



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Afprøvning af dampspærresamlinger

før og efter ældning

Møller, Eva B.

Creative Commons License
Ikke-specificeret

Publication date:
2020

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Møller, E. B. (2020). *Afprøvning af dampspærresamlinger: før og efter ældning*. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. SBI Nr. 2020:10 <https://sbi.dk/Pages/Afproevning-af-dampspaerresamlinger.aspx>

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.

SBI 2020:10

Afprøvning af dampspærresamlinger

- før og efter ældning





AFPRØVNING AF DAMPSPÆRRESAMLINGER

- før og efter ældning

Eva B. Møller

SBI 2020:10
BUILD, Aalborg Universitet København
2020

TITEL	Afprøvning af dampspærresamlinger
UNDERTITEL	- før og efter ældning
SERIETITEL	SBi 2020:10
UDGIVELSEÅR	2020
UDGIVET DIGITALT	Juni 2020
FORFATTER	Eva B. Møller
SPROG	Dansk
SIDETAL	43
LITTERATURHENVISNINGER	Side 36
EMNEORD	Dampspærre, samlinger, ældning, prøvning
ISBN	978-87-563-1952-2
TEGNINGER	Eva B. Møller
FOTO	Eva B. Møller, Haseeb Wahedi og Simon Jørgensen
OMSLAGSFOTO	Eva B. Møller
UDGIVER	Institut for Byggeri, By og Miljø, BUILD, Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post build@build.aau.dk www.build.aau.dk

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

INDHOLD

FORORD	4
1 SAMMENFATNING	4
2 BAGGRUND	6
3 MATERIALER OG AFPRØVNINGSMETODER	8
3.1 Valg af materialer	8
3.2 Ældningsmetode	9
3.3 Aftrækning	10
3.4 Forskydning	12
3.5 Diffusionsmodstand	13
3.6 Lufttæthed	14
3.7 Overfladespænding	16
4 RESULTATER	18
4.1 Aftrækning	18
4.2 Forskydning	20
4.3 Diffusionsmodstand	21
4.4 Lufttæthed	21
4.5 Overfladespænding	23
5 DISKUSSION	26
5.1 Opfyldelse af DUKO's krav	26
5.2 Betydning af ældning	27
5.3 Prøvningsmetodernes anvendelighed	29
6 KONKLUSION	34
7 LITTERATUR	36
8 BILAG	38
8.1 Beskrivelse og tegning af afprøvningsudstyr til lufttæthedsprøvning	38
8.2 Beregning af diffusionsmodstand	42

FORORD

For at en dampspærre skal være effektiv, er det nødvendigt, ikke alene selve dampspærrematerialet er tæt, men at også samlingerne er tætte og forbliver det over tid. I denne rapport afrapporteres resultaterne af projektet "Ydeevne af dampspærresystemer", der netop fokuserer på dampspærresamlingers ydeevne over tid. Projektet er finansieret af Byggeskade-fonden og BUILD (tidligere Statens Byggeforskningsinstitut, SBI) ved Aalborg Universitet (AAU) og lægger sig op ad en del af de krav, der stilles af Dampspærre- og Undertagsklassifikationsordning (DUKO) for at klassificere dampspærresystemer.

Selvom DUKO har opstillet klassifikationskravene i 2014, er der fortsat manglende erfaring med, hvordan kravene opfyldes, da der hidtil ikke har været særlig stor interesse for at få dampspærresystemer klassificeret. Projekt har til formål, dels at høste erfaring med kravene, og dels at øge interessen blandt leverandører af dampspærresystemer for at begynde en klassificeringsproces.

Projektet indeholder afprøvning efter en del af DUKO's klassifikationskrav, et litteraturstudium og udvikling af en metode til afprøvning af lufttæthed på en mindre mock-up før og efter ældning.

De afprøvede dampspærresystemer opfylder de DUKO's klassifikationskrav, der er blevet undersøgt, men rapporten leverer også input til en drøftelse af egnetheden af de eksisterende prøvningsmetoder for dampspærresamlinger.

Vi vil gerne takke alle som har bidraget til projektet. En særlig tak rettes til Torben Valdbjørn Rasmussen for intern kvalitetskontrol af rapporten.

Institut for Byggeri, By og Miljø, BUILD, Aalborg Universitet
Sektion for Byggeteknik og Proces
Juni 2020

Ruut Peuhkuri
Forskningschef, sektionsleder



1

SAMMENFATNING

1 SAMMENFATNING

Tæthed af dampspærresystemer omfatter ikke alene tæthed af selve dampspærrematerialet, men også af samlinger. Projektet "Ydeevne af dampspærresystemer", der er finansieret af Byggeskadefonden og BUILD (tidligere Statens Byggeforskningsinstitut SBi) ved Aalborg Universitet (AAU), omhandler især samlinger og disses ydeevne før og efter ældning. I projektet indgår et litteraturstudium, der benyttes til at vælge de mest velegnede ældnings- og afprøvningsmetoder og sammenholde dem med kravspecifikationer givet af Dampspærre- og Undertagsklassifikationsordning (DUKO).

Rapporten indeholder således:

- Prøvninger af aftræknings/peelstyrke af samlinger mellem membraner og porebeton før og efter ældning, samt mellem membraner for ikke ældede prøver. Udført efter DS/EN 12316-2
- Prøvninger af forskydningsstyrke ved membran/membran samlinger før og efter ældning. Udført efter DS/EN 12317-2
- Prøvning af ændring af vanddampdiffusionstæthed (Z-værdi) af samlinger som følge af ældning udført efter DS/EN 1931 med supplement af DS/EN 12572
- Prøvning af lufttæthed ved en ny metode, der benytter mindre prøveemner end ved DUKO's lufttæthedsprøvning, hvilket betyder, at afprøvningsmetoden ved den til dette projekt udviklede metode kan udføres med såvel ikke ældede som ældede prøveemner.
- Diskussion af prøvningsmetodernes egnethed.

Ældningen af prøveemnerne er foretaget i klimakammer i 168 dage ved 70 °C, hvor den første halvdel af perioden har en relativ luftfugtighed, RF på 90 %, og hvor der ikke sker nogen befugtning i den sidste halvdel af perioden; svarende til DUKO ældningsmetode 2.

Afprøvningsmetoden er foretaget på ni forskellige dampspærresystemer, som blev udvalgt ved, at de mest sælgende dampspærreleverandører i Danmark fik tilbudt at få undersøgt et dampspærresystem hver. Dampspærreleverandørerne har selv valgt, hvilket system i deres portefølje de har ønsket at deltage med. I alle tilfælde blev der valgt en banevare som dampspærre og tape som samlingsmateriale – i nogle tilfælde kombineret med primer ved samling mod et andet materiale end en membran.

Resultatet af undersøgelsen viser, at alle ni dampspærresystemer opfylder DUKO's krav på de parametre, de er blevet undersøgt for.

Især for ældede prøver viser det sig, at bruddet ved aftrækning og forskydning sker mellem klæberen og tapens bærelag. Vedhæftningen mod membran eller porebeton er således ikke det svageste led.

I en række tilfælde er egenskaberne, der blev prøvet med standardmetoder, forbedret ved ældning. Imidlertid gjaldt dette ikke for prøvning af lufttæthed, her øgedes den nødvendige luftstrøm for at opretholde et tryk på 50 Pa i et hulrum tætnet med dampspærresystemet med 2-4 gange efter ældning. Lufttæthedsprøvningen er ikke afprøvet i andre projekter og der mangler derfor erfaring for, hvad de enkelte målinger af lufttætheden betyder i praksis. Lufttæthedsprøvningen viser konsekvent fald i lufttæthed som følge af ældning, mens de andre parametre ikke har samme tendens. Alene det indikerer, at der bør forskes yderligere i om de anvendte klassifikationskrav bør revideres, således som DUKO lægger op til, da man også her savner erfaring.

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 page. In the center, there is a solid dark blue circle containing the white number '2'. Below this circle, the word 'BAGGRUND' is written in a bold, dark blue, sans-serif font.

2

BAGGRUND

2 BAGGRUND

Når der er behov for en dampspærre, er det ikke kun selve dampspærrens egenskaber, der er vigtige; det er lige så væsentligt at kende samlingernes egenskaber, da lufttætheder i samlinger kan betyde, at dampspærren ikke længere opfylder sit formål. Selvom dampspærre og midler til samling af dampspærre sælges separat, har de fleste dampspærreproducenter udviklet systemer bestående af såvel selve dampspærren som klæber, taper eller lignende til at samle dampspærren. Ved at bruge sådanne systemer, må det forventes, at materialerne er forenelige med hinanden også over tid.

De fleste materialer ændrer egenskaber med tiden, og da dampspærre er vanskelige at udskifte i et byggeri, er det vigtigt at sikre, at såvel dampspærren som samlingerne af denne har en lang levetid. Det vil sige, at den ikke undergår betydelige ændringer i egenskaber inden for en lang årrække. Det kan diskuteres, hvor lang denne årrække bør være, men levetiden af bygningsdele skal tilpasses hinanden, så levetiden af en vanskelig udskiftelig bygningsdel, som fx en dampspærre, ikke er væsentlig ringere end de dele, der skal fjernes for at udskifte den udtjente bygningsdel. I en bygning vil der ofte være en forventning om, at der går 30-50 år mellem renoveringer, der er så grundige, at dampspærren berøres.

Oftest fungerer dampspærre både som luft- og dampspærre og skal således både stoppe konvektion og diffusion. Hvor dampspærren også skal sikre lufttætheden er det vigtigt, at samlingerne er udført tilstrækkeligt lufttætte og forbliver lufttætte, dels fordi konvektion vil øge energitabet, dels fordi der gennem en ganske lille sprække kan flyttes væsentlig større mængder fugt ved konvektion end ved diffusion gennem et lufttæt, men ikke damptæt loft eller væg. Lufttæthed af samlinger er derfor vigtig, både når et hus bygges, og lufttætheden efterprøves af energihensyn og senere for at bevare de gode egenskaber.

Der eksisterer en frivillig klassifikationsordning for dampspærresystemer. Dampspærre- og Undertagsklassifikationsordning (DUKO). For at komme ind under denne ordning, skal såvel selve dampspærren som samlingerne opfylde en række krav. Der er ligeledes krav til, hvordan det dokumenteres. Hidtil har der ikke været stor interesse for at blive certificeret, sandsynligvis fordi alle venter på hinanden. I dette projekt er der afprøvet flere af de egenskaber en leverandør skal have afprøvet for at kunne få sit system klassificeret i DUKO. Den enkelte leverandør kan således anvende resultaterne i forbindelse med en klassificering, da de får tilsendt prøvningsresultaterne for deres eget produkt. Udover standardiserede prøvningsmetoder er der også udført en lufttæthedsafprøvning, der ikke er standardiseret, men som har til hensigt at afdække nogle af de forhold, der undersøges i en lufttæthedsafprøvning, der er beskrevet i DUKO-klassificeringen. Den metode, der er anvendt i dette projekt kan i modsætning til DUKO-metoden udsættes for accelereret ældning. Den her anvendte metode erstatter dog ikke DUKO's lufttæthedstest.

I rapporten benyttes betegnelsen "frisk" om prøveemner der ikke er blevet ældet, denne betegnelse er valgt frem for "ikke-ældet", da betegnelsen "frisk" anvendes i DUKO's klassificeringskrav.

I denne rapport er de enkelte dampspærresystemer anonymiseret, da hensigten med denne rapport er at vurdere ydeevnen af dampspærresystemer, der er på markedet og sammenholde disse med hinanden, uden at fremhæve den ene leverandør frem for den anden.

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.

3

MATERIALER OG AFPRØVNINGS- METODER

3 MATERIALER OG AFPRØVNINGS-METODER

Dampspærresamlingerne er afprøvet på forskellig vis, men fælles for prøvningerne er, at alle de af leverandørerne leverede dampspærresystemer er afprøvet på samme måde og ældet efter samme metode.

3.1 Valg af materialer

3.1.1 Valg af leverandører

For at udvælge materialer til prøvning blev tolv leverandører/producenter af dampspærresystemer kontaktet. Udvalget af leverandører skete ud fra almindeligt branchekendskab om, hvilke firmaer der har en betydende markedsandel af de dampspærresystemer, der sælges på det danske marked. Det var hensigten at give tilbuddet om deltagelse til en bred skare, også selvom det af praktiske årsager ikke ville være muligt, at alle kunne få et dampspærresystem med i prøvningen. Imidlertid var der kun otte leverandører, der vendte tilbage med et system de ønskede at bidrage med. En enkelt leverandør leverede to systemer, så der i alt kunne afprøves ni dampspærresystemer.

3.1.2 Valgte materialer

Det var helt op til leverandørerne at vælge dampspærresystem, hvilket betød at der både deltog systemer, der var udlagt som egentlige dampspærre (høj diffusionsmodstand) og andre der var udlagt som dampbremsere (lav diffusionsmodstand). Alle produkter var banevarer (membraner), men grundmaterialet varierede. Oplysninger om membraner er samlet i tabel 1. Der er blevet anvendt de til membraner hørende taper. Til brug for lufttæthedsafprøvningen er der for alle systemer endvidere anvendt primer og manchetter, der ligeledes hører til det samlede system. Ingen leverede færdige hjørner.

