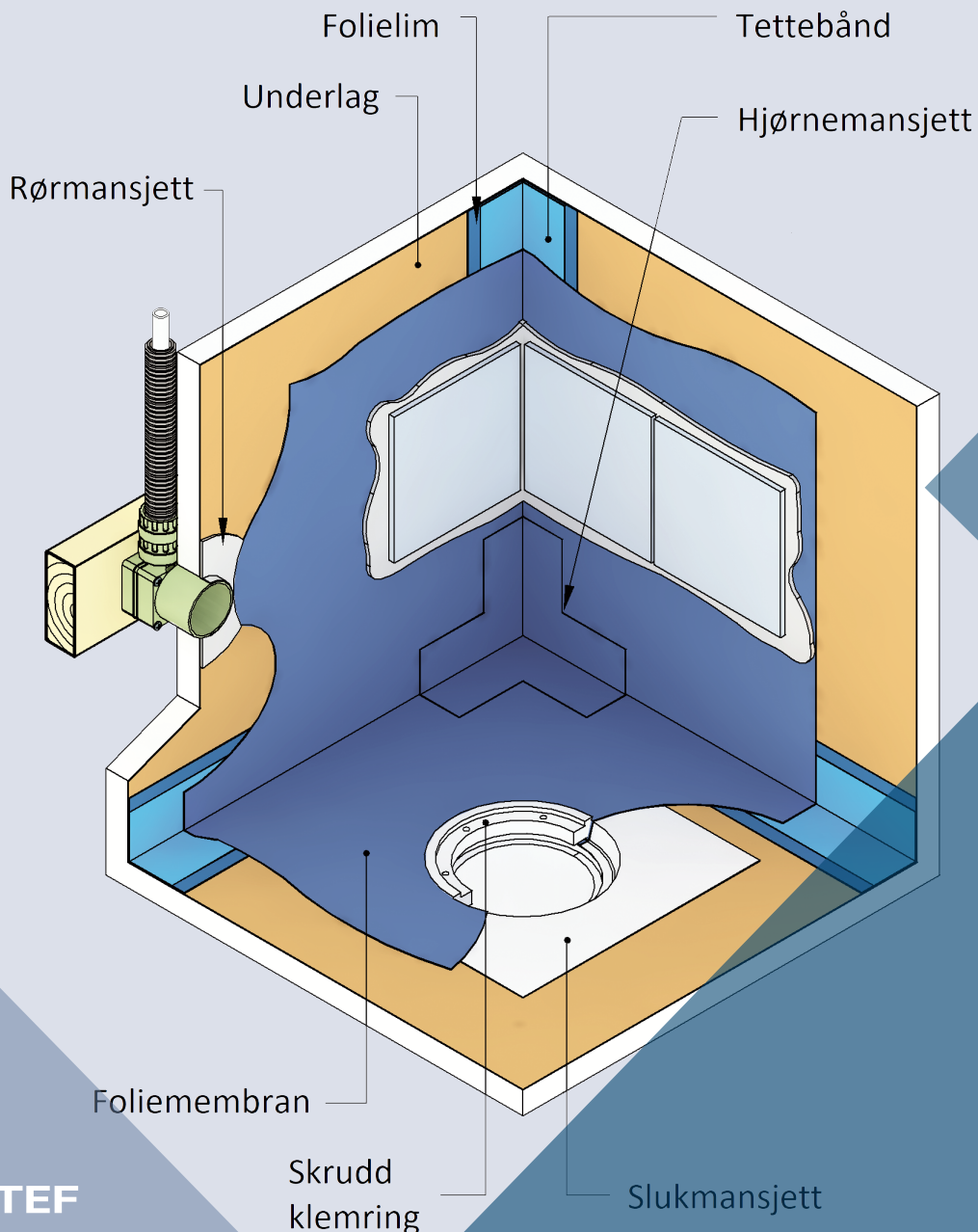


Levetider for våtroms- membraner i bygninger

KARTLEGGING AV NEDBRYTNINGSFAKTORER OG
TESTMETODER FOR Å ESTIMERE LEVETID



SINTEF Fag

Camilla Bakken Aas, Karolina Stråby og Lars-Erik Fiskum

Levetider for våtromsmembraner i bygninger

Kartlegging av nedbrytningsfaktorer og testmetoder for å estimere levetid

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 97

Camilla Bakken Aas, Karolina Stråby og Lars-Erik Fiskum

Levetider for våtromsmembraner i bygninger
Kartlegging av nedbrytningsfaktorer og testmetoder for å estimere levetid

Emneord:

Levetid, våtromsmembraner, foliemembraner, påstrykningsmembraner

ISSN 1894-1583

ISBN 978-82-536-1787-9 (pdf)

Prosjektnummer: 102019981-89

Illustrasjon omslag: SINTEF Community

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2022

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Community

Børrestuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

www.sintef.no/community

www.sintefbok.no

Forord

I dette prosjektet har målsettingen vært å kartlegge testmetoder for vurdering av levetiden til forskjellige typer våtromsmembraner.

Rapporten kartlegger ulike typer plast som brukes til våtromsmembraner, og identifiserer nedbrytningsmekanismer og ulike testmetoder som kan brukes for å estimere levetiden til våtromsmembranene.

Kartleggingen baserer seg på litteraturstudier.

Arbeidet er utført av SINTEF, avdeling Bygninger og installasjoner, faggruppe Sanitær og våtrom i Oslo.

Oslo, 22.12.2022

Lars-Erik Fiskum
Forskningsleder
SINTEF

Camilla Bakken Aas
Rådgiver
SINTEF

Sammendrag

Våtromsmembraner kommer i flere varianter og forskjellige typer polymerer. Egenskapene til disse produktene avhenger blant annet av hvordan de er bygd opp. Siden de forskjellige membranene kom på markedet, har det foregått utvikling og forbedring av alle våtromsmembraner og deres produksjonsprosesser. Egenskapene til våtromsmembranene vil derfor variere mellom tidsepoker og mellom ulike produsenter.

I dag er det stor mangel på levetidsdata for våtromsmembraner fra felt- og laboratoriestudier. Det er mange ulike faktorer som bryter ned polymerer og påvirker levetiden til våtromsmembraner, som for eksempel material- og installasjonskvalitet, eksponeringsmiljø og bruksbelastning. Nedbrytningsmekanismene er komplekse og sammensatte, samtidig som det mangler en fullstendig beskrivelse av dem. Derfor er det vanskelig å lage god statistikk, og det er stor usikkerhet knyttet til levetidsdata. Det er behov for økt kunnskap om de faktorer som fører til nedbryting, og de prosessene og nedbrytningsmekanismene som følger.

For å etablere levetidsdata er det viktig å finne passende markører og testmetoder som kan brukes for å bedømme endringer i plastmaterialer over tid. Endringer i markør bør også gjenspeile endring i funksjonelle egenskaper til membranen.

Videre arbeid vil bestå av å samle inn materialprøver fra felt, fastsette ulike egenskaper gjennom prøving samt å gi en kvalitativ og kvantitativ beskrivelse av eksponeringsmiljø. Etter at man har fastsatt egenskaper til våtromsmembraner som er utsatt for naturlig aldring, sammenliknes egenskapene med resultater fra prøving av nye våtromsmembraner gjennom korrelasjonsstudier.

Innhold

1	INTRODUKSJON.....	6
1.1	BAKGRUNN.....	6
1.2	FORMÅL OG OMFANG.....	7
2	VÅTROMSMEMBRANER.....	8
2.1	FUNKSJON.....	8
2.2	HISTORIKK.....	8
2.3	MEMBRANSYSTEM FOR VÅTROM.....	9
	<i>Generelt.....</i>	<i>9</i>
	<i>Påstrykningsmembraner.....</i>	<i>10</i>
	<i>Tykk banevare.....</i>	<i>10</i>
	<i>Foliemembraner.....</i>	<i>11</i>
2.4	TESTING AV NYE VÅTROMSMEMBRANER.....	11
3	FAKTORER SOM PÅVIRKER LEVETIDEN TIL VÅTROMSMEMBRANER.....	13
4	METODER FOR ESTIMERING AV LEVETID.....	16
4.1	FORUTSE ENDRINGER I EGENSKAPER OVER TID.....	16
4.2	MARKØRER FOR PÅVISNING AV NEDBRYTNING AV VÅTROMSMEMBRANER.....	16
4.3	KORRELASJON MELLOM AKSELERERT OG NATURLIG ALDRING.....	16
4.4	FELTSTUDIER.....	17
5	TESTMETODER FOR Å ESTIMERE LEVETID.....	18
5.1	STREKKSTYRKE OG BRUDDFORLENGELSE.....	18
5.2	HARDHET VED INNTRYKKING (SHORE).....	18
5.3	KARSTEN-RØR (PENETRASJONSTEST).....	18
5.4	VANNDAMPMOTSTAND.....	19
5.5	VANNETTHET VED TRYKKBELASTNING.....	19
5.6	FOURIER TRANSFORM INFRARØD SPEKTROSKOPI (FT-IR).....	19
5.7	GASSKROMATOGRAFI (GC-MS).....	20
5.8	OVERFLATEMORFOLOGI.....	20
5.9	MOLEKYLVEKT.....	21
6	FORSLAG TIL INNLEDENDE UNDERSØKELSER OG FELTSTUDIE.....	22
7	KONKLUSJON.....	23
8	REFERANSER.....	24

