

# Tetting av bygningskroppen ved bruk av teipprodukter



SINTEF Fag

Stig Geving, Malin Sletnes, Lars Gullbrekken, Susanne Frank og Petra R  ther

# **Tetting av bygningskroppen ved bruk av teipprodukter**

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 102

Stig Geving, Malin Sletnes, Lars Gullbrekken, Susanne Frank og  
Petra R  ther

## **Tetting av bygningskroppen ved bruk av teipprodukter**

Emneord:

Lufttetthet, regntetthet, teip, dampspærre, vindspærre, bestandighet

ISSN 1894-1583

ISBN 978-82-536-1809-8 (pdf)

ISBN 978-82-536-1810-4 (trykt)

Prosjektnummer: 102020444

Foto omslag:

  Testhuset på Voll  , Nicola Lolli, SINTEF Community

50 eks. trykt av AIT Grafisk

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard



   2023 Forfatterne. Utgitt av SINTEF akademisk forlag

Denne rapporten er publisert med åpen tilgang etter CC BY-lisensen

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Community

B  restuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

[www.sintef.no/community](http://www.sintef.no/community)

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

## Forord

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra kunnskapsprosjektet *TightEN – Durable adhesive airtight solutions for energy effective building envelopes* (2019–2023). Rapporten er et resultat av omfattende forskningsarbeid og sammenfatter resultater fra forskningsartikler, master- og prosjektoppgaver.

Det overordnede målet med *TightEN*-prosjektet har vært å øke kunnskap om klebeløsninger til bygningsformål og deres bestandighet. God og varig lufttetthet er et viktig bidrag til å oppnå energieffektive bygg, og derfor har man i Norge stadig skjerpet kravet til bygningers lufttetthet.

Tradisjonelt har man brukt klemming med klemlister for å tette overlapp av vind- og dampsperrer og deres overganger til andre bygningsdeler som vinduer, dører, ventilasjonskanaler og gjennomføringer av rør og kabler. Imidlertid viser nyere felt- og laboratoriestudier at disse løsningene kan oppnå forbedret lufttetthet ved bruk av teip.

I Norge er det vanlig å fokusere på både dampsperrer og vindsperre for lufttetting av bygningskroppen. Disse produktene er som regel skjult bak kledning og ikke lett tilgjengelig for utskifting, og derfor må ytelsen opprettholdes over flere tiår.

Rapporten fokuserer først og fremst på praktiske aspekter ved bruk av teip for lufttetting, men den gir også bakgrunnsinformasjon om luftlekkasjer i bygninger og en oversikt over produkter, krav og testmetoder. Rapporten er rettet mot prosjekterende og utførende, og viser spesielt hvilke praktiske hensyn som er viktige for å oppnå tilstrekkelig lufttetthet over tid.

Vi vil takke alle involverte, forskere og studenter, men spesielt prosjektpartnerne BMI, Isola, Siga og Veidekke for deres bidrag både til finansiering og verdifull input til forskningsarbeidet. Prosjektet ble finansiert av Norges forskningsråd (nr. 294894).

Trondheim, august 2023

Jonas Holme  
Forskningsjef  
SINTEF Community

Petra Rüther  
Prosjektleder  
SINTEF Community





## Preface

This report summarizes the results of the knowledge building project *TightEN – Durable adhesive airtight solutions for energy-efficient building envelopes* (2019–2023). The report is a product of extensive research work and consolidates findings from research articles, master's theses, and project assignments.

The overarching goal of the TightEN project was to enhance knowledge about adhesive solutions for building purposes and their durability. Effective and lasting airtightness is a crucial contribution to achieving energy-efficient buildings, which is why the requirements for airtightness in buildings have been continuously tightened in Norway over many years.

Traditionally, clamping with battens has been used to seal overlaps of vapor barriers and wind barriers, as well as their transitions to other building components such as windows, doors, ventilation ducts, and penetrations of pipes and cables. However, recent field and laboratory studies show that these solutions can achieve improved airtightness through the use of tapes.