TABEL 1. Oplysninger om de undersøgte membraner, sådan som de fremgår af leverandørens produktbeskrivelse

Betegnelse	Materiale	Tykkelse
A	PE	0,11 mm
B	PE multilag	0,20 mm
C	LDPE Polyethylen	0,15 mm
D	PE	0,12 mm
E	PE Nyvare	0,15 mm
F	3-lags med stofforstærkning	Uoplyst
G	3 lag: PE, PP (armering), PP (fleece)	0,2 mm
H	PP Nonwoven + PP-folie	Uoplyst
I	PP-fiberstof med PP-coating	0,2 mm

PE betegner Polyethylen, PP betegner Polypropylen

Leverandørerne blev bedt om at levere følgende:

- 1 rulle dampspærrefolie.
- Tilhørende tape eller klæber, ca. 50 m.
- Evt. hjørner eller manchetter såfremt systemet ønskes testet med disse.

- Produktbeskrivelse på systemet fx datablade.
- Monteringsvejledning.

3.2 Ældningsmetode

3.2.1 Ældning af dampspærresystemer

I kravene til dampspærresystemer under DUKO [www.duko.dk] er der beskrevet forskellige måder at udføre accelereret ældning på, metoderne fremgår af tabel 2. I dette projekt er metode 2 valgt på baggrund af undersøgelser af, hvad der er relevant for ældning af hhv. dampspærremembraner og klæbede samlinger.

TABEL 2. Metoder for accelereret ældning som beskrevet i kravene til dampspærresystemer under DUKO [www.DUKO.dk]. Metode 2 er anvendt i dette projekt.

Betegnelse	Ældningsbetingelser
Metode 1	168 døgn i ventileret ovn ved 90 °C
Metode 2	84 døgn i klimaskab ved 70 °C og 90 % RF efterfulgt af 84 døgn i ventileret ovn ved 70 °C

Der findes mange måder at ælde bygningsmaterialer på, Jelle (2012) beskriver en række påvirkninger bygningsmaterialer udsættes for i brug og dermed også, hvilke parametre det kan være relevante at inddrage i forbindelse med en accelereret ældning. I almindelighed ligger dampspærresystemer imidlertid relativt beskyttet, derfor er der en del af de traditionelle ældningsmetoder, der er irrelevante, eksempler herpå er regn, frost og UV-lys, som alle er mekanismer, der typisk benyttes ved accelereret ældning.

3.2.2 Ældning af membraner

Nedbrydning af membraner, der ligger så beskyttet som dampspærre, vil snarere være en kemisk nedbrydning end en mekanisk nedbrydning. Arrhenius's lov siger, at kemiske reaktioners hastighed stiger med temperaturen (Jelle, 2012), og alene derfor vil det at hæve temperaturen være med til at øge nedbrydningen. En for høj temperatur kan dog betyde, at der optræder nedbrydningsmekanismer, der ikke ville forekomme naturligt, da de først sker ved en høj temperatur, som måske aldrig forekommer i virkeligheden med den tilsigtede anvendelse. Jelle (2012) skriver, at de fleste accelererede ældninger af polymerer sker ved temperaturer mellem 65 °C og 70 °C. De fleste dampspærremembraner er baseret på polymerer, og mange polymerer nedbrydes ved tilstedeværelsen af vanddamp (Allara, 1975), Metode 2, som er beskrevet i tabel 2, synes derfor at være en rimelig måde at udføre ældninger af dampspærremembraner på. Temperaturen på 70 °C synes at være på det rette niveau i forhold til metode 1, hvor temperaturen er 90 °C, samtidig tilføres der fugt i metode 2, hvilket ikke er tilfældet for metode 1.

3.2.3 Ældning af klæbede samlinger

I modsætning til membraner, hvor det er grundmaterialet, der ældes, vil det væsentlige for ældning af klæbede samlinger være, om klæbeevnen bevares. Der er imidlertid meget lidt litteratur om, hvordan der foretages accelereret ældning af klæbede samlinger. Der findes en amerikansk standard ASTM D 3611 (ASTM, 2011). Her testes en rulle tape ved, at rullen lægges i klimakammer ved 65 °C og 80 % RF i fire dage. Dette vurderes at svare til to års naturlig ældning på en hylde i en butik. På tilsvarende vis beskriver Santas (1989), hvordan fire dages ældning ved 98 °C og 80 % RF af pakketape, svarer til to års ældning på hylden. Eksemplerne illustrerer, hvor svært det er at oversætte accelereret ældning til, hvad dette

svarer til i naturlig ældning. Eftersom temperatursættet er meget forskelligt, ville man forvente, at den ene ældning dækkede et længere tidsrum end den anden. Men Santas (1989) fremhæver også, at en sådan omsætning er meget svær, da det afhænger af, hvilken egenskab man afprøver. Både ASTM (2011) og Santas (1989) har mest interesseret sig for, hvor længe en rulle tape, eksempelvis plaster, kan holde sig i butikken. Metoderne er ikke testet på prøver, der trykkes sammen. Forklaringen er, at fokus ikke er på byggematerialer, hvor langtidsvirkningen er væsentlig, men på plastre og pakketape, der kun forventes at skulle klæbe i kort tid i forhold til lagringstiden. I disse undersøgelser har det derfor været mere vigtigt, hvor længe en rulle tape kan ligge på hylden, altså hvad sidste salgsdato bør være.

I modsætning hertil er der en tysk standard DIN 4108-11 (2016) under udarbejdelse. Denne skal netop opstille krav og afprøvningsmetoder til vurderingen af langtidsklæbeevnen af samlinger af membraner, der skal sikre lufttæthed i bygninger. Den accelererede ældningsmetode sker ved 65 °C og 80 % RF som i ASTM-metoden, men i 120 dage. Hvor længe denne ældningsmetode skal svare til i naturlig ældning, fremgår ikke af standarden. Der findes imidlertid tyske retningslinjer for holdbarhed (DIBt, 2005), som beskriver den brugstid, der forventes for byggeprodukter, der behandles i fx europæiske normer. For produkter, der kun vanskeligt kan repareres eller udskiftes, anses den normale brugstid for at være 25 år. Det må derfor forventes, at den accelererede ældning, der beskrives i DIN 4108-11 (2016), må svare til mindst 25 års almindeligt brug. Det skal dog bemærkes, at standarden stadig er under udarbejdelse. Det vides ikke, om der kommer ændringer til metoden, men foreløbig er høringsudgaven det bedste bud på en egentlig standard på området.

Det vurderes, at DUKO's ældningsmetode 2, der strækker sig over 168 dage ved 70 °C, hvor den første halvdel af perioden har en relativ luftfugtighed på 90 % RF, er mindst lige så ældende som DIN-metoden på 120 dage ved 65 °C og 80 % RF i hele perioden.

Da de væsentligste ældningsparametre for såvel membraner som klæbede samlinger synes at være temperatur og relativ luftfugtighed, vurderes DUKO's ældningsmetode 2 at være egnet som ældningsmetode for det samlede dampspærresystem.

3.3 Aftrækning

3.3.1 Aftrækning generelt

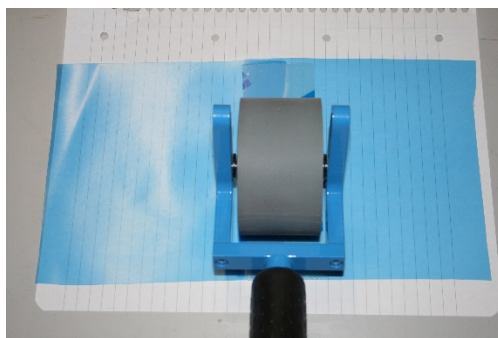
Måling af aftrækningsstyrke eller peelstyrke skete i henhold til DS/EN 12316-2 (DS, 2000) med mindre modifikationer. Der måltes en 180° peelstyrke. Prøvningen udførtes både på membraner, der er klæbet til porebeton og membraner klæbet på membraner. Begge typer afprøvninger blev udført med friske prøver, samlingen membran mod porebeton blev også afprøvet med ældede prøver. Prøverne blev placeret i en trækprøvningsmaskine.

Helt generelt for afprøvningerne gjaldt det, at:

- Alle samlinger blev klæbet ved at rulle en 2 kg specialruller over samlingerne. På denne måde blev det sikret, at trykket var ens og ikke afhængig af, hvor hårdt der blev trykket på tapen, da denne blev anbragt, se Figur 1. Specialrulleren opfyldte de krav, der er angivet i udkast til DIN 4108-11 (DIN, 2016). I DS/EN 12316-2 (DS, 2000) er der ikke omtalt noget specifikt tryk, der skal anvendes, men blot at det skal gøres som ved almindelig montering. Da der ved almindelig montering anvendes en håndholdt flad plastikplade, som trykkes og trækkes ned over samlingen, vil en sådan metode nemt kunne betyde forskelligartet tryk. Derfor blev specialrullen anvendt, selvom denne kun er til prøvninger, og aldrig vil blive brugt på byggepladsen.
- Trækprøvningsmaskinen blev sat til at trække med konstant hastighed, således at kæberne flyttede sig med 10 mm/min., hvilket var en afvigelse fra standarden, der siger 100 mm/min, men i overensstemmelse med kravene i DUKO's klassifikationskrav. I udkast til

DIN 4108-11 (DIN, 2016) opereres der med forskellige kravspecifikationer afhængig af om hastigheden er 10 mm/min eller 100 mm/min. Der er ca. en faktor 2 til forskel, dvs. kravet til styrken er ca. 2 gange højere, hvis trækket sker ved 100 mm/min i forhold til ved 10 mm/min.

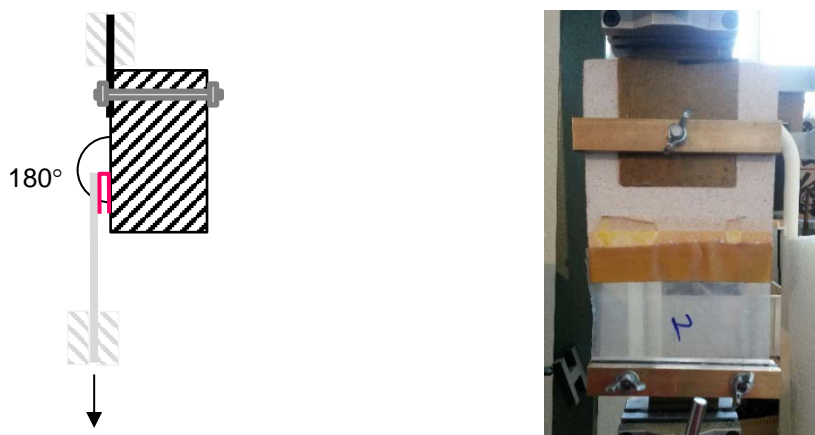
- Afprøvningen stoppede først, når membranen var helt separeret fra porebetonen eller membranen. Det var den højeste kraft, der blev benyttet under forløbet, som blev noteret.
- I DS/EN 12316-2 (DS, 2000) optegnes kraften som funktion af tiden, hvor kun den midterste del af kurven vurderes, da der kan forekomme høje maksimale kræfter i starten. Da der imidlertid kun skete meget små ændringer efter den maksimale kraft var nået, rapporteres kun denne maksimale kraft. At der ikke nødvendigvis er en markant højere kraft i starten nævnes i udkast til DIN 4108-11 (DIN, 2016), hvor det fx nævnes, at hvis tapen udvider sig, vil der ikke være nogen udpræget maksimal kraft.
- Det blev noteret, hvor klæbningen brød, dvs. om det var mellem klæberen og bærelaget hertil, mellem membran og klæber eller mellem porebeton og klæber. I de tilfælde hvor der var tale om en kombination, blev det noteret.
- Afprøvningen skete ved (23 ± 2) °C.



FIGUR 1. Specialrulle, der blev anvendt for at sikre ensartet tryk på de klæbede samlinger, rullen vejer 2 kg og er 50 mm bred

3.3.2 Membran klæbet mod porebeton

Der anvendtes 5 prøvelegemer hver med en bredde på ca. 130 mm. For at sikre en vinkel på 180° er porebetonen, der er væsentlig tykkere end membranen, monteret med en bolt på en 2 mm plade, der er fastholdt af prøvemaskinen. Herefter er membran og plade med porebeton anbragt i en trækprøvemaskine, som vist på figur 2.

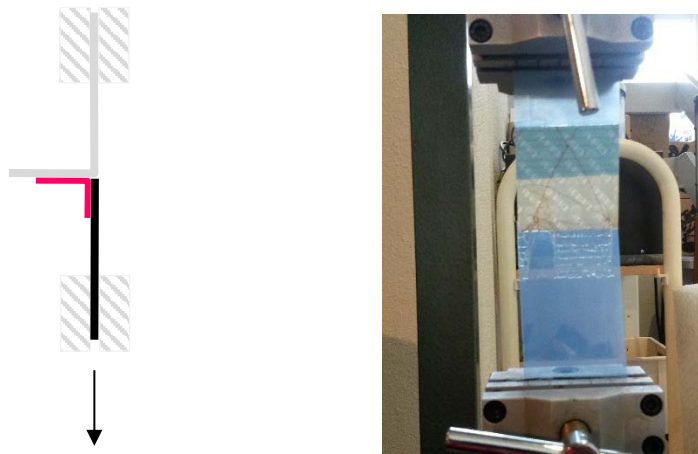


FIGUR 2. Membran er klæbet på porebeton og anbragt i trækprøvemaskine. Porebetonen er fastholdt til en tynd metalplade med en bolt for at sikre, at vinklen er 180°. Membranen er fastholdt i hele sin bredde. Tv. skematisk fremstilling fra siden, hvor tape er angivet med rødt. Th. foto fra afprøvning set forfra. Membranen er fastholdt i hele sin længde ved hjælp af "kunstige" kæber.

Der er anvendt membranstrimler på ca. 130 mm, som er klæbet til porebetonen i hele sin længde. Længden er målt for senere at kunne omregne styrken pr. 50 mm.