1 Introduksjon

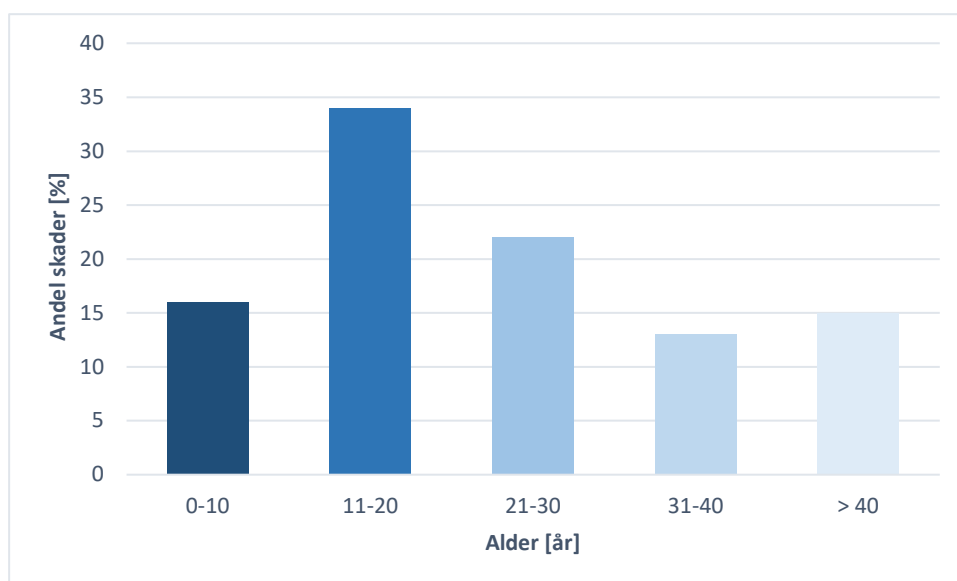
1.1 Bakgrunn

Gulv og vegger i våtrom utsettes for vannpåkjenning og fukt. For å unngå skader på konstruksjoner på grunn av bruksvann, vannsøl, lekkasjevann og kondens brukes vanntette sjikt (våtromsmembran). En viktig forutsetning for å unngå fuktskader er at membranen og tilhørende tettedetaljer rundt sluk, rørgjennomføringer og overganger mellom gulv og vegg er tette over tid.

Detaljert vannskadestatistikk fra Sverige viser at 15 % av alle vannskader skyldes lekkasje i tettesjikt i våtrom [1]. Figur 1 viser aldersfordeling på våtrom med lekkasje på gulv. Bad som er mellom 11 og 20 år gamle, topper vannskadestatistikken i Sverige. Årsaken blir ikke nevnt, men det er nærliggende å tro at de fleste bad skiftes ut før det oppstår lekkasje gjennom våtromsmembranen.

I de fleste norske våtrom er våtromsmembranen tildekket av keramiske fliser. Det gjør det vanskelig å kontrollere tilstanden til membranen. Risikoen for fuktskader øker med alderen på våtromsmembraner. Det enkleste verktøyet vi har for å vurdere gjenstående levetid er nåværende alder. Men det er store variasjoner i monteringsutførelse og bruksbelastning, noe som gjør det vanskelig å kun bruke alder som parameter for når våtromsmembranen må skiftes ut.

Fordi etablering av levetidsvurdering hittil i høy grad har vært basert på erfaringer og har foregått usystematisk, er det et stort behov for forbedrede data [3]. Økt kunnskap om levetider vil gi et bedre beslutningsgrunnlag for å vurdere framtidig dato for utskifting og bidra til mer bærekraftig forvaltning av våre bygninger.



Figur 1. Aldersfordeling på våtrom med lekkasje på gulv, registrert i 2021. Kilde: [1]

1.2 Formål og omfang

Formålet med denne rapporten er å se nærmere på levetidsestimering av våtromsmembraner av typene påstrykningsmembran, foliemembran og tykk banevare. Det omfatter blant annet å:

- kartlegge ulike typer plast som brukes til våtromsmembraner
- kartlegge nedbrytningsmekanismer og faktorer som påvirker levetiden til våtromsmembraner
- identifisere ulike testmetoder for å estimere levetid til våtromsmembraner
- kartlegge dokumenterte levetider for våtromsmembraner, både fra feltstudier og fra laboratoriestudier
- identifisere forskningsbehov og videre arbeid

2 Våtromsmembraner

2.1 Funksjon

Hovedfunksjonen til en våtromsmembran er å beskytte bakenforliggende konstruksjon [4]. Dette er beskrevet i byggt teknisk forskrift (TEK17) § 13-15 og sikres ved å installere et vanntett sjikt (våtromsmembran) i våtrommet. Våtromsmembranen sammen med tilhørende systemkomponenter skal beskytte konstruksjonen fra å bli negativt påvirket av fukt. Gjennomføringer i dette tettesjiktet skal heller ikke svekke tettheten. For våtromsmembraner i vegger og gulv mot kalde rom, er damp tettheten en viktig funksjon i tillegg til vanntettheten. Årsaken er at kapillært sug av damp mellom varme og kalde rom kan føre til fukt i bakenforliggende konstruksjon.

2.2 Historikk

Siden 1950-tallet har det blitt brukt forskjellige materialer for å oppnå vanntetthet i gulv og vegger, se Tabell 1. Med økt vannbelastning på våtrom har også kravene til vann- og damp tetthet økt, og metodene for vanntetting fra 1960-tallet er ikke tilstrekkelig for bruk i bad i dag.

For gulv ble det brukt glattpusset betong som vanntetting til godt inn på 60-tallet, og malt betong ble vurdert som vanntett. På 1970-tallet kom vanntett PVC. På 1970-tallet kom løs banevare under et lag av påstøp med varmekabler, før påstrykningsmembranen kom på midten av 1980-tallet. Tidlig på 2000-tallet ble det antatt at 60–70 % av membranene brukt i våtrom var påstrykningsmembraner [5].

For veggssystemer benyttet man ikke våtromsmembran, men maling var ansett som tilstrekkelig fram til rundt 1950. Da kom oljebehandlede bygningsplater på markedet, og kort tid etter kom vannfaste sponplater med flis eller tapet. Dette viste seg å være en dårlig løsning og ble frarådet i 1991. På 1990-tallet kom vinylbelegg på vegg og baderomspanel. I dag domineres baderom av keramiske fliser med underliggende påstrykningsmembran.

I Norge mangler det statistikk på fordeling av bruken av de forskjellige membransystemer for våtrom. Basert på innspill fra produsenter i bransjen er det antatt at påstrykningsmembraner er det mest solgte våtromsmembranen i Norge i dag, etterfulgt av foliemembraner og tykkere banevare. Baderomspanel og malingssystemer har foreløpig en liten andel av markedet.

Tabell 1. Sammenheng mellom byggeår og tekniske løsninger [6]

Før 1950	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2022
Gulv								
Glattpusset betong								
Påstøp på asfaltbelegg								
			Påstøp på selvklebende asfaltbelegg					
			Vinyl på plate eller betongpåstøp					
				Fliser på påstrykningsmembran				
					Fliser på påstøp på banevare			
							Fliser på foliemembran	

Før 1950	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2022
Vegg								
Maling på plater eller puss/sparkel								
Våtromstapet på plater								
		Baderomspanel						
					Vinylbelegg			
					Malingssystem for våtrom			
Fliser på plate uten membran								
			Fliser på gips med tettevæske					
				Fliser på gips med påstrykningsmembran				
					Fliser på våtromsplater			
					Fliser på banevare			
						Fliser på foliemembraner		

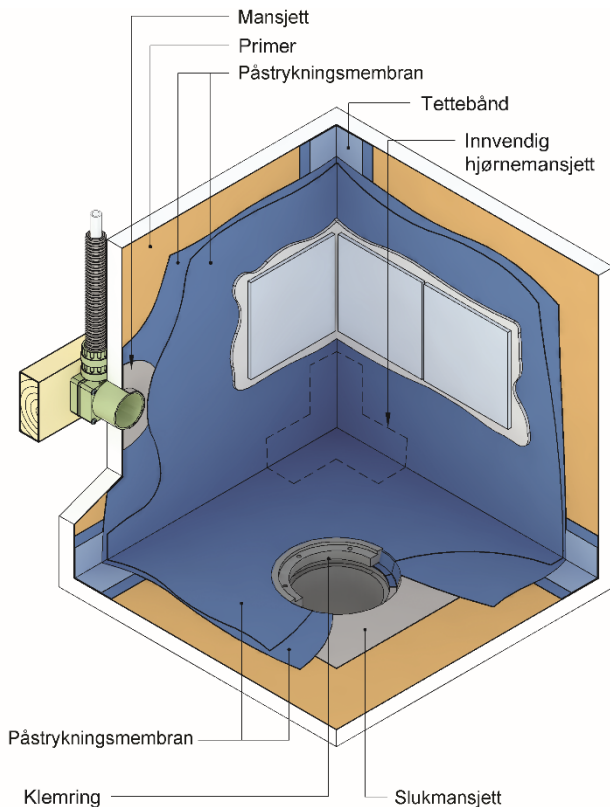
2.3 Membransystem for våtrom

Generelt

Våtromsmembranene er del av et vanntett system hvor flere komponenter fungerer sammen for å sikre vanntettheten. Systemkomponenter som kommer i tillegg til våtromsmembranen, kan for eksempel være heftprimer, primer for bedre vanndampmotstand, tettebånd, hjørneprofiler, rørmansjetter og slukmansjetter. Se Figur 2 for eksempel på oppbygging av et membransystem for våtrom.

