (Frederiksberg kommune). Øverst er temperaturen for rumluft (904) og fugthætte på væg (916) samt udetemperatur. I midten relativ fugtighed for rumluft (904) og fugthætte på væg (916) samt udetemperatur. Nederst er absolut vandindhold i rumluft (904) og fugthætte på væg (916) samt udetemperatur.

Trappe



FIGUR B8.2. Målinger fra trapperum. 904 er rumluft, 915 er fastmonteret på væg. Døgnmiddelværdi ude er data fra DMI (Frederiksberg kommune). Øverst er temperaturen for rumluft (904) og fugthætte på væg (915) samt udetemperatur. I midten er relativ fugtighed for rumluft (904) og fugthætte på væg (915) samt udetemperatur. Nederst er absolut vandindhold i rumluft (904) og fugthætte på væg (915) samt udetemperatur.

Videreudvikling af måleinstrument – fugthætte

Den udviklede målemetode, der beskrives i denne tekniske rapport, vil kunne bruges til at undersøge, om der et givent sted er tilstrækkelig fugt til stede til, at der er risiko for at opstå skimmelvækst. Metoden har potentiale til anvendelse i forbindelse med skimmelvurderinger, hvor svaret vil foreligge relativt hurtigt og billigt.

Rapporten omhandler karakterisering af et måleinstrument, en såkaldt "fugthætte", der kan anvendes til at måle den relative luftfugtighed lige over en materialeoverflade. Formålet med projektet har været at teste og videreudvikle på en prototype af denne fugthætte. Der er analyseret data fra målinger i laboratoriet og fugthætten er også efterprøvet i flere boliger. En videreudviklet prototype er anvendt i en række cases i praksis. Laboratoriemalingerne viste, at metoden er egnet til målinger på opfugtede byggematerialer. Den gav et mål for tid til ligevægt, dvs. hvor længe fugthætten skal sidde på forskellige typer byggematerialer, før den når et niveau, hvor målingen er et udtryk for den relative fugtighed i overfladen af materialet. Metoden var også egnet til målingerne i boliger og viste her flere steder, at der ikke var opfugtede materialer, men derimod en grad af ligevægt mellem indeluft og ydervæg. Måleresultater og sammenhængen til vurdering af risiko for skimmel er nærmere beskrevet. Med enkelte justeringer vurderes det videreudviklede instrument at have flere anvendelsesmuligheder.