3.3.3 Membran klæbet mod membran

Der blev anvendt 5 prøvelegemer med en bredde på 50 mm. Membranenderne blev monteret i trækprøvemaskinens kæber, der var bredde nok til at dække hele enden. Opstillingen fremgår af figur 3.



FIGUR 3. Prøvning af aftrækningsstyrke ved klæbet samling membran mod membran. Tv. Skematisk fremstilling fra siden hvor tape er markeret med rødt. Th. Foto af opstilling set forfra.

3.4 Forskydning

Prøvning af forskydningsstyrken skete i henhold til DS/EN 12317-2 (DS, 2010) med den modifikation, at prøvningsmaskinens hastighed var 10 mm/min, mens standarden foreskrev 100 mm/min.

Der blev fremstillet 5 prøvelegemer bestående af 2 stk. 50 mm brede strimler af membranen, som var klæbet sammen, så de lå i forlængelse af hinanden. Hver ende af membranerne blev anbragt i trækprøvemaskinen med en afstand på ca. 200 mm. Herefter blev prøvelegemet trukket fra hinanden indtil brud. Opstillingen fremgår af figur 4. Den højeste kraft, der blev brugt hertil, blev noteret. Endvidere blev det noteret, hvordan bruddet skete, dvs. om det var mellem klæber og bærelaget hertil, eller mellem klæber og membran.

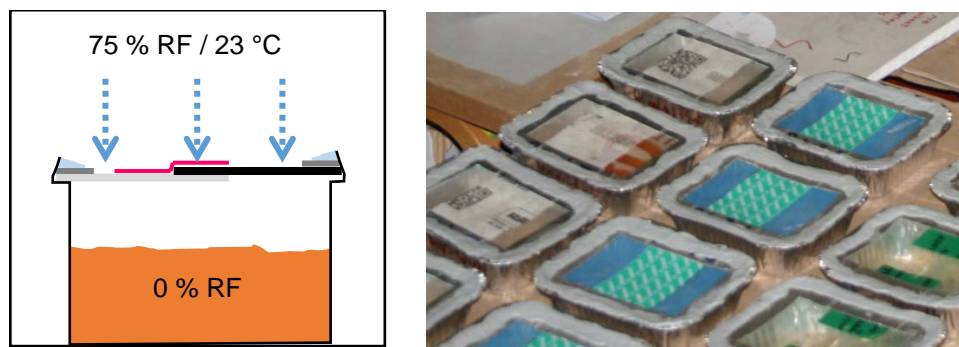


FIGUR 4. Prøvning af forskydningsstyrke på 50 mm strimler af membran klæbet i forlængelse af hinanden. Tv. Skematisk fremstilling set fra siden med tape markeret med rødt. Th. Foto af opstilling under afprøvning. Billedet er taget forfra, og det kan ses, hvordan klæberen slipper (lysere område), mens tapen udvider sig.

3.5 Diffusionsmodstand

Der udføres målinger af samlingers diffusionsmodstand. Selve målemetoden udføres i henhold til DS/EN 1931 (2000), men hvor standarden omhandler membraner alene, er der her målt på en samling, hvor der er et overlap på en halv tape bredde, dvs. 25 eller 30 mm afhængig af systemet. Som supplement til DS/EN 1931 (2000) anvendes DS/EN 12572 (2016), hvori der er beskrevet flere detaljer, herunder hvilke salte, der er anvendelige til prøvemethoden.

Målingerne er udført som "tør kop". Som kop blev der anvendt aluminiumsbakker med aluminiumsbeklædte paplåg, hvori der var skåret hul på 68 x 98 mm til prøveemnet, samlingen. Membranen blev fuldklæbet til låget og låget fuget med butylfugemasse til koppen. I koppen var der lagt silicagel (0 % RF), og koppen blev anbragt i klimakammer ved konstant temperatur (23 ± 1 °C) og relativ luftfugtighed (75 ± 2) % RF. Princippet fremgår af figur 5. Koppen blev vejlet med ca. en uges mellemrum, hvis barometerstanden tillod det, da vejningerne kun foregik ved barometerstand på (1013 ± 5) hPa. Når koppernes væggtabet pr. tidsenhed var konstant, dvs. højst med 5 % afvigelse igennem fem vejninger blev afprøvningen afsluttet. For hvert system blev der udført 5 prøvelegemer.



FIGUR 5. Måling af diffusionsmodstand af samlinger. Tv. Skematisk fremstilling af kop med silicagel og membransamling som låg. Koppen anbringes i klimakammer, på grund af den højere luftfugtighed i klimakammeret end i koppen vil fugt diffundere ned i koppen. Th. Foto af kopper efter de er taget ud af klimakammeret.

Som supplement til prøverne med samlinger blev der fremstillet tilsvarende prøver uden hul i låget og prøver med forskellige grader af kontrollerede utætheder i form af manglende

klæbning, eksempler herpå ses på fotoet i figur 5. Endvidere blev der udført forsøg, hvor låget blev beklædt med stanniol, et materiale, der normalt anses for at være meget tæt, ligesom alubakken forsøget blev udført i anses for at være luft- og diffusionstæt. Denne ekstra undersøgelse skyldtes, at der på et tidspunkt opstod tvivl om, hvorvidt det aluminiumsbeklædte paplåg var tilstrækkeligt diffusionstæt.

Klæbningen blev udført således, at halvdelen af tapen var placeret på det ene stykke membran og den anden halvdel på det andet stykke. De to membraner overlappede kun over den ene halvdel af tapetykkelsen, se også figur 6. Dette er en afvigelse fra DUKO-krav om 50 mm overlap.



FIGUR 6. Overlap mellem de to membraner var ca. en halv tapebredde

3.6 Lufttæthed

Afprøvning af aftrækningsstyrke og forskydningsstyrke beskriver noget om, hvor god klæbeevnen af en samling er, men siger ikke noget om, hvorvidt samlingen er lufttæt. Diffusionstætheden kan eventuelt hjælpe med et udsagn herom, idet en lufttæthed sandsynligvis vil afsløre sig ved, at fugttransporten øges markant. Alle prøvelegemerne er fremstillet som plane membraner, der samles med plan tape. Ved et byggeri vil der være mange samlinger, der ikke kan udføres på denne måde, men hvor der vil være tilslutninger, hjørner og gennemføringer, der ikke vil være plane. I DUKO-klassifikationskravene (www.duko.dk) indgår der en afprøvning af lufttæthed. Den er beskrevet i "DUKO tæthedsprøvning på mock-up" (2013). Denne afprøvningsmetode indebærer, at der skal monteres en dampspærre i en 12 m² mock-up, hvorved også ikke plane samlinger afprøves. Lufttætheden afprøves to gange: dels efter færdigmonteringen i mock-uppen dels efter 7 dage. Prøvemethoden tager således højde for, om tætheden ændres over tiden umiddelbart efter monteringen.

Metoden indeholder imidlertid ingen accelereret ældning og er heller ikke egnet hertil, da mock-uppen er for stor. Inspireret af behovet for at prøve samlinger som de normalt forekommer i byggeriet, er der til dette projekt udviklet en prøvningsmetode, der samtidig kan udsættes for accelereret ældning. Metoden er ikke tænkt som en afløser for DUKO-metoden, men som et supplement.

I stedet for at opbygge et lille hus, blev der bygget rammer, der skulle fores med dampspærre, der således kom til at danne bund i rammen. Der blev bygget en ramme til hvert dampspærresystem. For at simulere forskellige type samlinger, der typisk kan forekomme i tage, var der på to modstående sider af rammen anbragt skrå, uhøvlede brædder, der illuderer tænger i et gitterspær fra før sømplader blev almindelige. Endvidere var der anbragt et afproppet Ø 50 mm plastrør, som skulle igennem dampspærren. Dette rør illuderede en faldstammeudluftning. Til denne samling blev der ved alle systemer undtagen et, anvendt færdige manchetter hørende til det valgte dampspærresystem.

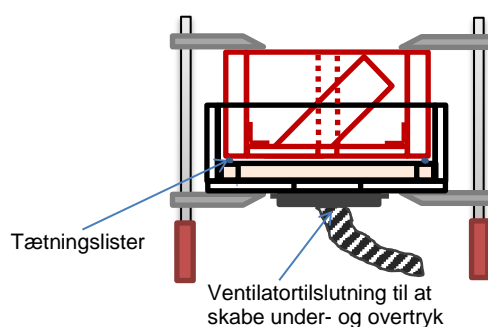
Monteringen af dampspærren blev foretaget af tre forskellige tømrere, der hver fik tre rammer samt monteringsvejledning, dampspærre, tape, manchetter og evt. primer, således at arbejdet kunne udføres efter leverandørens anvisninger med de relevante materialer. Tømrerne blev bedt om at give en kort beskrivelse af, hvordan det havde været at montere dampspærren, således at bygbarheden også kunne vurderes. Der blev valgt tre forskellige tømrere. Det betød dels at de hver især kunne sammenligne de tre systemer de arbejdede med, dels at ingen af dem nåede at opbygge en egentlig rutine, der ville kunne betyde, at de

sidste systemer, der blev anbragt, ville være monteret bedre end de første som følge af, at arbejdet ville blive bedre udført med øvelsen.

Rammerne placeredes lufttæt til en kasse, således at der kunne skabes hhv. over- og undertryk mellem kassen og dampspærren ved at montere en ventilator tilslutning mod et hul i bunden af kassen. Lufttætheden af dampspærren kunne vurderes ved at måle den nødvendige luftstrøm for at skabe et ønske lufttryk i hulrummet mellem dampspærre og kasse. Der blev udført forsøg med hhv. over- og undertryk på 10 Pa, 22 Pa, 34 Pa, 46 Pa, 58 Pa, 70 Pa og 82 Pa. Hver serie blev udført tre gange, derved blev afvigelsen ved de enkelte trin $< 1\%$. Ud fra serierne kunne en nødvendig luftstrømning til opretholdelse af et differenstryk på 50 Pa bestemmes.

Efter lufttætheden var blevet bestemt, blev rammerne placeret i klimakammer og accelereret ældet som beskrevet i afsnit 3.2.1 *ældning af dampspærresystemer*.

En nærmere beskrivelse af rammer, og den kasse rammerne skal placeres i ved afprøvning af lufttæthed, er givet i 8.1 *beskrivelse og tegning af afprøvningsudstyr til lufttæthedsprøvning*. Endvidere er opstillingen vist i skematisk form og ved fotos i hhv. figur 7 og figur 8.



FIGUR 7. Skematisk fremstilling af opstilling til afprøvning af lufttæthed. Rammen er tegnet med rødt, bunden af denne er foret med en dampspærre, således at der dannes et hulrum mellem dampspærren og bunden af kassen. Vha. en ventilator etableredes hhv. over- og undertryk i hulrummet. Ved at måle nødvendig luftmængde til at skabe over og undertryk kunne tætheden af dampspærresystemet vurderes.



FIGUR 8. Fotos af afprøvningsudstyr for bestemmelse af lufttæthed. Tilslutning af ventilator sker på undersiden af kassen, der bedst ses på billedet til venstre.

Rammerne skulle ældes ved $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ og 90% RF, derfor var det vigtigt at bruge rustfrit stål til alle skrue og beslag, da almindelige metaldele ville ruste. Da ældningen ville få almindeligt spærtræ til at slå sig, blev det valgt at bygge rammen af Kerto træ, der er mere formstabil, selvom det betød, at overfladen ville blive mere glat end ved almindeligt spærtræ. Endvidere blev alle samlinger i rammen forsynet med dobbeltklæbende butylbånd, således at mindre deformationer ville kunne optages i det elastiske butylbånd. Hvis rammen blev utæt, ville en lufttæthedsprøve ikke være meningsfuld.

3.7 Overfladespænding

For at vurdere overfladespændingen på de benyttede membraner blev denne undersøgt ved at trække en streg på friske prøver med penne, hvis "blæk" trækker sig sammen, når overfladespændingen er under en vis værdi. Pennene findes til forskellige værdier, til denne opgave blev penne til 36, 40 og 44 dynes/cm anvendt. Membranerne blev undersøgt på begge sider.



4

RESULTATER

4 RESULTATER

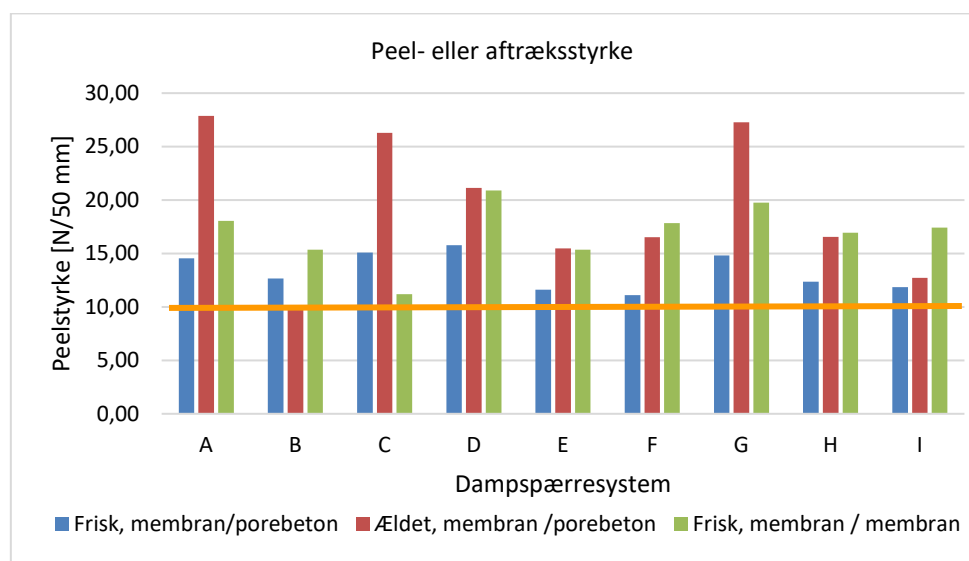
Alle resultater præsenteres både som tal og grafisk for at gøre en sammenligning mellem de enkelte dampspærresystemer lettere. En egentlig diskussion af hvad resultaterne viser følger i afsnit 5 *Diskussion*.