In Norway, the focus is commonly on both vapor barriers and wind barriers for the airtightness of the building envelope. These products are typically concealed behind cladding and not easily accessible for replacement, so their performance must be maintained over several decades.

The report primarily focuses on practical aspects of using tape for airtightness, while also providing background information on air leakage in buildings and offering an overview of products, requirements, and testing methods. The report is aimed at designers and contractors, highlighting the practical considerations necessary to achieve sufficient long-term airtightness.

We would like to thank all those involved, researchers and students, but especially the project partners BMI, Isola, Siga, and Veidekke for their contributions, both in terms of funding and valuable input to the research work. The project was funded by the Norwegian Research Council (Grant No. 294894).

Trondheim, August 2023

Jonas Holme  
Research Director  
SINTEF Community

Petra R  ther  
Project Manager  
SINTEF Community

# Innhold

<b>1</b>	<b>BAKGRUNN</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>LUFTLEKKASJER I BYGNINGER</b> .....	<b>7</b>
2.1	GENERELT .....	7
2.2	TYPISKE LUFTLEKKASJER .....	9
2.3	BETYDNING AV LUFTLEKKASJER FOR VARMETAP .....	11
<b>3</b>	<b>TEIP OG KLEBPRODUKTER</b> .....	<b>13</b>
3.1	PRODUKTER, MATERIALER OG EGENSKAPER .....	13
3.2	TESTMETODER FOR TEIP – YTELSE OG BESTANDIGHET .....	14
	<i>Utvikling av en ny mellomskala testmetode for lufttetthet .....</i>	<i>14</i>
	<i>Akselerert aldring og korrelasjon til naturlig aldring .....</i>	<i>16</i>
	<i>Mikroklima for teip brukt på vindspærre og/eller undertak .....</i>	<i>22</i>
3.3	KRAV I SINTEF TEKNISK GODKJENNING .....	24
	<i>Grunnlag for krav til teip i SINTEF Teknisk Godkjenning .....</i>	<i>24</i>
	<i>Krav for teip til damp- og lufttetting i SINTEF Teknisk Godkjenning .....</i>	<i>25</i>
<b>4</b>	<b>ERFARINGER FRA PROSJEKTERING OG UTFØRELSE</b> .....	<b>27</b>
4.1	GENERELT .....	27
4.2	ERFARINGER FRA PROSJEKTERING .....	27
4.3	ERFARINGER FRA UTFØRELSE .....	28
4.4	EKSEMPLER FRA BYGGEPLASS .....	32
<b>5</b>	<b>KLEMTE SKJØTER – DEN TRADISJONELLE TETTEMETODEN</b> .....	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>ANDRE ASPEKTER VED BRUK AV TEIP</b> .....	<b>44</b>
6.1	DAMPTETTHET TIL TEIPPRODUKTER .....	44
6.2	REGNTETTHET MED TEIP SOM TETTELØSNING RUNDT VINDU .....	45
<b>7</b>	<b>ANBEFALINGER FOR VALG OG BRUK AV TEIP</b> .....	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>REFERANSER</b> .....	<b>47</b>

## 1 Bakgrunn

Bygningsindustrien står overfor stadig økende krav om energieffektivitet, bærekraftighet og miljøhensyn. For å oppnå målene om redusert energiforbruk og lavere klimagassutslipp er det essensielt å utvikle bygningskomponenter og -løsninger som er holdbare og oppfyller kravene gjennom hele bygningens levetid.

Lufttetthet i bygningskroppen er et viktig ledd i å møte krav om en energieffektiv bygningskropp. Kravet i byggeteknisk forskrift (TEK) til lufttetthet i bygninger har over mange år stadig blitt strammet inn, spesielt siden diskusjonen om passivhusløsninger dukket opp på midten av 2000-tallet. Sammen med innføring av passivhusstandarden NS 3700 i 2010 har dette ført til sterkere fokus på metoder for å oppnå bedre lufttetthet i bygningskonstruksjoner.