Det fins ulike typer våtromsmembraner. Alle har samme vanntettende funksjon, men oppbygning, plassering i konstruksjonen, materiale og tilhørende systemkomponenter varierer mellom de forskjellige systemene.

Denne rapporten tar for seg metode for levetidsvurdering av våtromsmembraner av typene påstrykningsmembran og banevare – herunder foliemembraner og tykk banevare. Levetid for tilhørende tettedetaljer er ikke vurdert. Underkapitlene nedenfor gir en kort beskrivelse av de aktuelle systemene og deres oppbygning.



Figur 2. Eksempel på oppbygning og delkomponenter i et membransystem for våtrom (påstrykningsmembran). Kilde: SINTEF

Påstrykningsmembraner

En påstrykningsmembran (også kalt smøremembran) er enten en énkomponent masse av polymerpartikler fordelt i vann (dispersjon) eller en tokomponent masse av polymerdispersjon med et sementbasert pulver [7].

I tillegg til å være en vanntettende membran kan mange systemer fungere som dampsperre i våtrom, da særlig i kombinasjon med en primer med høy vanddampmotstand. Som del av systemet inngår også et tettebånd til bruk for skjøter i underlaget og overgang gulv-vegg, rørmansjetter tilpasset størrelsen til rørgjennomføringene og hjørnemansjetter. Disse komponentene bakes i hovedsak inn i våtromsmembranen for å sikre vanntetthet. Slukmansjett av butylgummi inngår også i systemet. Disse er ofte klebrige og limes rett på underlaget, og de overdekkes deretter av våtromsmembranen.

Montering av en påstrykningsmembran foregår på et underlag av mur, betong eller bygningsplater egnet for våtrom. Primer påføres i ett eller to strøk, og påstrykningsmembranen legges i to strøk med pensel eller rulle. Påstrykningsmembran dekkes som oftest av fliser, og systemene brukes både på vegg og gulv. For å sikre de vanntette egenskapene påføres påstrykningsmembranen med minst 1 mm tykkelse på gulv og minst 0,5 mm tykkelse på vegg [7].

Tykk banevare

Banevare er ca. 1,5 mm PVC, ofte med glassfiberarmering i kjernen. Våtromsmembranen fungerer ofte som både vannsperre og dampsperre i våtrom. Banevaren benyttes mest av alt på gulv, men det fins også veggløsninger [8, 9].

Banevare kan brukes både som overflatebelegg eller tildekt av fliser.

Produktet limes mot underlaget, med mindre de har selvklebende egenskaper. Skjøter sveises sammen. Dermed benyttes ikke tettebånd i disse systemene. Som en del av systemet inngår også en fugemasse som brukes til tetting rundt rørgjennomføringene.

Dersom banevaren tildekkes av fliser, inngår rørmansjetter og hjørnemansjetter som en del av systemet. Mansjettene er ofte lagd av samme materiale som banevaren og sveises sammen for å sikre vanntetthet.

Foliemembraner

Foliemembran er tynn banevare, ca. 0,5 mm i tykkelse, som består av en polyetenfilm med polypropenfibre på overflaten. Våtromsmembranen fungerer både som vannspærre og dampspærre i våtrom [10].

Folien limes til underlaget med et folielim [10]. Som en del av foliemembranen inngår også et tettebånd, slukmansjetter, rørmansjetter og hjørnemansjetter. Membransystemet dekkes deretter av fliser, og brukes på både vegg og gulv.

2.4 Testing av nye våtromsmembraner

Omfattende testing i henhold til en European Assessment Document (EAD) utføres for å sikre god kvalitet på membransystemene for våtrom som er på markedet.

Membransystemer for våtrom testes i henhold til sine respektive EAD-er:

- For tykke banemembraner og foliemembraner: EAD 030436-00-0503 Watertight covering kits based on flexible sheets for wet room floors and or walls, datert mars 2019
- For påstrykningsmembran og malingsystemer: EAD 030352-00-0503 Liquid applied watertight covering kits for wet room floors and/or walls, datert januar 2019

Se Tabell 2 for oversikt over de ulike testene for membransystemer for våtrom.

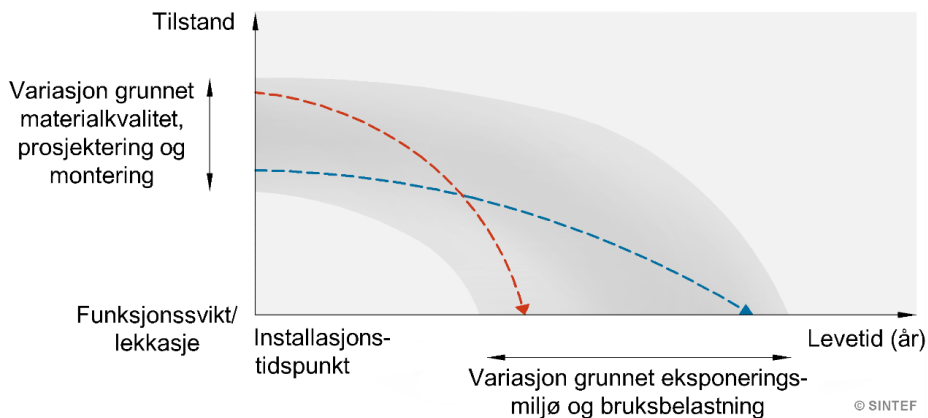
Dette er tester som bekrefter kompatibilitet mellom alle systemkomponenter, i tillegg til spesifikke egenskaper til våtromsmembranen, for eksempel vanntetthet, dampetthet og heftfasthet.

Tabell 2. Oversikt over EAD-tester for våtromsmembraner

Egenskap	Metode påstrykningsmembraner	Metode banevare
Vandampmotstand	NS-EN ISO 12572 [12] Vandampgjennomgang i materialet	
Vanntetthet	EN 14891 - A.7 [13] Vannsøyle med trykkbelastning	EN 1928 A [14] eller EN 13553 [15] Vannsøyle med trykkbelastning
Rissoverbyggende egenskaper	C.2 EN-1062-7 [16] Ved brudd i underlag av betong vil våtromsmembranen fortsatt være intakt.	
Heftfasthet	EN 14891 A.6.2 [13] Heftfasthet mellom våtromsmembran og flislim blir deklareret.	
Ripemotstand	Annex C [17] En pendel blir slått mot våtromsmembranen. Det skal ikke gå hull i våtromsmembranen. Testes for våtromsmembraner som ikke skal tildekkes av fliser	
Skjøtoverbyggende evne	EAD, Annex B [17] Ved 2 mm sprekk i underlaget skal skjøten være vanntett.	
Vanntetthet rundt gjennomføringer	EAD: For gulv: Annex A, og G [17]. For vegg Annex E eller F [17] Systemtest hvor en testkasse bygges opp og blir eksponert for sykluser av varmt og kaldt vann	
Motstand mot temperatur	EN 14891 A.6.5 [13] Heftfasthet mellom våtromsmembran og flislim blir deklareret etter eksponering for 70 °C i 4 uker.	Eksponering for 70 °C i 4 uker iht. EN 1296 [18]. Strekkfasthet og bruddforlengelse iht. EN 12311-1 [19], EN 12311-2 [20] eller EN13859 [21]
Motstand mot vann	EN 14891 A.6.3 [13] Heftfasthet mellom våtromsmembran og flislim blir deklareret og om økt vannbelastning vil ha negativ effekt på dette.	
Motstand mot alkalisk belastning	EN 14891 A.6.9 [13] Heftfasthet mellom våtromsmembran og flislim blir deklareret og om økt alkalinitet vil ha negativ effekt på dette.	EN 1847 [24] (EAD banevare, punkt 2.2.12. [25]) Brudd og strekkforlengelse
Motstand mot mekanisk påkjenning	-	EAD banevare, punkt 2.2.13 [25]
Joint strenght	-	EN 684 (PVC) [28], EN 12317-2 (plast eller gummi) [29]
Fleksibilitet	-	EN ISO 24344 [30]
Rengjørbarhet	-	EAD banevare, punkt 2.2.17 [25] Kun relevant dersom det er et overflatebelegg
Tykkelse	EAD Annex D [17]	EN ISO 24340 (PVC) [31]. EN 1849-1 (Plast eller gummi) [32]

3 Faktorer som påvirker levetiden til våtromsmembraner

Det er flere faktorer som påvirker levetiden til en våtromsmembran. I all hovedsak gjelder det: materialkvalitet, prosjektering og montering, eksponeringsmiljø og bruksfrekvens. Se Figur 3.