4.1 Aftrækning

Middelværdi og standardafvigelsen for aftræknings- eller peelstyrken fremgår af tabel 3. Middelværdien er endvidere illustreret i figur 9, hvor også DUKO's krav til peelstyrke er indtegnet, dette er > 10 N/50 mm for friske prøver uanset kombinationen. DUKO stiller ikke noget krav til peelstyrke efter ældning.

TABEL 3. Resultat af aftrækningsprøvning med middelværdier og standardafvigelser.

System	Middelværdier [N/50 mm]			Standardafvigelser [N/50 mm]		
	Frisk, membran / porebeton	Ældet, membran / porebeton	Frisk, membran / membran	Frisk, membran / porebeton	Ældet, membran / porebeton	Frisk, membran / membran
A	14,54	27,86	18,04	2,92	4,89	0,53
B	12,66	10,17	15,36	0,90	0,77	2,40
C	15,07	26,30	11,20	1,68	1,97	0,62
D	15,76	21,14	20,91	0,91	4,50	4,52
E	11,61	15,47	15,36	1,24	3,24	1,50
F	11,09	16,51	17,85	1,96	2,90	1,33
G	14,82	27,28	19,77	1,61	1,23	0,72
H	12,36	16,55	16,93	1,16	2,59	0,62
I	11,86	12,73	17,42	0,81	1,84	0,23

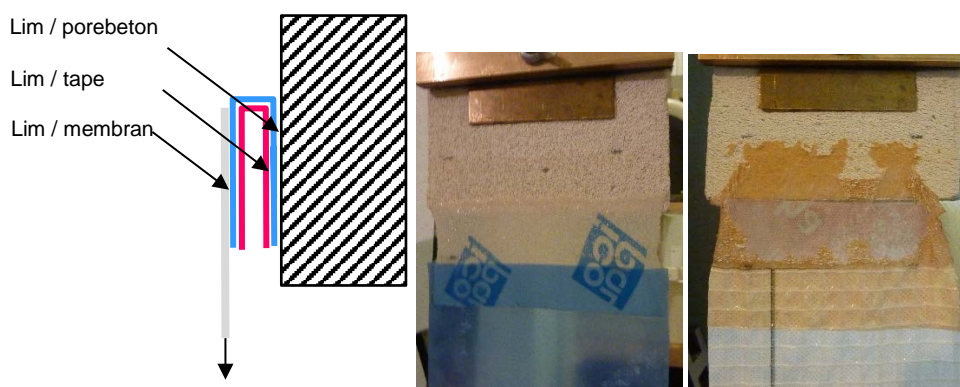


FIGUR 9. Middelværdi for peel- eller aftræksstyrke for de ni afprøvede systemer. Med orange er der indtegnet DUKO's krav til peelstyrke. Dette er > 10 N/50 mm og gælder kun for friske prøver.

Når membranen blev trukket af, kunne klæbningen svigte på flere måder:

- Mellem lim og porebeton: Når membranen blev trukket af porebetonen, fremstod porebetonen stort set uden limrester.
- Mellem lim og tape: Limen bliver siddende på porebetonen og slipper tapens bærelag.
- Mellem lim og membran: Membranen fremstod uden limrester efter at være blevet trukket fra enten en anden membran eller porebeton.

På figur 10 er der vist, hvor bruddet kan ske. I nogle tilfælde er der tale om, at bruddet ikke kun sker det ene eller det andet sted, men oftest er der en klar tendens. Da der er foretaget fem afprøvninger af hver serie, er der tilfælde, hvor bruddet sker det ene sted i nogle af prøverne og et andet sted i andre, således at der ikke er en klar tendens. I det tilfælde er der sat flere krydser i tabel 4, der giver oversigten over brudsteder.



FIGUR 10. Forskellige steder klæbningen kunne svigte, når membran blev trukket af porebeton. Tv. Her er tapen fremstillet som to lag, dels selve limen, der er vist med blå, dels bærelaget, der er vist med rødt. Th. To fotos der viser forskellige steder klæbningen kan bryde, dels et hvor porebetonen næsten er ren, derfor er bruddet sket mellem lim og porebeton, dels en hvor tapens bærelag er næsten rent, derfor er bruddet sket mellem lim og tape.

TABEL 4. Opgørelse af hvor klæbningen brød ved aftræksprøvningen

System	Frisk, membran / porebeton			Ældet, membran / porebeton			Frisk, membran/membran	
	Lim / tape	Lim / porebeton	Lim / membran	Lim / tape	Lim / porebeton	Lim / membran	Lim / tape	Lim / membran
A		x		x	x		x	x
B		x		x				x
C	x	x				x		x
D		x			x			x
E		x		x			x	
F		x		x			x	
G		x		x	x			x
H		x		x			x	x
I		x		x			x	

4.2 Forskydning

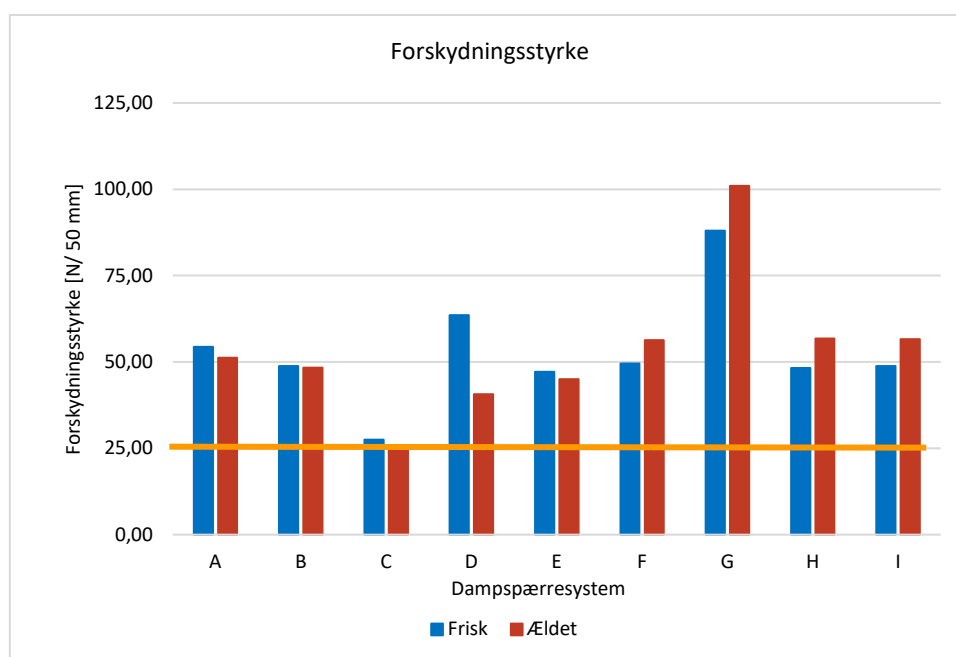
Middelværdi og standardafvigelse fremgår af tabel 5. Middelværdien er endvidere illustreret i figur 11, hvor også DUKO's krav til forskydningsstyrke er indtegnet, dette krav er for såvel friske som ældede prøver > 25 N/50 mm.

TABEL 5. Resultat af forskydningsprøvning med middelværdier og standardafvigelser

System	Middel forskydningsstyrke [N/50mm]		Standardafvigelse [N/50mm]	
	Frisk	Ældet	Frisk	Ældet
A	54,37*	51,24**	0,92	2,34
B	48,78	48,35	2,67	5,50
C	27,46	25,25	0,65	0,56
D	63,55	40,66	0,93	2,78
E	47,17	45,01	0,30	4,15
F	49,58	56,34	1,58	1,90
G	87,99	100,96**	6,41	5,24
H	48,23	56,81	1,23	1,13
I	48,86	56,57	0,46	2,90

* Forsøg blev indstillet da membranen blot blev trukket meget lang uden at bryde

** Forsøget blev indstillet, da tapen brød efter at membranen havde udvidet sig betydeligt

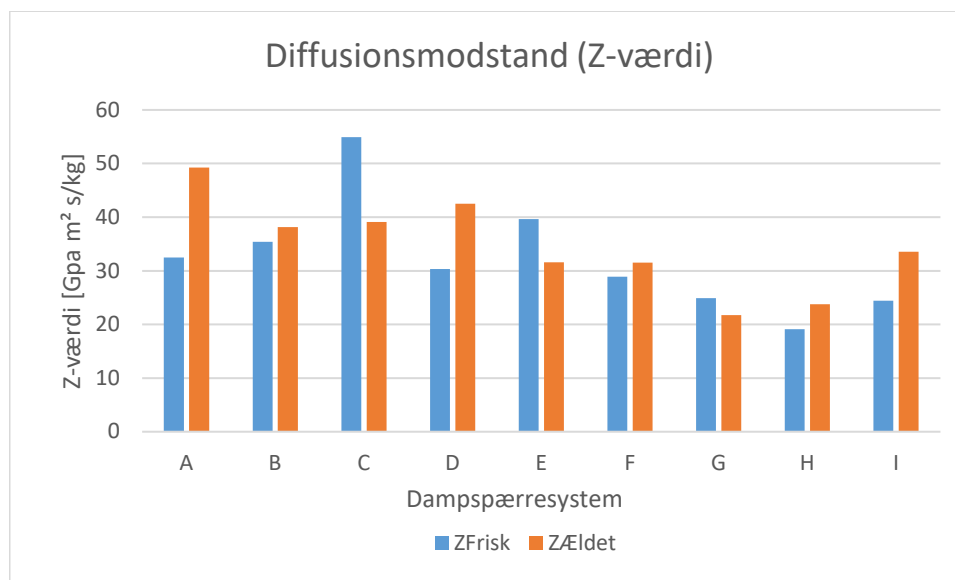


FIGUR 11. Grafisk fremstilling af middelværdi for forskydningsstyrke ved friske og ældede prøver. Med orange er der indtegnet DUKO's krav til forskydningsstyrke, dette er > 25 N/50 mm og gælder både for friske og ældede prøver.

Bruddet ved forskydning skete mellem limen og tapens bærelag, således at limen blev siddende på membranen og ikke tapen. Eneste undtagelser herfra var de folier, der er note til i tabel 5, Her blev forsøget med friske prøver af membran A indstillet, efter at membranen var begyndt at flyde, dvs. var blevet trukket meget lang selv ved lille kraft. Ved de ældede prøver af membrantype A og G brød selve bærelaget af tapen, dog først efter at membranen var blevet forlænget betydeligt.

4.3 Diffusionsmodstand

Diffusionsmodstandsmålingerne voldte en del kvaler, da det ikke var muligt at opnå tilstrækkelig ensartet fugttransport gennem prøverne på trods af, at disse blev foretaget over en periode på næsten 3 måneder. De præsenterede værdier er derfor behæftet med større usikkerhed, end standardmetoden burde resultere i. Resultaterne præsenteres figur 12 og tabel 6. Usikkerhederne, og hvordan disse er blevet behandlet, fremgår af afsnit 5.1.3 Diffusionsforsøg og Bilag 8.2 beregning af diffusionsmodstand.



FIGUR 12. Resultat af målinger af diffusionsmodstand (Z-værdi) af samlinger af hhv. friske og ældede prøver.

TABEL 6. Målte værdier af diffusionsmodstand før og efter ældning, middelværdi af fem målinger.

System	Z _{Frisk} [GPa m ² s/kg]	Z _{Ældet} [GPa m ² s/kg]	Z _{Ældet} /Z _{Frisk}
A	32	49	152 %
B	35	38	108 %
C	55	39	71 %
D	30	43	140 %
E	40	32	80 %
F	29	32	109 %
G	25	22	87 %
H	19	24	125 %
I	24	34	138 %

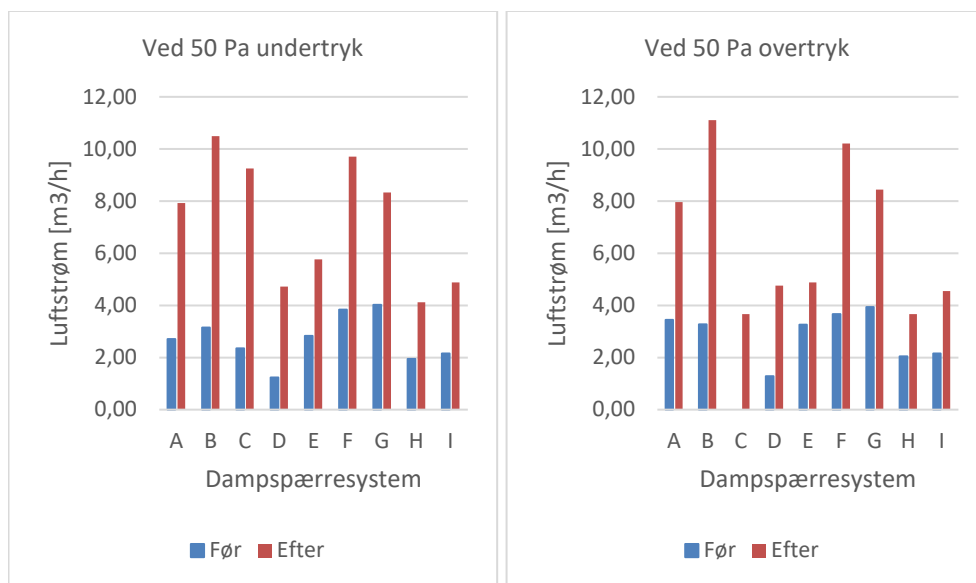
DUKO's krav til diffusionsmodstand er at $Z_{\text{Ældet}}/Z_{\text{Frisk}} > 50 \%$

4.4 Lufttæthed

4.4.1 Måling af lufttæthed af kasser

Resultatet af lufttæthed fremgår af Figur 13 og tabel 7. Desværre er resultatet af målingen af overtryk før ældning af dampspærresystem C bortkommet og kan derfor ikke vises. Der er dog ingen grund til at antage, at dette system opfører sig væsentligt anderledes end de andre systemer, ikke mindst på baggrund af resultaterne for målingerne med undertryk. Det

antages derfor, at lufttætheden reduceres væsentligt ved ældning. Generelt synes lufttætheden at reduceres med en faktor 2-4 som følge af ældningen. De præsenterede målinger er beregnet som en gennemsnitsværdi af den nødvendige luftstrøm for at opretholde et differenstryk på 50 Pa.