I Norge har det vært tradisjon for å tette bygningskroppen fra både utsiden (ved hjelp av vindsperre) og innsiden (ved hjelp av dampsperre), mens man i resten av Europa tradisjonelt har hatt hovedfokus på dampsperras tetthet. Skjøtene mellom vind- og dampsperrer samt overganger til andre bygningsdeler som vinduer, grunnmur, takkonstruksjoner og gjennomføringer av kanaler og kabler er helt sentrale for å oppnå god lufttetthet. Skjøter og overganger har tradisjonelt blitt tettet ved bruk av klemlekter, alternativt ved bruk av tettematerialer som fugemasse eller fugeskum.

De siste 15 årene har imidlertid klebeprodukter, og spesielt teip, gjort sitt inntog på det norske markedet og blitt kanskje det viktigste tetteproduktet for bygningskroppen. Siden den første SINTEF Teknisk Godkjenning for et teipprodukt ble utstedt i 2012, er det i dag 15 teipprodukter med godkjenning. I tillegg kommer mange teipprodukter som er en del av godkjenninger for vind- og dampsperrer.

Bruk av klebeprodukter for å sikre tilstrekkelig lufttetthet i bygningskropper er relativt nytt. Derfor har det manglet kunnskap om hvordan teip og klebeprodukter fungerer generelt – og spesielt over tid. I bygningskroppen brukes det mange forskjellige materialer som klebingen skal fungere imot, for eksempel tre (malt og umalt), gipsplater, plast (PVC, PE), stål og betong. Enkelte teiper fungerer mot svært mange underlag, mens andre kan være mer spesialiserte. Felles er at heftegenskapene til hver type underlag bør være dokumentert med tilfredsstillende resultat.

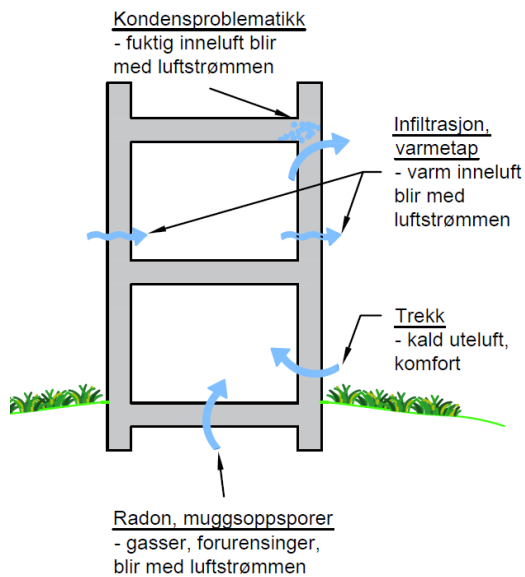
Disse løsningene må fungere over tid siden produktene vanligvis er skjult bak kledning og ikke lett tilgjengelige for utskifting. For å teste bestandigheten til disse løsningene brukes det i dag akselerert aldring i laboratoriet, noe som er ressurskrevende. I prosjektet er det gjennomført et omfattende testprogram for å prøve å finne korrelasjon mellom naturlig aldring, altså under reelle forhold, og aldring i laboratoriet.

I tillegg til valg av riktig produkt er utførelse av avgjørende betydning for at klebeløsningene skal vare over flere tiår. Det er viktig at detaljene, for eksempel rundt vinduer eller ved etasjeskillere, er planlagt slikt at de er tilgjengelige for installering av teip og at det er praktisk mulig å utføre tetting på en enkel og effektiv måte. Forskjellige teipprodukter har ulike bruks-egenskaper som man må ta hensyn til når teipen skal monteres, for eksempel fleksibilitet/elasticitet, krav til monteringsstemperatur og krav til fuktighet i underlaget.