Figur 3. Levetid til membransystemer for våtrom er en funksjon av utgangspunkt og nedbrytningsfaktorer. Kilde: Byggforskserien 700.330 (under utgivelse)

Det som alene legger grunnlaget for levetiden til en våtromsmembran, er materialkvalitet. Materialet må være av god kvalitet, med god robusthet som er egnet for det eksponeringsmiljøet de skal brukes i. Våtromsmembraner er en del av et system, og de andre systemkomponentene må også ha disse egenskapene. I tillegg må alle systemkomponentene passe sammen, og ikke forringe hverandres kvalitet.

Prosjektering og montering vil også spille stor en rolle med hensyn til forventet levetid. Produktene må monteres riktig i henhold til produsentens monteringsanvisning. For å sikre at monteringsfeil ikke skjer, vil bruk av primer, tilstrekkelig herdetid, tykkelse på påstrykningsmembran og monteringsrekkefølge av delkomponenter være viktige punkter som må følges.

Levetiden vil også påvirkes av eksponeringsmiljøet til våtromsmembranen. Generelt er det seks faktorer som påvirker nedbryting og aldring av polymerer, se figur 4:

1) UV-stråling

Fotooksidativ nedbrytning er prosessen hvor et materiale brytes ned ved virkningen av lys. Fotooksidativ nedbrytning regnes som den primære kilden til skader på polymerer og fører til fysiske og optiske endringer i plasten [36]. Den synligste effekten er gulning av materialet, men også tap av mekaniske egenskaper, endringer i molekylvekt og molekylvektfordelingen.

2) Termisk nedbrytning

Nedbrytning av plastmateriale på grunn av UV-stråling og varme foregår på samme måte under normale forhold. Begge to er klassifisert som oksidativ nedbrytning [36]. Hovedforskjellen mellom dem er sekvensen av initieringstrinn som fører til autooksidasjonssyklusen i tillegg til at ved UV-eksponering vil nedbrytingen i hovedsak foregå i overflaten, mens ved varme vil nedbrytingen skje jevnt i materialet [36].

3) Naturlige medier

Luft, humiditet, jord og vann kan bidra til nedbrytning av plastmaterialer [35]. Generelt er plast bestandig mot vann [37], men for noen plastmaterialer, for eksempel polykarbonater og nylon, blir de kjemiske og mekaniske egenskapene påvirket av vann [38].

4) Kjemiske medier

Generelt er det bevist at plastmaterialer påvirkes av kjemisk eksponering, derav alkalisk belastning, hvor plastmaterialet kan gjennomgå nedbrytning der kjemiske stoffer reagerer med

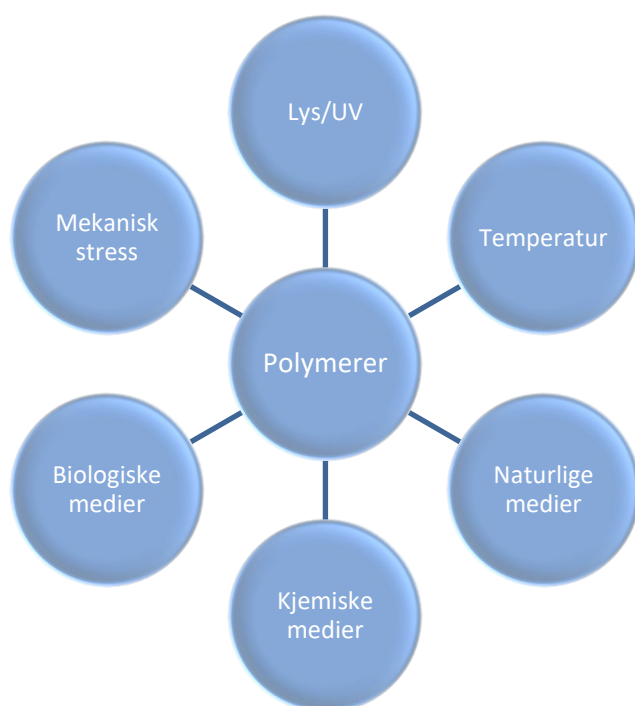
polymerer. Polyetylen (PE) og polypropylen (PP) er i utgangspunktet kjemikalieresistente og reagerer derfor langsomt med de fleste kjemikalier. I kombinasjon med varme kan reaksjonshastigheten derimot øke [39].

5) Biologisk nedbrytning

Under aerobe forhold danner mineralisering av organiske forbindelser CO_2 og vann, mens det under anaerobiske forhold danner metan og CO_2 [36]. Den kjemiske sammensetningen av polymerer spiller en viktig rolle for hvor utsatt en polymer er for mikrobiologisk nedbrytning. Dersom de termoplastiske polyolefinene bare inneholder langkjedede karbonforbindelser, vil de ikke være mottakelige for nedbrytning av mikroorganismer [36]. Det er vist at i varmere klimaer hvor RF er mer enn 70 %, vil nedbrytingen av polymerer på grunn av mikroorganismer øke. De optimale omgivelsene for biologisk nedbrytning er fuktighet mellom 63-99 % RF, pH 4.5-8.5, 10-40 °C, saltholdighet og tilstedeværelse av kosubstrater [35].

6) Mekanisk stress

Mekanisk nedbrytning skjer for eksempel på grunn av strekkspenning, bøyespenning, sprengkrefter eller slag som gir irreversible deformasjoner av materialet. Det kan føre til at materialet blir sprøtt eller at det oppstår brudd og sprekkdannelser [39]. Selv små mekaniske krefter i kombinasjon med aktive kjemikalier kan forårsake nedbrytning. Disse små spenningene virker som en katalysator og akselererer nedbrytingen [40].



Figur 4. Nedbrytningsfaktorer som påvirker polymerer [35]

Flere av eksponeringene nevnt over anses å påvirke levetiden til våtromsmembraner. I all hovedsak er dette relatert til vann- og alkalisk eksponering, men varme fra for eksempel varmekabler kan også være en akselerator for nedbrytning av et materiale. I tillegg er våtromsmembraner et sammensatt system hvor det benyttes flere forskjellige polymerer. Det er bevist i tidligere studier at kombinasjonen av flere polymerer endrer aldriingsatferden til et materiale og gjør den mer kompleks enn om polymerer blir brukt individuelt [41]. Samspeillet mellom tilstøtende polymerer under aldring er en kryssinfeksjonseffekt [41]. Dermed kan tilbehørsproduktene påvirke aldriingsatferden til våtromsmembranen. Det understreker videre viktigheten av feltstudier, da uforutsett nedbrytning kan skje i kombinasjon med alle de forskjellige materialene en våtromsmembran er i kontakt med.

Levetiden er også relatert til bruksbelastningen, det vil si hvor ofte og hvor lenge man bruker badet. I et bad som er jevnlig utsatt for dusjing, regner man med at flislimet er permanent vått. Dette er fordi vann suges opp gjennom fugemørtelen og videre inn i flislimet, og vannoppsuget skjer raskere enn uttørring ved diffusjon [42]. Den alkaliske eksponeringen kommer fra flislimet som ofte er betongbasert og derfor alkalisk.

Disse antakelsene korrelerer med den svenske vannskadestatistikken som viser at 80 % av alle lekkasjer skjer i gulv, der både vannbelastning, alkalisk belastning og temperaturen (dersom det er varmekabler), er høyest. Våtromsmembraner under flislim er ikke eksponert mot UV-bestråling eller slag og punkteringsrisiko slik overflatebelegg kan være.

Veggprodukter vil også være eksponert mot vann og alkalisk miljø dersom de ligger under et lag av fliser, men det antas å være noe mindre belastning enn på gulv, i hvert fall utenfor våte soner.

4 Metoder for estimering av levetid

4.1 Forutse endringer i egenskaper over tid

Våtromsmembraner utsettes for bruk og belastninger som kjemikalier og vann, og vil derfor brytes ned. Etter hvert vil våtromsmembranene ikke lenger oppfylle sin tiltenkte funksjon og forårsake lekkasjer. Levetiden kan derimot estimeres ved å forutse endringer i material-egenskaper over tid [43].