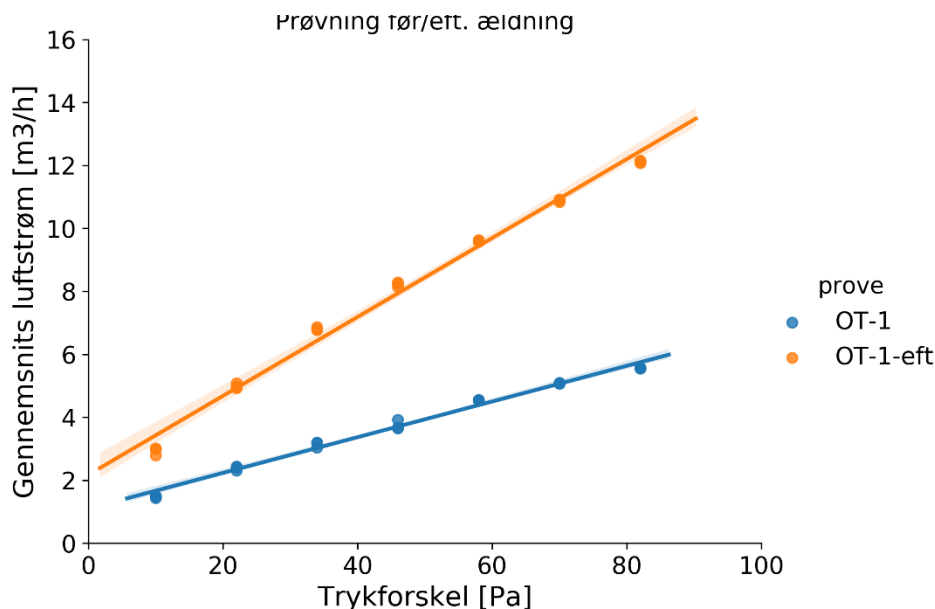


FIGUR 13. Resultat af tæthedsmålinger udtrykt ved nødvendig luftstrøm for at opretholde en luftrykforskel på 50 Pa for hhv. undertryk (til venstre) og overtryk (til højre), før og efter ældning af prøver.

TABEL 7. Resultat af lufttæthedsmålinger udtrykt ved nødvendig luftstrøm for at opretholde en luftrykforskel på 50 Pa over membransystemet før og efter ældning, samt hvor stor forskellen er.

System	50 Pa overtryk			50 Pa undertryk		
	Før [m³/h]	Efter [m³/h]	Efter/Før [-]	Før [m³/h]	Efter [m³/h]	Efter/Før [-]
A	3,5	8,0	2,3	2,7	7,9	2,9
B	3,3	11,1	3,4	3,1	10,5	3,3
C	-	3,7	-	2,4	9,3	3,9
D	1,3	4,8	3,7	1,2	4,7	3,8
E	3,3	4,9	1,5	2,8	5,8	2,0
F	3,7	10,2	2,8	3,8	9,7	2,5
G	3,9	8,4	2,2	4,0	8,3	2,1
H	2,0	3,7	1,8	1,9	4,1	2,1
I	2,2	4,6	2,1	2,2	4,9	2,3

Tallet er beregnet ud fra lineær regression fra de målte værdier ved syv forskellige luftryk. Hvert forsøg er gentaget tre gange og resultaterne viser, at der er en sammenhæng mellem luftryk og lufttæthed. Dette kan ses af, at tendenslinjerne har en høj korrelationskoefficient (R), idet R^2 er mindst 0,95, bortset fra overtryksmålingen efter ældning af dampspærresystem E, hvor $R^2 = 0,93$. figur 14 viser et repræsentativt eksempel på resultatet af målinger for et dampspærresystem, i dette tilfælde system G, hvor $R^2 = 0,98$ for begge linjer.



FIGUR 14. Eksempel på målinger af luftstrøm ved forskellige lufttrykforskelle over membransystemet. I dette tilfælde overtryk med system G for før (blå linje) og efter (orange linje) ældning. Den lineære regression er god med en R^2 værdi på 0,98 på begge linjer. Linjen går ikke gennem (0,0), hvilket ville have været forventeligt ud fra en fysisk betragtning. Dette er imidlertid heller ikke altid tilfældet ved Blower door tests af huse.

Som det fremgår af resultaterne, øges lufttætheden væsentligt som følge af ældningen, for forsøgene med undertryk, kræves der mindst dobbelt så meget luft for at opretholde 50 Pa undertryk over membranen. Med overtryk over membranen er behovet lidt mindre i nogle tilfælde, men generelt er der sammenfald mellem, hvordan de forskellige systemer klarer sig ved hhv. over og undertryk.

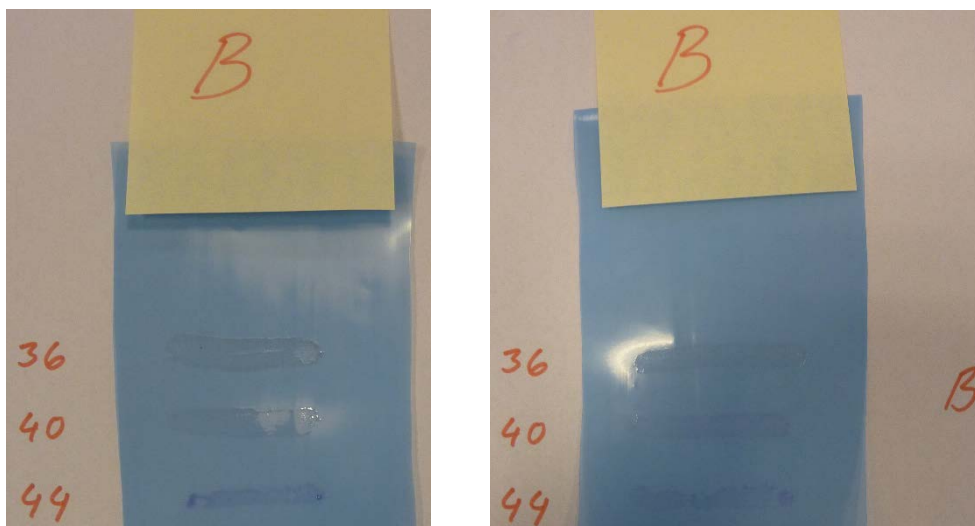
4.4.2 Bygbarhed

En verbal beskrivelse af bygbarheden er vanskelig at sammenligne, når den kommer fra forskellige kilder, der kunne have været udsendt et spørgeskema, med forskellige afkrydsningsmuligheder, dette ville have været nemt at afrapportere, men ville ikke nødvendigvis have fået de ting med, som det viste sig, at håndværkeren fandt væsentlig. Generelt kan det dog siges at jo stivere dampspærren var, desto sværere var den at arbejde med. Folieklæberne kunne være vanskelige at arbejde med og primeren var en ekstra arbejdsgang, der i nogle tilfælde havde en MAL-kode, der gjorde det nødvendigt at arbejde med handsker på, hvilket er en dårlig kombination med dampspærretape. I et tilfælde var tørretiden for primeren en udfordring, da den var angivet til 30 min. men reelt var 1-1,5 timer ved 18 °C.

En enkelt tørrer var meget omhyggelig med at clipse dampspærren fast og efterfølgende tape over alle clips.

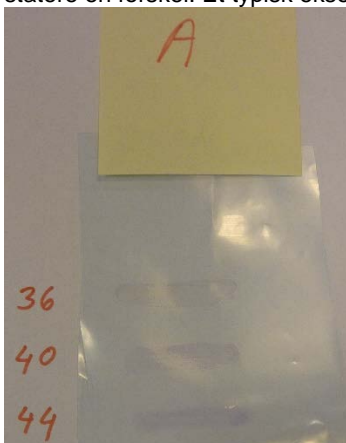
4.5 Overfladespænding

Det var svært at vurdere, hvornår pennenes blæk trak sig sammen, derfor var det vanskeligt at vurdere, hvilken overfladespænding der var tale om. Dette gjaldt især for armerede membraner, hvor overfladen ikke var plan. Hér var det svært at se, om der var nogen forskel. Et eksempel på, hvordan disse test ser ud, er vist i figur 15. Det valgte eksempel er den test, hvor forskellen mellem de forskellige overfladespændinger er mest tydelig. Som ved de andre membraner, var der heller ikke hér nogen synlig forskel mellem de to sider af membranerne.



FIGUR 15. Eksempel på måling af overfladespænding ved at trække penne, der har forskellige grænseværdier (måder blækket trække sig sammen på i forhold til underlagets overfladespænding), over membranen, i dette tilfælde fra system B på hhv. forside (tv.) og bagside (th.). Tallene angiver forskellige grænseværdier i dynes/cm. Hvor blækket trækker sig sammen er overfladespændingen nået, tilsyneladende ligger overfladespændingen i dette tilfælde mellem 40 og 42 dynes/cm, men det er vanskeligt at afgøre. Dette er det eksempel, hvor forskellene er tydeligst.

I de fleste tilfælde var det så vanskeligt at se forskel, at det reelt ikke var muligt at konstatere en forskel. Et typisk eksempel er vist i figur 16.



FIGUR 16. Eksempel hvor det er meget svært at afgøre overfladespændingen, da der ikke rigtig er forskel på, hvordan blækket trækker sig sammen i de tre tilfælde. Målingerne er udført på system A

Da usikkerheden om resultaterne er betydelige, er resultaterne ikke præsenteret hér, og undersøgelsens resultater diskuteres derfor heller ikke nærmere.

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, flowing patterns that curve around the central text.

5

DISKUSSION

5 DISKUSSION

I denne rapport er der undersøgt forskellige egenskaber ved samlinger til og mellem dampspærre, men hvorvidt dette betyder, at der er tale om gode eller dårlige dampspærresystemer afgøres ikke. Men resultaterne sammenholdes med en del af de kriterier som DUKO har opstillet for at klassificere et dampspærresystem. Det vurderes derfor, hvorvidt kravene er opfyldt, samtidig med, at de enkelte resultater diskuteres.

5.1 Opfyldelse af DUKO's krav

5.1.1 Aftrækningsstyrke eller peelstyrke

DUKO's krav for peelstyrke er alene angivet for friske prøver. For såvel membran/membran samlinger som membran/porebeton samlinger er kravet, at styrken skal være over 10 N/50mm, et krav som alle de prøvede dampspærresystemer opfylder.

Resultaterne for friske membran/porebeton samlinger ligger gennemsnitsværdien af 5 prøvninger for hvert membransystem mellem 11,09 N/50mm og 15,76 N/50mm, kun få enkeltmålinger var under 10 N/50mm. Ved de ældede membran/porebeton samlinger, som der ikke er noget DUKO krav til, ligger de fleste værdi højere, og gennemsnitsværdierne lå mellem 10,17 N/50mm og 27,86 N/50mm. Kun en enkelt prøvning af et enkelt prøveemne gav et resultat under 10 N/50mm.

5.1.2 Forskydningsstyrke

DUKO's krav for forskydningsstyrke er for såvel friske som ældede prøver 25 N/50mm. Alle de prøvede dampspærresystemer opfylder dette krav. Kun dampspærresystem C er tæt på grænsen og to enkelte prøvninger heraf viste resultater ganske lidt under værdien. Ellers er den gennemsnitlige forskydningsstyrke for de prøvede dampspærresystemer mindst 60 % over det krævede.

5.1.3 Diffusionsforsøg

DUKO stiller ikke noget krav til diffusionsmodstanden (Z-værdien) for samlingen, men alene krav til at Z-værdien efter ældning skal være mindst 50 % af Z-værdien før ældning. Dette krav er sandsynligvis opstillet for at vurdere, om samlingen slipper noget sted og dermed tillader en større mængde damp at slippe igennem i forhold til en lufttæt fuldklæbet samling.

Målingen af diffusionsmodstanden har voldt en del problemer, da det viste sig, at det var vanskeligt at få helt tætte kopper; dels var fugningen ikke helt tæt, dels var det alubeklædte paplåg ikke så tæt som forventet. Derfor er samlingens diffusionstæthed beregnet på en mere kompliceret måde, end standarden lægger op til. I den endelige beregning indgår, ud over vægtændringen for hvert prøveemne (alubakke med gel og låg), således:

- Måling på de almindelige prøveemner af det areal, hvor der sker damptransport gennem alubeklædt paplåg.
- Målingerne af vægttabet fra kopper med standard alubeklædt paplåg, der yderligere blev beklædt med stanniol for at vurdere diffusionsmodstanden ved samling af låg til alubakke.
- Målingerne af vægttab fra kopper med låg med standard alubeklædt paplåg for at vurdere diffusionsmodstanden af det standard alubeklædte paplåg ved at fratække utæthedene ved samling mellem låg og alubakke.