## 2 Luftlekkasjer i bygninger

### 2.1 Generelt

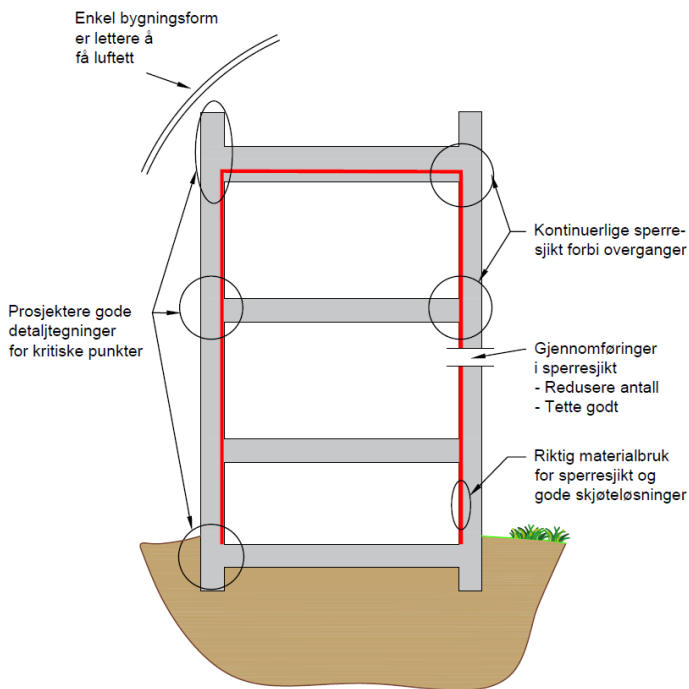
Hovedhensikten med å bruke teip er å redusere luftlekkasjer og bidra til bedre lufttetthet for byggets ytterkonstruksjoner. Det er viktig at ytterkonstruksjonene har god lufttetthet både med tanke på energiambisjonene og for å unngå fuktskader, se figur 2.1. I tillegg har det betydning for varmekomfort (trekk), luktspredning, lydisolasjon, brannsikkerhet og sikkerhet mot radon. Bygg med svært høye energiambisjonene og lavt lekkasjetall ( $n_{50}$ ) krever bedre og mer gjennomførte løsninger når det gjelder lufttetthet enn bygg hvor man kun forholder seg til minstekravene i TEK. Tilsvarende stilles det ekstra strenge krav til lufttettheten i bygg som svømmehaller hvor eventuelle luftlekkasjer kan gi store fuktskader sammenliknet med for eksempel en tørr lagerbygning.



Figur 2.1. Hovedkonsekvensene av lufttransport. Kilde: Geving (2021).

Hovedprinsipper man vanligvis bruker for å oppnå lufttette konstruksjoner, er illustrert i figur 2.2, hvor teip kan bidra til bedre lufttetting for de fleste av de viste prinsippene. Blom & Uvsløkk (2012) gir en grundig gjennomgang av årsaker til og tiltak mot luftlekkasjer i bygninger, tettematerialer, tettemetoder og kritiske tettedetaljer.





Figur 2.2. Hovedprinsipper for lufttetting. Kilde: Geving (2021)

Økte energiambisjoner har vært hoveddriveren for stadig bedre lufttetthet i Norge de senere årene – både i form av myndighetskrav og prosjektspesifikke krav om for eksempel passivhusnivå. Luftlekkasjer i et bygg fører til et ekstra luftskifte, i tillegg til det som går gjennom ventilasjonsanlegget og kan gjenvinnes med varmegjenvinner. Dette ekstra luftskiftet gir et varmetap som kalles infiltrasjonsvarmetap. Infiltrasjonsvarmetapet avhenger blant annet av byggets lufttetthet og vindpåvirkning.