Et langtidsprogram som samler inn materialprøver fra felt over tid og ser på hvordan ulike egenskaper endrer seg, vil være en måte å estimere levetid under reelle bruksforhold. I denne sammenheng er det viktig å være klar over at det har vært en utvikling og forbedring av alle våtromsmembraner med tilhørende komponenter. Det antas derfor at levetiden til dagens våtromsmembraner er bedre enn tidligere. Det innebærer at en våtromsmembran fra 1980-tallet ikke nødvendigvis kan sammenliknes med dagens våtromsmembraner. I tillegg varierer egenskapene og materialsammensetningen til våtromsmembraner mellom produsenter.

4.2 Markører for påvisning av nedbrytning av våtromsmembraner

Ved vurdering av tilstand og levetid for en konstruksjon eller bygningsdel er det viktig å finne passende markører som kan brukes til å bedømme endringen. Følgende egenskaper til markører er identifisert [39]:

- Konsekvent forhold mellom nedbrytning av markør og nedbrytning av materialet
- Markøren bør fortrinnsvis følge en økende eksponentiell utvikling, slik at jo nærmere funksjonssvikt/brudd et materiale er, desto større variasjon kan man se i verdier.
- Verdien til markøren for et nytt materiale må være så konstant som mulig. Det samme gjelder for verdier ved funksjonssvikt/brudd.
- Testmetoden skal ha liten usikkerhet, være repeterbar og kunne brukes på forskjellige typer vanlige plastmaterialer for membransystemer for våtrom.

Det er ikke funnet forskning på hvilke nøkkelmarkører som påviser nedbrytning av våtromsmembraner, men det fins både mekaniske egenskaper og kjemiske analyser som brukes til å påvise nedbrytning av plastbaserte materialer generelt. Et utvalg av disse testmetodene er beskrevet i kapittel 5. Generelt er det mulig å måle kjemiske endringer forbundet med aldring mer presist enn mekaniske endringer i et produkt [44]. Derfor bør en multiskala tilnærming benyttes når man skal finne eventuelle kjemiske nedbrytningsmarkører. Det vil si at man utfører en krysskorrelert studie hvor man ser på kjemisk nedbrytning av våtromsmembranen mot de relevante funksjonelle egenskapene, for eksempel vanntetthet.

4.3 Korrelasjon mellom akselerert og naturlig aldring

Akselererte aldringstester i laboratoriet blir utført for å si noe om aldringsegenskapene til et produkt. Det gjøres ved å eksponere produktet for overdrevne belastninger som høy temperatur, eller økt frekvens av andre type stressfaktorer som skjer i bruksfase slik at aldringen på produktet skjer raskere og under kontrollerte forhold [36], [45]. Eksponeringene produktet blir utsatt for, og frekvensen av disse, må ha en etablert korrelasjon til naturlig aldring av et standard bruksmønster for produktet. Ideelt sett bør en akselerert testing framprovosere feil, nedbrytningsmekanismer og rangering av produkter observert i brukstilstand [45].

Hvor representative resultater fra tester med kunstig aldring er i forhold til naturlig aldring i felt, bør fastsettes ved hjelp av korrelasjonsstudier. Korrelasjonsstudier er essensielle da det er vist at den relative stabiliteten til plast raskt kan vurderes ved bruk av akselerert aldring i laboratorium. Desto raskere testen er, jo lavere er derimot relasjonen til reell atferd i felt [36].

4.4 Feltstudier

Det er knyttet stor usikkerhet til levetidsdata for våtromsmembraner. Etablering av data har i høy grad vært basert på erfaringer og foregått usystematisk. I tillegg mangler det forskningslitteratur på området per i dag. Med begrenset kunnskap om hvordan ulike typer våtromsmembraner brytes ned av forskjellige påvirkningsfaktorer, er det vanskelig å anslå levetid med stor presisjon.

For å øke kunnskapen om de sammensatte nedbrytningsmekanismene i våtromsmembraner som brukes i et bygg, er det derfor behov for feltstudier med uttak av prøver for analyse i laboratorium. Testing av våtromsmembraner fra bad i bruksfase, som har blitt eksponert for naturlig aldring, vil være et viktig første steg for å kunne etablere representative akselererte aldringstester i laboratoriet. Hvilke testmetoder man kan vurdere bruke på disse våtromsmembranene, er foreslått i kapitlene under. Metodene kan ikke brukes ukritisk: Man må først vite hvilke markører som representerer nedbrytning, se kapittel 4.2.

Tilgangen til en våtromsmembran i bruksfase er begrenset da produktet i de fleste tilfeller ligger utilgjengelig i konstruksjonen under et lag av fliser og det mangler sikre dokumenterte reparasjonsmetoder. Dermed er det egentlig bare mulig å hente ut prøver fra bad som skal rehabiliteres eller rives.

En potensiell barriere mot å hente ut naturlig aldrede våtromsmembraner er kvaliteten på prøvematerialet man henter ut. For å kunne gjøre mekaniske tester trenger man å få ut større, hele prøvebiter, noe som kan være utfordrende med tanke på at våtromsmembranen har ligget under et lag av flislim i mange år. For kjemiske analyser er man avhengig av å få ut rene nok prøver som ikke er kontaminert av de andre systemkomponentene, da det kan være vanskelig å skille ut i en analyse. Dette gjør det vanskelig å konkludere med hvilke testmetoder som egner seg på forhånd, fordi endringer kan forekomme etter at prøveuttak er tatt. Før man setter i gang med langtidsstudier bør man derfor gjennomføre en mindre pilotstudie hvor man ser på hva slags prøvemengde man har, og i hvilken tilstand prøvene er.

5 Testmetoder for å estimere levetid

5.1 Strekkstyrke og bruddforlengelse

Strekkprøving benyttes som metode for å fastsette styrken og stivheten til forskjellige materialer. Strekkstyrke er den maksimale spenning som kan måles av et gitt materiale før brudd inntreffer. Bruddforlengelse er den prosentvise forlengelsen av strekkprøven ved brudd.

I byggebransjen er strekkstyrke og bruddforlengelse en vanlig test å bruke for membraner. Den benyttes blant annet ved testing av nye våtromsmembraner i henhold til relevant EAD, men også for takmembraner, vindsperrer og dampsperrer. Testmetoden som brukes i forbindelse med banevare og foliemembraner, er NS-EN 12311-2 [20]. Under testen måles kraft og forlengelse av materialet. Testen foregår ved at et materiale strekkes i en strekkprøvemaskin fram til brudd inntreffer. Forlengelsen av materialet blir målt kontinuerlig.

Det er tidligere vist at strekkfastheten reduseres ved stigende temperatur i termoplast [37]. Alkalinitet påvirker også strekkstyrken i for eksempel glassfiberarmingen i et vinylbelegg, og man ser at gjenværende strekkstyrke reduseres gradvis etter eksponeringstid [46]. Metoden brukes derfor ofte i forbindelse med aldringstester av plastmaterialer.

Metoden vil ikke si noe direkte om vanntetthetsegenskapene til våtromsmembranen, men det er en antakelse at ved redusert strekkstyrke blir materialet mer sprøtt og risikoen for mikrosprekker øker. Det kan føre til lekkasjer, særlig rundt rørgjennomtrenginger hvor rørmansjettene i systemet ligger under konstant spenn og kan være utsatt for bevegelse.

5.2 Hardhet ved inntrykking (Shore)

Shore er en måleenhet for å bestemme inntrykkingshardhet til plast og gummi og måles ved hjelp av et durometer. Det fins to typer durometer avhengig av materialmykhet: Durometer type A blir brukt for mykere materialer, og durometer type D blir brukt for hardere materialer. Inntrykkingshardheten er omvendt relatert til penetrasjonen og avhenger av elastisitetsmodulen og materialets viskoelastiske egenskaper [47]. Metodikken som benyttes for å måle dette, er beskrevet i NS-EN ISO 868 [48]. Metoden brukes for å si noe om kvaliteten til et polymermateriale da økt hardhet i materialet vil føre til mindre fleksibilitet, som ofte ikke er ønsket for den type materiale. For våtromsmembraner vil dette være relevant da man ønsker et fleksibelt materiale som kan håndtere noe bevegelse i underlaget uten at det dannes sprekker.

Shore-test er brukt som en enklere og raskere metode for å si noe indirekte om strekkfasthet i et materiale. Det er funnet korrelasjon mellom Shore-hardhet og strekkfasthet i MS polymerlim [49]. Koch & Seidler utforsket korrelasjonen mellom inntrykkingshardhet og strekkfasthet, og fant ikke noe generelt lineært forhold mellom disse to for polymerer generelt, men korrelasjonen var avhengig av type polymer [50].

Det fins en del svakheter med Shore-test, blant annet sensitivitet for temperaturvariasjon og det at vinkelen måleapparatet har mot prøveobjektet påvirker resultatet. Dermed har metoden høy usikkerhet og begrenset repeterbarhet [47]. Testen er dog billig og effektiv, og kan være et supplement til andre tester.