- Måling på de almindelige prøveemner af det areal, hvor der sker damptransport gennem selve samlingen.

En mere detaljeret beskrivelse af fremgangsmåden fremgår af *Bilag 8.2 beregning af diffusionsmodstand*.

Da der i prøvningen indgik såvel diffusionstætte som diffusionsåbne membraner, var det i første omgang overraskende, at der ikke var større forskel på de målte Z-værdier. En forklaring kan imidlertid være, at en stor del af arealet var dækket med tape; nogle af tapebåndene var 60 mm bredde, hvilket betød at ca. 60 % af arealet var dækket med tape. Selvom nogle membraner var diffusionsåbne, er tapen det næppe, det kan dermed forklare, at der ikke er så store forskelle som forventet, hvis det betragtedes alene ud fra membranmaterialet. Da det har været nødvendigt at tage hensyn til en række utætheder og forskellige diffusionsmodstande, er usikkerheden på målingerne relativ stor, ikke mindst da fugen, der danner forsegling med alubakken, kan have varierende bredde.

Selv med beregninger, der er på den sikre side i form af at forskellen i vanddamptransporten før og efter ældning overestimeres, er der intet tilfælde, hvor diffusionsmodstanden øges med 50 % som følge af ældning. Alle de afprøvede systemer opfylder derfor DUKO-kravet.

5.2 Betydning af ældning

5.2.1 Aftrækning/peelstyrke

At der kun for et enkelt dampspærresystem skete et fald i aftræks- eller peelstyrken som følge af ældning var overraskende. Det var forventet, at klæbningen ville blive svækket ved ældning. Tilsyneladende er klæbemassen over tid i stand til at øge klæbeeften til porebetonen.

Når denne prøvning blev medtaget, trods det manglende DUKO krav, skyldes det at dampspærreleverandørerne mente, at dette ville have relevans ud fra en vurdering af, hvad der rent faktisk sker med samlingen ved ældning. Hér er det interessant, at mange samlinger bliver stærkere ved ældning. Hvor det typisk er limen, der trækkes af porebetonen, når prøven er frisk, er der en del prøver, hvor limen bliver siddende på porebetonen efter ældning, således at det er tapens bærelag, der trækkes af limen. Det må betyde, at det alene er tapen, der er afgørende for om samlingen holder; en bedre forbindelse mellem membran og tape vil således ikke forbedre aftrækningsstyrken for ældede prøver.

5.2.2 Forskydningsstyrke

Det er ikke helt entydigt, hvordan forskydningsstyrken af en samling ændres med ældning. For fire membransystemer øges styrken, for fire membransystemer nedsættes den med under 10 % og for et enkelt membransystem nedsættes den betydeligt.

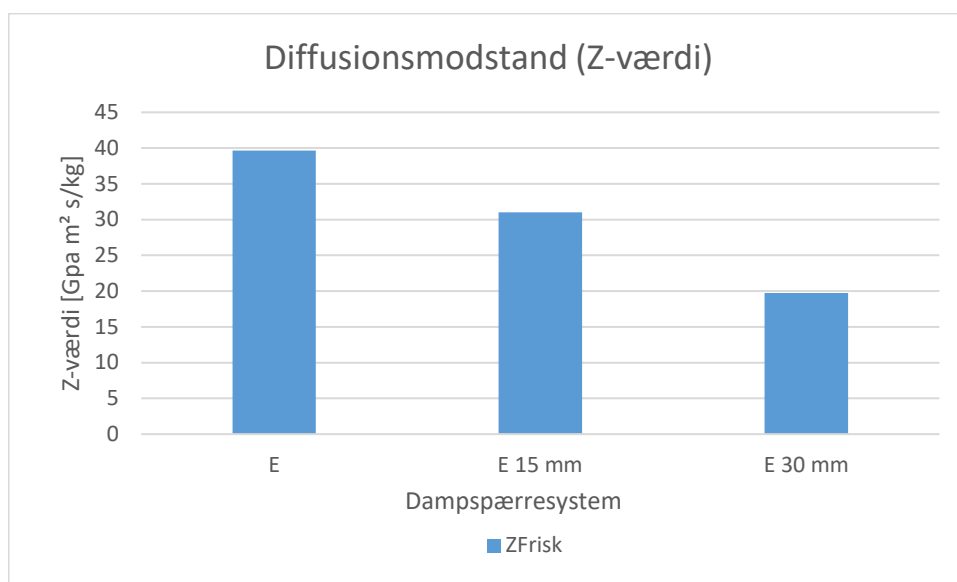
Ved forskydningsforsøgene skete bruddet generelt mellem tapens bærelag og limen. Det betyder, som for aftrækningsforsøgene med ældede prøver, at det er styrken af tapen, der er afgørende; en bedre forbindelse til membranen vil ikke give en større forskydningsstyrke. Set i det lys, er membranens overfladespænding uden betydning.

5.2.3 Diffusionsmodstand

Selvom måling af diffusionsmodstand er standardiseret, beskriver ingen af standarderne, hvordan samlinger skal afprøves; beskrivelserne omtaler kun et ensartet materiale. Derfor har det i DUKO-standarden været nødvendigt at angive, hvordan samlingerne placeres over kappen. DUKO's beskrivelser er ikke blevet fulgt præcist, således er der ikke et overlap på 50 mm, men på en halv tapebredde, dvs. maksimalt 30 mm. Det betyder, at der må forventes større vanddamptransport ved de målte prøver, end hvis DUKO's beskrivelse var blevet

fulgt. Målingen er altså på den sikre side, når det skal vurderes om Z-værdien har ændret sig.

Når DUKO har valgt at medtage ældning ved diffusionsforsøg, er det sandsynligvis først og fremmest for at vurdere om samlingerne slipper som følge af ældning, og dermed om klæbeevnen svigter. Derfor handler afprøvningen ikke om, hvorvidt membranen eller tapen bibeholder sin diffusionstæthed, men om klæbeevnen svigter. For at vurdere om man ud fra diffusionsmålingerne ville kunne se om en samling slap, blev det afprøvet, om det gjorde nogen forskel, om der blev efterladt et område uden tape. Der blev derfor målt på prøver, hvor der manglede hhv. 15 mm og 30 mm tape. Afprøvningen blev udført på en membran, der blev anset for at være diffusionstæt for ikke at blive for meget påvirket af, at der manglede diffusionstæt materiale (tape). Som det fremgår af figur 17 viste disse målinger, at der var en direkte sammenhæng mellem åbningen og transporten af vanddamp. Det må altså forventes, at det ville afsløre sig, hvis klæbningen svigtede. Dog skal det bemærkes, at der ville være tale om et betydeligt svigt, hvis Z-værdien skal reduceres med mere end 50 %, som er DUKO's grænseværdi. Ved det undersøgte materiale skulle der en åbning på 30 mm ud af en bredde på 68 mm til, før materialet ikke ville kunne klare kravet, forudsat at den øgede vanddamptransport alene skulle tilskrives svigtende klæbning.



FIGUR 17. Resultat af diffusionsmålinger med system E for en fuldklæbet samling sammenholdt med samlinger, hvor der manglede hhv. 15 og 30 mm tape.

Der er ingen sammenhæng mellem, hvilke systemer der svækkes som følge af ældning på de tre parametre aftræknings/peelstyrke, forskydningsstyrke og diffusionsmodstand.

5.2.4 Lufttæthed

Hvor de øvrige afprøvningsmetoder har været standardiseret, om end med tilpasninger for diffusionsmålingerne, er denne afprøvningsmetode udviklet specielt til dette projekt. Det betyder, der ikke er andre resultater at sammenligne med, og det vides ikke, hvor anvendelig metoden er generelt. Hvis metoden afprøves flere gange i andre projekter, kan det være, at der viser sig tilpasninger af metoden, der ikke var taget højde for i dette projekt. Alligevel synes resultaterne at være ret konsistente; det var muligt at få resultater, der viste en lineær afhængighed mellem lufttryk og luftstrømning, både når der blev brugt over- og undertryk. Det gjaldt både før og efter ældning.

Om forskellene før og efter ældning er rimelige, er vanskeligt at vurdere. Udgangspunktet var rammer, som håndværkere havde monteret dampspærre i og tætnet, men ved tæthedsprøvningen var det nødvendigt at tæne rammen ekstra for at kunne opnå et tryk med en rimelig luftstrømning. Om eftertætningen skulle være sket kan diskuteres, da en eftertætning ikke ville blive foretaget i virkeligheden. På den anden side ville en diskvalifikation af rammen blot have betydet, at tømreren selv ville have eftertætnet, indtil der var den fornødne tætning for at udføre forsøget.

Tømrernes beskrivelse af, hvordan det havde været at arbejde med opsætningen af dampspærren, kan give den mistanke, at på byggepladser, kan der være risiko for, at man undlader at bruge primer. Dette vil sandsynligvis være uheldigt, da der netop har været tale om, at primeren har stor betydning for hvor god klæbeevnen er på sigt (Lundgreen, 2019).

Hvis prøvningsmetoden fremover skal vinde indpas, vil det være nødvendigt at angive højest tilladelig luftstrøm ved hhv. friske og ældede prøver, eller som ved DUKO's lufttæthedsprøvning blot vurdere den største utæthed i de to situationer og ud fra dette bestemme en lufttæthedsklasse.

Det er imidlertid interessant at se, at der er tydelig forringelse af resultaterne som følge af ældning, mellem friske og ældede prøver, hvor der ved de andre afprøvninger faktisk var flere tilfælde af, at prøvningen med ældede prøver viste en forbedring i forhold til resultaterne med friske prøver. Det rejser spørgsmålet om, hvorvidt de anvendte prøvningsmetoder afspejler, hvad der sker i virkeligheden, dette diskuteres i afsnit 5.3.2 *idealforhold i forhold til realistiske forhold*

5.3 Prøvningsmetodernes anvendelighed

5.3.1 Udførelse af samlinger

Mens mange standardmetoder for membraner tager udgangspunkt i en ubrudt banevare, er standardiserede metoder for at afprøve samlinger mindre anvendte. For vådrumsmembraner findes der en række standardiserede afprøvningsmetoder for samlinger, men disse omhandler normalt tæthed over for vand og er derfor mindre egnede, når det handler om luft og vanddamp. DUKO har sat en række metoder op, som er forsøgt anvendt i dette projekt, men eksempelvis er det i de EN-standarder, der henvises til i DUKO's krav til dampspærresystemer, blot beskrevet, at samlingen skal foretages på den måde, det normalt installeres. Det må betyde den måde, der beskrives i produktets installationsvejledning. Det betyder for de fleste produkters vedkommende, at samlingen sikres ved, at man fører en hånd, en rulle eller "plastikskraber" hen over samlingen. Et bestemt tryk, dette skal udføres ved, er ikke angivet, sandsynligvis fordi det ikke vil give mening på en byggeplads, men det forventes at håndværkerens erfaring gør, at trykket bliver tilstrækkeligt.

For en prøvningsmetode, er dette imidlertid for upræcist, derfor blev der hentet inspiration i DIN 4108-11, hvor en specialrulle med et tryk på 2 kg er blevet anvendt. En sådan rulle er kun anvendelig til afprøvninger, hvor samlingen ligger fladt på et bord, og tyngdekraften sørger for, at rykket bliver ensartet ved hvert prøveemne. På en byggeplads vil en sådan rulle ikke være anvendelig, da den er alt for tung at arbejde med, og da mange samlinger ikke vil være vandrette, vil rullens vægt i sig selv ikke give det fornødne tryk.

I dette tilfælde er der altså valgt en samlingsmetode, hvis ensartethed er sat over, hvad der forekommer i virkeligheden. Ved prøvninger er reproducerbarhed vigtig, og derfor er valget af ensartethed nødvendigt. Dette kan også forsvares, når blot man er opmærksom herpå. Det er muligt, der er taget højde herfor i det niveau, DUKO har sat som krav til samlingerne ud fra en vurdering af, hvor meget forholdene på en byggeplads kan have af betydning. Dette er i midlertidig vanskeligt, med mindre der er udført prøvninger heraf. BUILD har ikke kendskab til sådanne prøvninger og har heller ikke selv udført nogen.

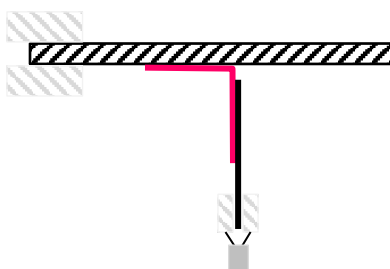
Men problemet, at en dampspærresamling ikke trykkes nok på byggepladsen, kan være en medvirkende årsag til, at der ved nogle samlinger i huse opleves dårlig vedhæftning efter relativ kort tid (Lundgreen, 2019) på trods af, at dette ikke kunne konstateres ved prøvningerne udført i dette projekt.

5.3.2 Idealforhold i forhold til realistiske forhold

Udover, at de samlinger, der er udført på prøveemner til måling af aftræknings- og forskydningsstyrke, ikke nødvendigvis er udført med et tryk, der udøves på samlinger, der udføres på en byggeplads, er samlingerne udført helt fladt uden folder eller andet, der kan have betydning for samlingens styrke og lufttæthed. Folder vil være normalt forekommende på en byggeplads, ikke mindst når der skal lufttættes omkring hjørner og gennemføringer.