5.3 Karsten-rør (penetrasjonstest)

For å estimere vannpermeabiliteten i et porøst materiale kan Karsten-rør benyttes som metode. Metoden måler absorpsjon av vann under trykk på vertikale flater [51] og går ut på å plassere et Karsten-rør mot en vegg. Det forsegles mellom vegg og rør, før røret fylles med vann. Røret står plassert i en gitt tid før det kontrolleres hvor mye vann som gjenstår i røret. Jo mindre vann som gjenstår i røret, jo høyere permeabilitet har veggen man kontrollerer. Metoden brukes til å kvantifisere vannpermeabiliteten til et belegg og estimerer på bakgrunn av dette

nedbrytningsgraden til belegget. Karsten-rør er en feltmetode som mest brukes for å vurdere fasader av betong og andre porøse materialer.

Metoden er i dag ikke brukt for å vurdere våtromsmembransystemer til våtrom. Det kan derimot undersøkes om denne metoden er egnet for å gjøre en innledende vurdering av vanntetthet til bad i felt.

Siden metoden mest brukes på porøse underlag, kan det være at testen er uegnet for membransystemer for våtromer som er mer vanntette enn betongsystemer. Dersom metoden viser seg å være egnet, vil den være direkte relatert til hovedfunksjonen til våtromsmembraner (vanntetthet) og derfor være en god indikator på forventet levetid. I teorien vil en svakere våtromsmembran ta opp mer vann enn en våtromsmembran med intakt funksjon. Potensielt kan testen være et hjelpemiddel til å finne korrelasjon mellom vanntetthet og kjemiske endringer i produktet. Generelt er det ofte mulig å måle kjemiske endringer forbundet med aldring mer konsist enn mekaniske endringer i et produkt [44].

5.4 Vanndampmotstand

NS-EN ISO 12572 [12], også kalt koppmetoden, benyttes for å beregne et produkts vanndampmotstand og hygroskopiske egenskaper. Testmetoden går ut på å plassere en kopp med enten tørkemiddel eller destillert vann på den ene siden av et testobjekt. Testobjektet plasseres så i et testkammer med kontrollert fuktighet og temperatur. På grunn av forskjellig partialtrykk mellom testkoppen og kammeret, vil damp trenge igjennom testobjektet. Periodisk veiing av testobjektet gjøres gjennom hele testperioden for å bestemme hastigheten på dampgjennomtrengingen i stabil tilstand. Begrepet som brukes for å beskrive materialets diffusjonsegenskaper, er diffusjonsekvivalent luftlagstykkelse (s_d), som oppgis i [m].

Denne metoden vil være høyst relevant i forbindelse med vurdering av levetid på våtromsmembraner da den er direkte relatert til vanntetthet. Metoden kan derimot være dyr og langtekkelig, noe som kan gjøre den uaktuell som en innledende pilotstudie. Det er også knyttet noe usikkerhet til om metoden er egnet for prøver tatt i felt.

5.5 Vanntetthet ved trykkbelastning

Vanntetthet ved trykkbelastning testes på påstrykningsmembraner og våtromsplater i henhold til NS-EN 14891 [13]. Våtromsmembranen monteres på en betongblokk og herdes før den blir eksponert for et vanntrykk på 150 kPa i sju døgn. Prøven veies før og etter eksponering, og blir kontrollert for lekkasje etter eksponering.

I forbindelse med estimering av levetid og feltstudier kan metoden modifiseres noe. For eksempel kan våtromsmembranen utsettes før et økende trykk fram til lekkasje blir framprovosert. Forventningen er da at nyere våtromsmembraner vil tåle et høyere trykk over lengre tid før lekkasje inntreffer. Metoden er direkte relatert til våtromsmembraners hovedfunksjon (vanntetthet), og vil som de to forannevnte metodene derfor være en god indikator på forventet levetid.

5.6 Fourier transform infrarød spektroskopi (FT-IR)

Fourier transform infrarød spektroskopi (FT-IR) viser materialsammensetningen til et produkt. De fysiske egenskapene til en polymerblanding påvirkes av strukturene til molekylkjedene, og disse endringene kan fanges opp i en FT-IR-analyse. FT-IR kan brukes for en kvantitativ og kvalitativ analyse av polymerblandinger, og for å undersøke nedbrytningsprosesser [52]. Avhengig av polymerblandingen er den i stand se endringer i materialsammensetningen, noe som kan hjelpe til med å forutsi deres mekaniske og fysiske egenskaper [52]. En FT-IR-analyse vil vise endringer i massespektre relativt til en referanseprøve (ueksponert).

Mest sannsynlig er karbonylindeks den vanligste indikatoren brukt til å måle kjemisk oksidasjon av polyolefiner, for eksempel PP og PE. Karbonylindeksen skal reflektere nedbryting av mekaniske egenskaper til disse polymerene [44]. Karbonylbåndet ligger 1712 cm^{-1} ved infrarød spektroskopi for å overvåke PP fotooksidasjon. I tidligere studier har det blitt konkludert at karbonylindeks ikke er en veldig robust metode for å vurdere effektiviteten til stabilisatorer i polymerer [44]. Bakgrunnen var, at for å vurdere fotooksidasjon, behøves det 40 timers bestråling før karbonylproduktene i materialet kan detekteres i FT-IR, noe som gjorde at det ble konkludert med at metoden ikke er så sensitiv for endringer i oksidasjonen av polyolefiner [44]. I forbindelse med levetidsestimering og feltstudier på våtromsmembraner er man ikke like interessert i den raske endringen i materialsammensetningen, men heller effekten det har over lengre tid. Dermed kan denne metoden være aktuell for disse undersøkelsene.

Dersom mekaniske tester utføres i tillegg, vil metoden vil være god som supplerende dokumentasjon av produktets kjemiske sammensetning.

5.7 Gasskromatografi (GC-MS)

Kromatografi med massespektrometer som detektor er en kjemisk analysemetode man kan bruke for å analysere innholdet og i hvilken mengde det forekommer i en våtromsmembran. Det fins flere varianter av kromatografi, blant annet gasskromatografi (GC-MS) og væske-kromatografi (LC-MS). For molekyler med lav molekylvekt og upolare stoffer vil GC-MS være aktuelt, mens LC-MS vil være mer egnet for tyngre molekyler og polare stoffer.

Ved å forbrenne prøvematerialet ved forskjellige temperaturer før prøvematerialet analyseres av GC-MS, vil man kunne si noe om hvordan materialet brytes ned ved akselererte temperaturer [36]. Dette kalles Pyrolyse-GC-MS og benyttes til å finne og semi-kvanifiserte additiver i plast [53]. Generelt vil en reduksjon av additiver som mykgjørere i en plastkomponent endre egenskapene til produktet, for eksempel sveiseegenskapene og fleksibilitet [54]. I denne metoden identifiseres flyktige pyrolyseprodukter ved forskjellige temperaturer ved hjelp av GC-MS [36]. Pyrolysatoren gir en forenklet prøvepreparering hvor en prøve blir lagt i en kopp i rustfritt stål, som legges inn i en liten vertikal ovn ved gravitasjonsfritt fall med trykknappmekanisme [36]. Pyrolysegassene fra prøvene går direkte inn i GC-MS analyse-systemet. Analysen anses som rask, presis og sensitiv, i tillegg til at det kreves minimalt med prøvemateriale, $10\text{-}100\mu\text{g}$ [53], noe som vil være en fordel ved feltstudier hvor man er usikker på hvor store prøvemengder man faktisk klarer å hente ut.

5.8 Overflatemorfologi

Ved bruk av et standard mikroskop eller SEM (Scanning electron microscope) kan man se på fysiske endringer på plastens overflate. Ved å sammenlikne uekspontert og eksponert materiale vil man kunne se endringer i overflaten over tid. Man ser blant annet etter tegn til sprekker, mikrobobler og porer [55].

Tidligere studier har blant annet vist at man kan se en reduksjon av volumet av myknere i overflaten på PVC-membraner eksponert for kulde [56] og at alkalisk nedbryting av silikongummi gir visuelle sprekker og mikrobobler sammenliknet med uekspontert materiale [57]. I denne studien fant man også at hardere aldringsparametre, altså høyere temperatur, ga mer misfarging, ujevnheter i overflaten og mikrosprekker i silikongummien.

Det fins en del levetidsstudier hvor overflatemorfologi blir brukt, både eksponert for UV-stråling [58] og alkalinitet [46]. Nedbryting av plastmaterialer på grunn av UV-stråling eller varme foregår på samme måte under normale forhold. Begge to er klassifisert som oksidativ nedbryting [36]. Hovedforskjellen mellom disse to er sekvensen av initieringstrinn som fører til autooksidasjonssyklusen, og at ved UV-eksponering vil nedbrytingen i hovedsak foregå i overflaten, mens ved varme vil nedbrytingen skje jevnt i materialet [36].