Dertil kommer, at forholdene i laboratoriet har været ideelle på flere måder, ikke alene har samlingerne været lette at udføre, fordi de lå fladt på et bord i god arbejds højde, men samtidig har temperaturen været almindelig stuetemperatur, og støvmængden i luften har været som i normalt indeklima, i modsætning til en byggeplads hvor støvniveauet kan være væsentlig højere. Om overfladespændingen som fx ved Coronabehandling har haft nogen betydning for vedhæftningen, har ikke kunnet vurderes, da målingerne heraf ikke var anvendelige. Det at brudstedet ved de ældede prøver typisk var mellem limen og tapens bærelag, taler dog ikke herfor.

Endelig kan det diskuteres om prøvningen af aftrækningsstyrke, hvor det trækkes af med en vinkel på 180° i relativ kort tid, er mere realistisk end ved fx 90° over længere tid. I udkast til DIN 4108-11 (DIN, 2016) er der beskrevet en anden afprøvning af aftrækningsstyrken, denne betegnes som en statisk afprøvning, hvor 90° styrken afprøves. Dette sker ved at klæbe membranen fast til bøgetræ, membran og træplade placeres i varmeskab ved 40 °C. For enden af membranen, der er 25 mm bred, placeres en belastning (lod), der inkl. fastgørelsen udgør en kraft på 0,3 N (ca. 30 g). Hvis der ikke er sket noget brud på klæbningen efter 24 timer, er afprøvningen bestået. Denne test er ikke anvendt i dette projekt, da projektet mere retter sig mod DUKO-klassifikationen. Afprøvningen nævnes alene for at gøre opmærksom på, at der også findes andre prøvningsmetoder end den anvendte, der kunne være relevante. Princippet for afprøvningen er skitseret i Figur 18.



FIGUR 18. Skematisk fremstilling af afprøvning af aftrækningsstyrke ved 90°, hvor membran er klæbet på bøgetræ. Metoden er ikke benyttet i dette projekt, men beskrives i udkast til DIN 4108-11 (2016). Opstillingen placeres i varmeskab ved 40 °C i 24 timer med et lod for enden af membranen.

Ved at udføre prøvningen af lufttæthed på rammer, der var vanskelige at montere dampspærre i, blev det i dette projekt forsøgt at efterligne forholdene på en byggeplads med en ensartet metode. Heller ikke denne metode er perfekt, den vil være meget personafhængig, idet håndværkerens dygtighed hér spiller en ikke uvæsentlig rolle for at få rammen tæt i første omgang. Det samme er tilfældet på en byggeplads, men med mindre det er håndværkeren, der skal certificeres, skal denne afhængighed så vidt muligt være uden betydning, når systemet afprøves. Derfor blev det valgt, at rammerne kunne eftertættes, så udgangspunktet for tæthedsmålingen var tilnærmelsesvist en, og forskelle efter ældning alene beroede på, hvor meget samlingerne slap som følge af ældningen. Det er bemærkelsesværdigt, at

mens den procentvise forskel på aftræknings- og forskydningsstyrke før og efter ældning højst var en reduktion med ca. 20 % som følge af ældning for aftrækningsstyrke og ca. 36 % for forskydningsstyrken, øgedes luftstrømmen med op til 4 gange. Der var dog en vis sammenhæng mellem de systemer, hvis styrke reduceredes med ældning, og hvor luftstrømmen øgedes mest. De systemer, hvor lufttætheden reduceredes mest, dvs. hvor luftstrømmen øgedes mest, var membransystemerne B, C og D. I disse membransystemer var luftstrømmen øget med mere end 3 gange som følge af ældning. Disse systemers ydeevne ved de andre prøvninger karakteriseres ved følgende:

- Membransystem B: System hvor aftrækningsstyrken reduceredes mest, dvs. til 80 % ved samling membran mod porebeton. Den ældede værdi var således på 10,17 N/50 mm, hvilket er meget tæt på DUKO's grænse, der dog gælder for friske prøver og er på 10 N/50 mm, forskydningsstyrken og diffusionsmodstanden var tilnærmelsesvist uændret.
- Membransystem C: System hvor diffusionsmodstanden reduceredes mest, dvs. til 71 %, og aftræksstyrken for frisk membran/membran samling var 11,20 N/50 mm og dermed tættest på DUKO's grænse på 10 N/50 mm. Der er ingen grænse for ældet samling, og denne blev ikke målt, men aftrækningsstyrken for membran/porebeton øgedes som følge af ældning
- Membransystem D: System hvor forskydningsstyrken reduceredes mest dvs. til 64 %, fra 63,55 N/50 mm til 40,66 N/50 mm, altså langt fra DUKO grænsen på 25 N/50 mm.

De membransystemer, hvor luftstrømmen øgedes mest, har således alle karakteristika, der udpeger dem som ringeste system som følge af ældning ved en af de standardiserede afprøvningsmetoder. Men selvom ændringen er relativ set stor, behøver det ikke at betyde, at produktet er ringe, eksempelvis forringes forskydningsstyrken af membransystem D betydeligt ved ældning, men værdien er stadig væsentlig over DUKO-kravet. Om Membransystem D reelt har en dårlig ydeevne, når det kommer til lufttæthed, kan være svært at vurdere; systemet er det, der i udgangspunkt er mest lufttæt. Den absolutte værdi efter ældning er således ikke blandt de ringeste. Desværre er resultaterne for overtryk for membransystem C inden ældning bortkommet, systemet er ellers det system, hvor der er størst forskel på målingerne ved over- og undertryk efter ældning. Forskellen har været så stor, at forsøget er blevet gentaget, men resultatet blev tilnærmelsesvist det samme.

Overraskende nok må det konstateres, at selvom nogle systemers samlinger forbedres ved ældning for både aftræknings-/peelstyrke, forskydningsstyrke og diffusion, eksempelvis systemerne F H og I, bliver også disse betydeligt påvirket i negativ retning ved lufttæthedsforsøget.

DUKO skriver indledningsvist i sine klassifikationskrav, at der er tale om en 1. udgave, og at de kan blive revideret efterhånden, som der samles erfaringer. Det er nødvendigt at tage hensyn til, at prøvningsmetoder skal være ensartede, så der så vidt muligt ikke er betydelige variationer som følge af udarbejdelsen af prøvningsemnerne, og at forholdene skal kunne sammenholdes med forhold, der er realistiske på en byggeplads. Derfor bør der sammenholdes erfaringer fra laboratorieprøvninger og prøvninger af de samme systemer anvendt i praksis. Endvidere bør lufttæthedsprøvningen, der er præsenteret i denne rapport, afprøves og udvikles yderligere, således at absolutte værdier kan vurderes. Det betyder især, at der skal defineres en tæthed både for prøvning før og efter ældning.

Når der foreligger flere erfaringer, vil det muligvis være nemmere at definere, hvilke krav der er tilstrækkelige til at sikre en tilstrækkelig ydeevne af dampspærre over tid i forhold til, hvad der med rimelighed kan forventes af en dampspærre i praksis.

I denne rapport overholder alle systemerne DUKO's krav på de parametre, der er blevet afprøvet, men da en prøvningsmetode, der mere ligner realistiske forhold viser, at ældning

har væsentlig større betydning, end standardmetoderne giver anledning til at tro, bør det re-
vurderes om prøvningsmetoderne er omfattende nok og bygger på de rigtige prøvninger.

KONKLUSION

6 KONKLUSION

De ni dampspærresystemer, der er blevet afprøvet, som et led i projektet "Dampspærrers ydeevne", lever alle op til de krav, der stilles i DUKO's klassifikationskrav til samlinger mht. aftræknings/peelstyrke, aftrækningsstyrke og diffusionstæthed før og efter ældning. I de fleste tilfælde skete bruddet ved aftræknings- og forskydningsforsøg efter ældning mellem tapens bærelag og lim. Dermed er det efter ældning ikke vedhæftningen til materialet, der er afgørende, men alene tapen i sig selv.

I projektet er der desuden lavet en yderligere undersøgelse for at vurdere membransystemerne på en måde, hvor der tages højde for, at de samlinger, der er blevet afprøvet ved standardmetoder, alle er udført under ideelle vilkår, dvs. mod plant underlag, uden forhindringer i form af hjørner eller gennemføringer.

Hvor standardprøvningerne i de fleste tilfælde ikke viste betydelig svækkelse af parametrene som følge af ældning, og tværtimod i adskillige tilfælde blev stærkere/tættere, viste alle systemerne, at lufttætheden blev betydeligt ændret ved ældning. De målte luftstrømme, der var nødvendige for at opretholde et differenstryk på 50 Pa over en ramme lufttætnet med dampspærresystemer, steg således typisk 2-4 gange efter ældning.

Imidlertid er metoden til mål af lufttæthed udviklet til netop dette projekt, og der er således ingen erfaring med metoden, eller hvad de absolutte tal betyder i praksis. Konklusionerne, der kan drages ud af dette projekt, er derfor behæftet med en del usikkerhed.

Imidlertid indikerer projektet, at der er behov for at sammenholde den ydeevne, der bestemmes for samlinger, der er udført under ideale forhold, med ydeevner, der opleves når de samme membransystemer installeres under byggepladslignende forhold og på ikke plane flader. Muligvis er der taget højde herfor i de krav DUKO har opstillet, således at disse er betydeligt på den sikre side. Men at ældning under ideelle forhold forbedrer ydeevnen, synes ikke umiddelbart at stemme overens med erfaringer fra byggepladser eller fra den eksisterende litteratur om emnet.

REFERENCER

7 LITTERATUR

- Allara, D.L. (1975): *Aging of Polymers*, Environmental Health Perspectives Vol. 11, pp. 29-33, 1975
- ASTM D 3611 (2011): *Standard Practice for Accelerated Aging of Pressure-Sensitive Tapes*
- DIBt (2005): *Leitpapier F - Dauerhaftigkeit und die Bauproduktenrichtlinie*
- DIN 4108-11 (2016): *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 11: Mindestanforderungen an die Dauerhaftigkeit von Klebeverbindungen mit Klebebändern und Klebemassen zur Herstellung von luftdichten Schichten.*
- DS/EN 1931 (2000) *Fleksible membraner til fugtisolering - Bitumen-, plast- og gummimembraner til fugtisolering af tage - Bestemmelse af vanddampdiffusionsegenskaber*
- DS/EN 12316-2 (2000) *Fleksible membraner til fugtisolering – Bestemmelse af modstandsevne overfor peelstyrke – Del 2: Plast og gummimembraner til tagdækning.*
- DS/EN 12317-2 (2010) *Fleksible membraner til fugtisolering – Bestemmelse samlingers forskydningsstyrke – Del 2: Plast og gummimembraner til tagdækning.*
- DS/EN 12572 (2016) *Byggematerialers og -produkters hygrottermiske ydeevne – Bestemmelse af vanddamptransmissionsegenskaber – Kopmetoden.*
- DUKO (2013): *DUKO tæthedsprøvning på mock-up*, lokaliseret på https://duko.dk/userfiles/Taethedsproevning_paa_mock-up-udgave02.pdf
- DUKO (2014): *Krav til dampspærresystemer under DUKO – Dampspærre- og Undertagsklassifikationsordning*, lokaliseret på https://duko.dk/userfiles/Klassifikationskrav_dampspærresystemer-udgave01_20140414.pdf
- Jelle, B.P. (2012): *Accelerated climate ageing of building materials, components and structures in the laboratory*, J Mater Sci 47:6475–6496
- Lundgreen, J. (2019). Roskilde Tekniske Skole. Personlig kommunikation
- Santas, D. (ed.) (1989): *Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology*, Santas & Associates, Warwick, RI, 3rd edition, 239-260

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, creating a modern and abstract aesthetic.

8

BILAG

8 BILAG

8.1 Beskrivelse og tegning af afprøvningsudstyr til lufttæthedsprøvning

8.1.1 Rammer til DaLo forsøg:

Der produceres 10 kasser, hver kasse består af følgende dele:

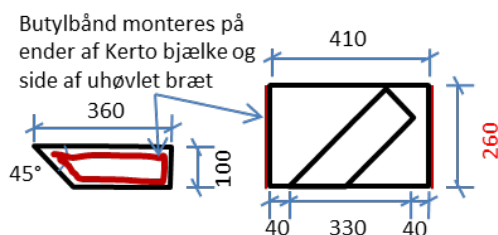
- 2 stk. Kerto bjælker (45 x 260 mm) på 450 mm.
- 2 stk. Kerto bjælker (45 x 260 mm) på 410 mm.
- 2 stk. uhøvlede brædder (25 x 100 mm) hvor den ene ende er skåret af i en vinkel på 45°, så den længste side måler 360 mm.
- 1 stk. 45 x 75 mm Kerto strø på 410 mm med cirkelformet rille hul i midten til placering af et Ø 50 mm plastrør.
- 1 stk. 200 mm Ø 50 mm plastrør forberedt for lufttæt afpropning i den ene ende inkl. muffe.
- 1 stk. 50 mm tyk mineraluldsmåtte 360 x 410 mm.
- Rammen samles med rustfri skruer.
- Samlingerne i rammens hjørner og mellem uhøvlet bræt og ramme udføres med dobbeltklæbende butylbånd, så kassen bliver lufttæt.