Metoden kan være aktuell å se på i forbindelse med nedbrytning av plastmaterialer og vurdering av levetid. Om det vil være mulig å hente ut prøver fra felt som har en overflate som lar seg undersøke, må studeres nærmere: Flislim og andre limprodukter kan være godt festet til produktet slik at det ikke lar seg gjøre. Ved akselererte laboratorietester burde metoden være mulig å gjennomføre.

Høyst sannsynlig vil denne testen ikke være god nok alene for å kunne si noe om aldring av våtromsmembraner, men overflatemorfologi kan være en informativ supplerende test.

5.9 Molekylvekt

Molekylvekten minsker over tid i takt med nedbrytning (oksidasjon) og kjededeling/oppbrytning av polymerkjedene. Studier har vist at lavmolekylære biprodukter produseres ved fotonedbryting av PVC, og at vektapsprosenten som funksjon av eksponeringstid kan brukes som et mål på nedbrytningsgraden [59]. Molekylvekt kan måles ved hjelp av for eksempel Gel Permeation Chromatography (GPC). Bruk av GPC og molekylvekt som markør for å estimere levetid, har derimot vist seg å ha stor feilmargin [39].

6 Forslag til innledende undersøkelser og feltstudie

Basert på utført litteraturstudie av ulike testmetoder for plastmaterialer og av hva slags kunnskap vi har når det gjelder levetiden til våtromsmembraner, anbefales det en mindre pilotstudie før det utføres langtidsstudier i felt. Som tidligere nevnt, kan kvaliteten og størrelsen på prøvematerialet være begrensende for hvilke tester som er aktuelle i forbindelse med en feltstudie. Derfor anbefales det å gjøre preliminære undersøkelser på hva som faktisk er mulig å utføre før langtidsstudier settes i gang. Ved en pilotstudie bør det tilstrebes å ta ut prøver fra steder der det erfaringsmessig er størst slitasje eller størst sannsynlighet for funksjonssvikt.

Testprogrammet bør kombinere analyser av mekaniske og kjemiske egenskaper. Helst bør de mekaniske egenskapene omhandle vanntetthet siden denne egenskapen er direkte relatert til funksjonssvikt i en våtromsmembran. Følgende tester kan være aktuelle:

- Vanntetthet eller vanndampmestand
- Molekylvekt
- FT-IR
- GC-MS

De testforslagene som er oppgitt i denne rapporten knyttet til vanntetthet, gir mest sannsynlig ikke kvalitative nok svar, men metodene kan videreutvikles og tilpasses dersom de skulle vise seg å være egnet i et større forskningsprosjekt.

Tester av FT-IR, overflatemorfologi/mikroskopi, shore-test og Karsten-rør kan utføres uten store kostnader og større prøvemengder. Noen av testene har dels stor usikkerhet, men kan gi gode supplerende resultater i forbindelse med en pilotstudie.

I tillegg vil en kartlegging av eksponeringsmiljø for de respektive prøvene gi verdifull kunnskap om forhold ved naturlig aldring. Når man har fastsatt egenskapene til våtromsmembraner som er utsatt for naturlig aldring, sammenliknes disse med resultater fra prøving av nye våtromsmembraner gjennom korrelasjonsstudier.

Neste trinn i testprogrammet vil være større levetidsstudier på våtromsmembraner i bruksfase, før etablering av korrelasjonsstudier der resultater fra testing av prøvelegemer fra felt sammenliknes med resultater fra testing av nye våtromsmembraner av tilsvarende materialer og tiltenkte bruksområder.

7 Konklusjon

Våtromsmembraner kommer i flere varianter og forskjellige type polymerer. Egenskapene til disse produktene avhenger blant annet av oppbygning. Siden de forskjellige våtromsmembranene kom på markedet, har det vært en utvikling og forbedring av alle våtromsmembraner og deres produksjonsprosesser. Egenskapene til våtromsmembranene vil derfor variere mellom ulike tidsepoker og mellom ulike produsenter.

Det er mange ulike faktorer som bryter ned polymerer og påvirker levetiden til våtromsmembraner, for eksempel material- og installasjonskvalitet, eksponeringsmiljø og bruksbelastning. Nedbrytningsmekanismene er komplekse og sammensatte, samtidig som det mangler en fullstendig beskrivelse av dem. Derfor er det vanskelig å lage god statistikk, og det er knyttet stor usikkerhet levetidsdata. Det er behov for økt kunnskap om de faktorene som fører til nedbrytning av våtromsmembraner, og de prosessene og nedbrytningsmekanismene som følger.

I dag er det stor mangel på levetidsdata fra felt- og laboratoriestudier av våtromsmembraner. For å etablere levetidsdata er det viktig å finne passende markører og testmetoder som kan brukes for å bedømme endringer i plastmaterialer over tid. Endringer i markør bør også gjenspeile endring i funksjonelle egenskaper til våtromsmembranen.

Videre arbeid vil bestå av å samle inn materialprøver fra felt, fastsette ulike egenskaper gjennom prøving samt å gi en kvalitativ og kvantitativ beskrivelse av eksponeringsmiljø. Etter at man har fastsatt egenskapene til våtromsmembraner som er utsatt for naturlig aldring, sammenliknes disse med resultater fra prøving av nye våtromsmembraner gjennom korrelasjonsstudier.

8 Referanser

- [1] Vattenskadecentrum, 'Vattenskaderapporten - samlet statistikk om vattenskador'. 2022. [Online]. Available: <http://www.vattenskadecentrum.se/rapporter>
- [2] SINTEF, 'Byggforskserien 700.320 Intervaller for vedlikehold og utskifting av bygningsdeler', no. 3.0, Feb. 2017.
- [3] SINTEF, 'Byggforskserien 700.307 Definisjoner, etablering og bruk av levetidsdata for bygg og bygningsdeler', no. 1.0, Vår 2004.
- [4] *Byggteknisk forskrift (TEK17)*. 2020. [Online]. Available: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/vi/13-15/>
- [5] Lars-Erik Fiskum, 'Fuktsikring i våtrom - typiske lekkasjesteder', presented at the Nasjonal seminar om Fukstader, Oslo, Jun. 09, 2004.
- [6] SINTEF, 'BVN 25.110 Vurdering av enkeltbad før delvis fornyelse eller full modernisering', no. 2.0, Høst 2009.
- [7] SINTEF, 'BVN 34.321 Påstrykningsmembran – systemer og montering', *Novemb. 2020*, no. 2.0, Nov. 2020.
- [8] SINTEF, 'BVN 34.410 Vinylbelegg for golv. Legging', no. 2.0, Høst 2010.
- [9] SINTEF, 'BVN 34.420 Vinylbelegg for vegg. Montering', no. 3.0, Høst 2010.
- [10] SINTEF, 'BVN 34.335 Foliemembran – systemer og montering', vol. 2.0, Nov. 2020.
- [11] SINTEF, 'BVN 34.341 Våtromsplater av ekstrudert polystyren (XPS) – systemer og montering', no. 2.0, Nov. 2019.
- [12] Standard Norge, 'NS-EN ISO 12572 Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties — Cup method'. 2016.
- [13] Standard Norge, 'NS-EN 14891 Flytende vanntette membraner til bruk under keramiske fliser festet med lim - Krav, prøvingsmetoder, vurdering og verifisering av ytelse, klassifisering og merking'. 2017.
- [14] Standard Norge, 'NS-EN 1928 Tetningsmaterialer på rull - Takbelegg av asfalt, plast eller gummi - Bestemmelse av vanntetthet'. 2000.
- [15] Standard Norge, 'NS-EN 13553 Halvhårde gulvbelegg - Våtromsbelegg av polyvinylklorid - Krav'. 2017.
- [16] Standard Norge, 'NS-EN 1062-7 Maling og lakk - Beleggmaterialer og beleggssystemer for utvendig mur og betong - Del 7: Bestemmelse av egenskaper for sprekkoverbygging'. 2004.
- [17] EOTA, 'EAD 030352-00-0503 Liquid applied watertight covering kits for wet room floors and/or walls'. Jan. 2019.
- [18] Standard Norge, 'NS-EN 1296 Tetningsmaterialer på rull - Takbelegg av asfalt, plast eller gummi - Metode for langvarig kunstig aldring i varme'. 2000.
- [19] Standard Norge, 'NS-EN 12311-1 Tetningsmaterialer på rull - Del 1: Takbelegg av asfalt - Bestemmelse av strekkeegenskaper'. 1999.
- [20] Standard Norge, 'NS-EN 12311-2 Tetningsmaterialer på rull - Bestemmelse av strekkeegenskaper - Del 2: Takbelegg av plast eller gummi'. 2013.
- [21] Standard Norge, 'NS-EN 13859-1 Tetningsmaterialer på rull - Definisjoner og kjennetegn for banevarer til vindspærre eller undertak - Del 1: Undertak for tekninger med omlegg'. 2014.
- [22] Standard Norge, 'NS-EN 12089 Varmeisoleringsprodukter til bruk i bygninger - Bestemmelse av bøyeeegenskaper'. 2013.
- [23] EOTA, 'EAD 030437-00-0503 Watertight covering kits based on inherently watertight boards for wet room floors and or walls'. Mar. 2019.
- [24] Standard Norge, 'NS-EN 1847 Tetningsmaterialer på rull - Takbelegg av plast eller gummi - Metoder for eksponering mot vann eller andre væsker'. 2009.
- [25] EOTA, 'EAD 030436-00-0503 Watertight covering kits based on flexible sheets for wet room floors and or walls'. Mar. 2019.