Beskrivelse:

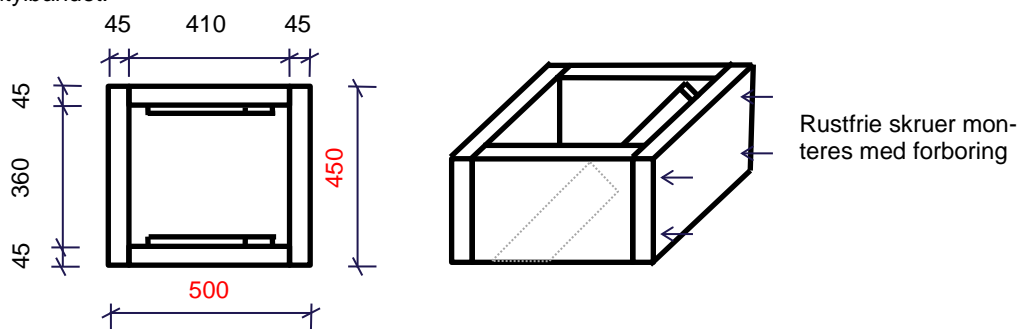
Skitser og beskrivelser er lavet med henblik på at få en forståelse af, hvordan rammerne er tænkt udformet. Ikke alle mål er lige væsentlige. Men størrelsen af klimakammeret er afgørende, derfor er nogle mål kritiske, disse er markeret med **rødt**.

Helt generelt er det væsentligt at rammerne skal kunne tåle at være i klimakammer med høj varme og luftfugtighed i et halvt år og stadig bevare formen.

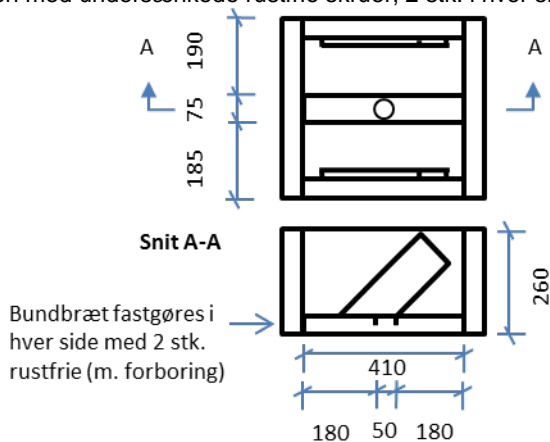
1. Et uhøvlet bræt (100 x 25) skåret af i en vinkel på 45° monteres på indersiden af hver af de korte Kerto bjælker, således at den skrå afskårne side, flugter med kassens underkant. Brættet anbringes ca. 4 cm fra bjælkeende. Brættet forsynes med dobbeltklæbende butylbånd på den side, der monteres mod Kerto bjælken. Brættet monteres med forsænkede rustfrie skruer. For enden af Kerto bjælkerne placeres butyltætningsbånd, som senere skal sikre lufttæthed.



- Selve rammen opbygges af 45 x 260 mm Kerto bjælker. Rammen skrues sammen med 2 stk. forsænkede rustfri skruer med forboring ved hver samling. Skruerne skrues gennem butylbåndet.



Bundbræt på 410 mm med cirkulær rille til Ø 50 plastrør i midten fastgøres ca. midt i rammen med undersænkede rustfrie skruer, 2 stk. i hver side



- I rillen monteres Ø 50 mm plastrør, plastrørets ende inde i rammen skal kunne afproppes lufttæt med muffe. Plastrøret behøver ikke slutte tæt til bundbrættet, men skal sidde fast, så en dampspærre kan klæbes til røret, og sådan at denne tætning ikke ødelægges, fordi røret ikke sidder fast. Evt. kan der monteres en klods under rammen, men denne må ikke være ret høj, da pladsen i klimakammeret er begrænset. Anvendes der klods, skal der tages hensyn til dette i udformningen af prøve-kassen, som rammerne skal sættes ned i.
- Der placeres 50 mm mineraluldsmåtte i bunden af rammen.
- Uvildige tømrere monterer herefter en dampspærre, fastgjort med tilhørende tape eller klæber.

8.1.2 Prøvningskasse til DaLo forsøg

Der produceres en kasse som rammerne skal testes i. Der er kun behov for en enkelt kasse, da denne kan genbruges. Som alternativ til MDF kan 22 mm krydsfiner anvendes. Kassens indre mål er afgørende, da de skal passe med rammen. Udvendige mål er ikke afgørende

Kassen består af følgende dele:

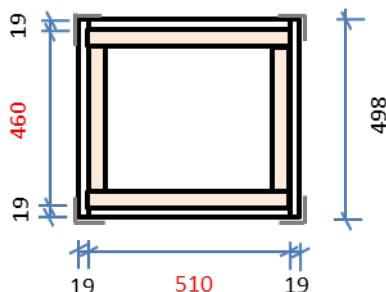
- 2 stk. 498 x 200 mm MDF plade (tykkelse på 19 mm)
- 2 stk. 510 x 200 mm MDF plade (tykkelse på 19 mm)
- 1 stk. 498 x 510 mm MDF plade (tykkelse på 19 mm) med Ø112 hul i midten
- 4 stk. vinkelbeslag med tilhørende skruer
- 2 stk. 45 x 45 mm lægter, længde 510 mm
- 2 stk. 45 x 45 mm lægter, længde 370 mm
- Fastgørelser af bundplade til ramme (vinkelbeslag eller skruer)
- Fugemasse til sikring af lufttæthed i samlinger
- Tætningsliste på oversiden af lægter i bunden af kassen.

Beskrivelse:

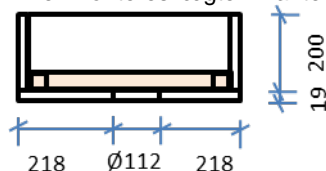
Skitsen og beskrivelser er lavet med henblik på at få en forståelse af, hvordan kassen er tænkt udformet. Ikke alle mål er lige væsentlige. Men da rammerne skal testes i kassen, er det vigtigt, at disse kan passe ned i kassen, dertil er der regnet 10 mm frirum i bredde og dybde. Nogle af målene er en konsekvens af den valgte tykkelse af MDF-pladen. Vælges et andet materiale eller tykkelse, skal målene tilpasses dette. Kritiske mål er angivet med **rødt**.

Kassen skal blot opbevares ved almindeligt laboratorieklima, derfor er kravene til klimabestandige materialer begrænset. Det er imidlertid meget vigtigt, at kassen er lufttæt, og at testrammerne kan sluttes lufttæt til kassen. Det forventes, at testrammerne spændes fast til kassen med skruetvinger. Mere avanceret anordning med bolte kan dog også komme på tale.

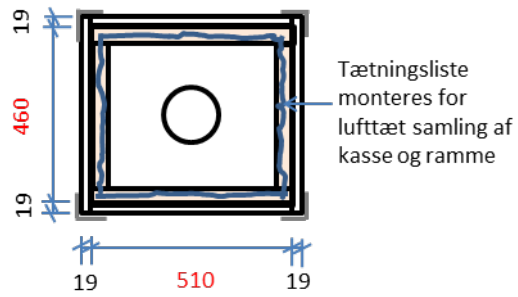
1. Fire MD- plader samles til rektangulær ramme med højden 200 mm. Samles fx med vinkelbeslag udvendigt. I samlinger fuges så lufttæthed opnås.



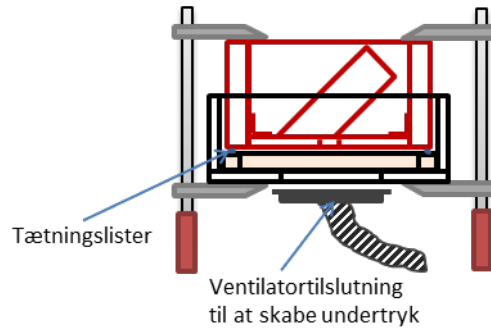
2. Som bund af kassen anbringes 498 x 510 mm MDF-plade (tykkelse på 19 mm) med Ø 250 hul i midten. Bunden fastgøres til rammen fx med udvendige vinkelbeslag. I samlingen fuges så lufttæthed opnås. "Ventilatorhoved" fra radonopstilling skal udefra kunne monteres lufttæt til bundpladen. Der monteres lægter i kanten af bunden.



3. Der monteres en tætningsliste på lægterne, så rammen kan slutte lufttæt til kassen, når rammen spændes fast til kassen med skruetvinger. Især ved hjørner kan dette være vanskeligt.



4. Princippet for den endelige opstilling vil være som skitseret nedenfor, dog er visse elementer forstørret på tegningen. Forsøgsrammen er tegnet med rødt, mens kassen er sort.



8.2 Beregning af diffusionsmodstand

Da de anvendte alubakker med tilhørende låg ikke var så tætte som forventet, kunne diffusionsmodstanden ikke beregnes så enkelt som beskrevet i standarden, derimod var det nødvendigt at inddrage målinger af såvel bakker, der var lukket med et låg med alubelægning, som ikke var så luft- og diffusionstæt som forventet og målinger af bakker med låg beklædt med det luft og diffusionstætte materiale stanniol.

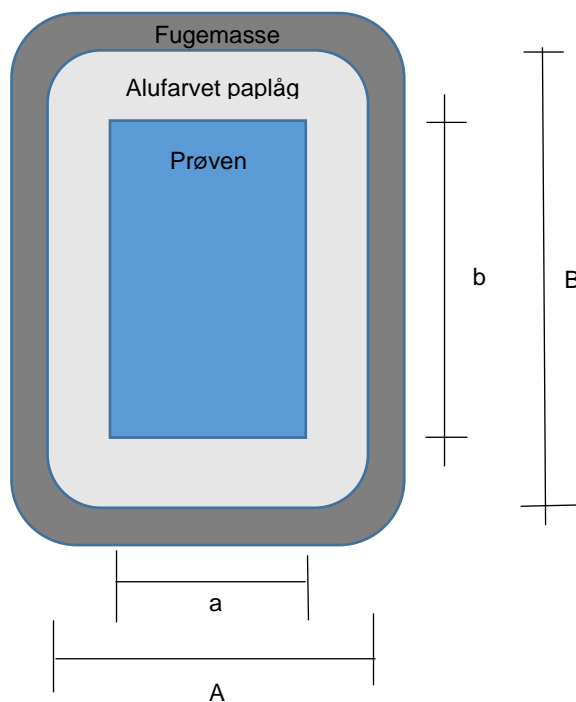
Fra en almindelig bakke kan der trænge fugt ind i koppen ad tre veje:

- $G_{utæt}$ = utætheder som følge af svigtende forsegling, kan bestemmes direkte ved at måle på bakker med låg beklædt med stanniol.
- $G_{papkant}$ = diffusion gennem papkanten mellem forsegling og prøvemateriale. Diffusionsmodstanden af materialet, der er brugt til låg, er målt i de prøver, hvor der ikke var skåret ud til materialeprøver. Dog skal $G_{utæt}$ fratrækkes, da der også i disse prøver er problemer med forseglingen.
- $G_{materiale}$ = diffusion gennem det undersøgte materiale, dvs. samlingen der er placeret i hullet i låget

Hvor G betegner en fugtstrøm i kg/s.

Ved forsøget måles der en samlet fugtstrøm ind i alubakken = G_{total} . Det betyder, at

$$G_{materiale} = G_{total} - G_{utæt} - G_{papkant}$$



For at bestemme $G_{papkant}$ er det nødvendigt at tage højde for, hvor stor en andel af låget der reelt er papkant i forhold til materialeprøve. Jf. ovenstående tegning kan andelen beskrives som $(AB-ab)/AB$. Det betyder at:

$$G_{materiale} = G_{total} - G_{utæt} - \frac{AB - ab}{AB} G_{pap}$$

Ved denne beregning er der sket flere forenklinger, dels er der ikke taget højde for alubakkens runde hjørner, dels er det ikke helt sandt, at $G_{papkant}$ faktisk kan udregnes ud fra

en simpel arealbetraktning og G_{pap} . Der vil være klæbet membran på bagsiden af papkanten, derfor er G_{papkant} sat til at være for stor, specielt i de prøver, hvor der er tale om en diffusionstæt membran. Denne afprøvning har til hensigt at vurdere, om der kommer væsentlige utætheder som følge af utætheder samlingen, DUKO-kravet er derfor alene en sammenligning mellem før og efter ældning, hvor det forventes at Z-værdien efter ældning er mindst, da en utæthed vil betyde mindre Z-værdi. Ved denne justering af de målte fugtændringer, bliver der trukket en for stor mængde fugt fra før og efter ældning. Det betyder, at forskellene blive gjort større, altså er der tale om en forenkling på den sikre side. Men det beregnede tal vil ikke være anvendeligt, kun forholdet mellem diffusion før og diffusion efter ældning vil være større, end der reelt er tale om.

For at en dampspærre skal være effektiv, er det nødvendigt, at ikke alene selve dampspærrematerialet er tæt, men at samlingerne også er tætte og bliver ved med at være det. I denne rapport afrapporteres resultaterne af projektet "Ydeevne af dampspærresystemer – før og efter ældning". Afprøvningerne er foretaget på ni forskellige dampspærresystemer og fokuserer på dampspærresamlingers ydeevne over tid. De afprøvede systemer lever alle op til de krav, der stilles af Dampspærre- og Undertagsklassifikationsordningen DUKO's klassifikationskrav til samlinger med hensyn til peelstyrke, aftrækningsstyrke samt diffusionstæthed før og efter ældning. I de fleste tilfælde skete bruddet ved aftræknings- og forskydningsforsøgene efter ældning mellem tapens bærelag og lim. Dermed er det efter ældning ikke vedhæftningen til materialet, der er afgørende, men alene tapen i sig selv. Specielt til dette projekt er der desuden udviklet en ny metode til måling af lufttæthed. Der er dog behov for yderligere forsøg, før resultaterne fra den nye metode kan omsættes til lufttæthed i praksis. Projektet indikerer, at der er behov for at sammenholde den ydeevne, der bestemmes for samlinger udført under ideale forhold, med de ydeevner, der opleves, når de samme membransystemer installeres under byggepladslignende forhold.