- [26] Standard Norge, 'NS-EN 13813 Støpte gulvbelegg eller avrettingslag, og materialer - Gulvmasser - Egenskaper og krav'. 2002.
- [27] Standard Norge, 'Ns-EN 660-2 Halvharde gulvbelegg - Bestemmelse av slitestyrke - Del 2: Frick-Taber-prøving'. 1999.
- [28] Standard Norge, 'NS-EN 684 Halvharde gulvbelegg - Bestemmelse av sveisens styrke'. 1995.
- [29] Standard Norge, 'NS-EN 12317-2 Tetningsmaterialer på rull - Bestemmelse av skjærstyrke i skjøt - Del 2: Takbelegg av plast eller gummi'. 2010.
- [30] Standard Norge, 'NS-EN ISO 24344 Halvharde gulvbelegg - Bestemmelse av bøyelighet og nedbøyning (ISO 24344:2008)'. 2012.
- [31] Standard Norge, 'NS-EN ISO 24340 Halvharde gulvbelegg - Bestemmelse av sjikttykkelse (ISO 24340:2006)'. 2012.
- [32] Standard Norge, 'NS-EN 1849-1 Tetningsmaterialer på rull - Bestemmelse av tykkelse og flatedensitet - Del 1: Takbelegg av asfalt'. 1999.
- [33] Standard Norge, 'NS-EN 324-1 Trebaserte plater - Bestemmelse av mål på plater - Del 1: Bestemmelse av tykkelse, lengde og bredde'. 1993.
- [34] Standard Norge, 'NS-EN 823 Varmeisoleringsprodukter til bruk i bygninger - Bestemmelse av tykkelse'. 2013.
- [35] Prof. Dr. Samuel Affolter, 'Long-Term Behaviour of Thermoplastic Materials', *Interstate Univ. NTB*, 2008.
- [36] B. Singh and N. Sharma, 'Mechanistic implications of plastic degradation', *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 93, no. 3, pp. 561–584, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008.
- [37] Henning Johansen, 'Plastmaterialer, Kompendium', *Høgsk. Gjøvik*, no. 10, 2012.
- [38] J. R. White and A. Turnbull, 'Weathering of polymers: mechanisms of degradation and stabilization, testing strategies and modelling', *J. Mater. Sci.*, vol. 29, no. 3, pp. 584–613, Feb. 1994, doi: 10.1007/BF00445969.
- [39] M. B. Sanders, 'Techniques to Determine the Remaining In-Service Life of Polymer Pipes for the Water Industry', Imperial College London, 2010.
- [40] L. Costa, M. P. Luda, and L. Trossarelli, 'Ultra-high molecular weight polyethylene: I. Mechano-oxidative degradation', *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 55, no. 3, pp. 329–338, Mar. 1997, doi: 10.1016/S0141-3910(96)00170-X.
- [41] X. Liu and R. Yang, 'Cross-infection in thermo-oxidation of polymers', *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 161, pp. 7–12, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2019.01.009.
- [42] Trond Bøhlerengen, 'Én dampspærre er nok', *sintef.no*, Oct. 05, 2015. Accessed: Dec. 12, 2022. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/community/fagblogg/poster/en-dampspærre-er-nok/>
- [43] K. Pielichowski and J. Njuguna, *Thermal Degradation of Polymeric Materials*. Shawbury, United Kingdom: Rapra Technology, 2005.
- [44] C. Rouillon *et al.*, 'Is carbonyl index a quantitative probe to monitor polypropylene photodegradation?', *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 128, pp. 200–208, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2015.12.011.
- [45] K. Gradeci and M. Sletnes, 'The Hybrid-Agile Design of Experiments Methodology', *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2069, no. 1, p. 012039, Nov. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2069/1/012039.
- [46] J.-P. Won, S.-J. Lee, Y.-J. Kim, C.-I. Jang, and S.-W. Lee, 'The effect of exposure to alkaline solution and water on the strength–porosity relationship of GFRP rebar', *Compos. Part B Eng.*, vol. 39, no. 5, pp. 764–772, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.compositesb.2007.11.002.
- [47] M. I. Mohamed and G. A. Aggag, 'Uncertainty evaluation of shore hardness testers', *Measurement*, vol. 33, no. 3, pp. 251–257, Apr. 2003, doi: 10.1016/S0263-2241(02)00087-8.

- [48] Standard Norge, 'NS-EN ISO 868 Plast og ebonitt - Bestemmelse av inntrykingshardhet ved hjelp av et durometer (Shore-hardhet) (ISO 868:2003)'. 2003.
- [49] J. Bitenieks, R. M. Meri, J. Zicans, R. Berzins, J. Umbraško, and U. Reknerns, 'Modified silyl-terminated polyether polymer blends with bisphenol A diglycidyl ether epoxy for adhesive applications', *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 111, p. 012017, Jan. 2016, doi: 10.1088/1757-899X/111/1/012017.
- [50] T. Koch and S. Seidler, 'Correlations Between Indentation Hardness and Yield Stress in Thermoplastic Polymers', *Strain*, vol. 45, no. 1, pp. 26–33, Feb. 2009, doi: 10.1111/j.1475-1305.2008.00468.x.
- [51] R. Duarte, I. Flores-Colen, J. de Brito, and A. Hawreen, 'Variability of in-situ testing in wall coating systems - Karsten tube and moisture meter techniques', *J. Build. Eng.*, vol. 27, p. 100998, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.job.2019.100998.
- [52] U. Riaz and S. M. Ashraf, 'Characterization of Polymer Blends with FTIR Spectroscopy', in *Characterization of Polymer Blends*, S. Thomas, Y. Grohens, and P. Jyotishkumar, Eds. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2014, pp. 625–678. doi: 10.1002/9783527645602.ch20.
- [53] F. Akoueson *et al.*, 'Identification and quantification of plastic additives using pyrolysis-GC/MS: A review', *Sci. Total Environ.*, vol. 773, p. 145073, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145073.
- [54] M. Novotný, 'Degradation of PVC Waterproofing Membrane containing Plasticizers', *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 728, no. 1, p. 012008, Jan. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/728/1/012008.
- [55] Anette Synnøve Groven and Ingrid Alver Hovsbakken, 'Mikroplastfibre i det marine miljø: Nedbrytning og utslipp av additiver som følge av UV-eksponering', Bacheloroppgave i Kjemiingeniør, NTNU, Trondheim, 2020.
- [56] M. Novotný and I. Misar, 'Pathological changes waterproof membranes and their identification', *MATEC Web Conf.*, vol. 93, p. 02008, 2017, doi: 10.1051/mateconf/20179302008.
- [57] J.-F. Masson *et al.*, 'Degradation and service-life prediction of silicone rubber in a highly alkaline environment simulating concrete', *Eng. Fail. Anal.*, vol. 138, p. 106305, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.106305.
- [58] Z. Ouyang *et al.*, 'The photo-aging of polyvinyl chloride microplastics under different UV irradiations', *Gondwana Res.*, vol. 108, pp. 72–80, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.gr.2021.07.010.
- [59] E. Yousif *et al.*, 'The effect of high UV radiation exposure environment on the novel PVC polymers', *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 10, pp. 9945–9954, Apr. 2019, doi: 10.1007/s11356-019-04323-x.

Levetider for våtromsmembraner i bygninger

KARTLEGGING AV NEDBRYTNINGSFAKTORER OG TESTMETODER FOR Å ESTIMERE LEVETID

Risikoen for lekkasjer fra våtromsmembraner øker med alderen til membranene. Nedbrytningsmekanismene er komplekse og sammensatte, samtidig som det mangler en fullstendig beskrivelse av dem.

I denne rapporten ser vi nærmere på hva som fins av eksisterende informasjon om levetidsestimering av våtromsmembraner. Videre kartlegger vi ulike testmetoder for å estimere levetid og peker på forskningsbehov og videre arbeid.

Videre arbeid vil bestå av å samle inn materialprøver fra felt, fastsette ulike egenskaper gjennom prøving samt gi en kvalitativ og kvantitativ beskrivelse av eksponeringsmiljøet. Etter at vi har fastsatt egenskapene til våtromsmembraner som er utsatt for naturlig aldring, vil disse egenskapene sammenliknes med resultater fra prøving av våtromsmembraner utsatt for kunstig aldring gjennom korrelasjonsstudier.