Et mål for byggets lufttetthet er det såkalte lekkasjetallet  $n_{50}$  ( $h^{-1}$ ), det vil si luftskiftet man har ved 50 Pa trykkforskjell mellom ute og inne. Måling av lekkasjetallet gjennomføres typisk med en «blower door» som vist i figur 2.3. Krav til lekkasjetallet i byggt teknisk forskrift (TEK) har blitt stadig strengere de senere årene, eksempelvis fra et energitiltakskrav på  $2,5 h^{-1}$  (småhus) og  $1,5 h^{-1}$  (øvrige bygninger) i TEK07 til  $0,6 h^{-1}$  (småhus, boligblokker) i TEK17. Mange nybygg oppnår nå vesentlig lavere lekkasjetall enn  $0,6 h^{-1}$ . Omfattende bruk av teip til tetting av skjøter i vind- og dampspærre, fuger rundt vinduer og dører, tetting rundt gjennomføringer og tetting av andre overganger har vært viktig i utviklingen mot stadig bedre lufttetthet.

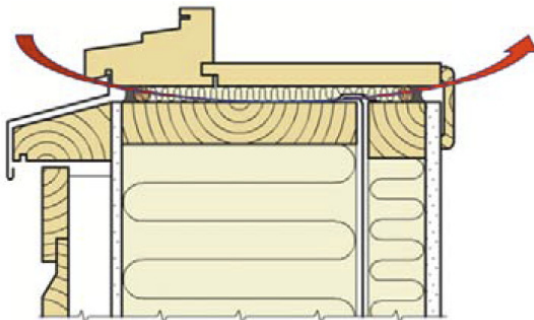


Figur 2.3. Måling av lekkasjetallet  $n_{50}$  ved hjelp av en «blower door» med vifte som settes inn i en ytterdør. Foto: Lars Gullbrekken, SINTEF Community

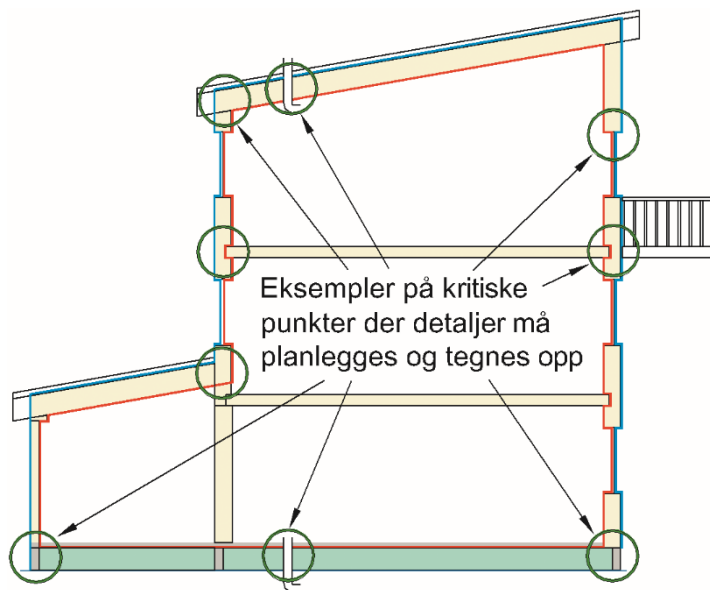
## 2.2 Typiske luftlekkasjer

Luftlekkasjer oppstår gjerne i overganger mellom forskjellige ytterkonstruksjoner, for eksempel mellom yttervegg/fundament og yttervegg/vindu, se figur 2.4. Gullbrekken et al. (2020) gjennomførte en litteraturstudie av tilgjengelige laboratiemålinger for å kartlegge typiske luftlekkasjer i norske og nordiske bygninger (boliger). De fant at den mest typiske lekkasjen var i overgangen mellom yttervegg og bjelkelag. I tillegg var fugen mellom yttervegg og vindu samt gjennomføringer i sperresjiktene blant de hyppigst opptredende lekkasjepunktene. For å sikre god lufttetthet i slike overganger er det viktig å lage detaljtegninger av dem, se figur 2.5. Teip benyttes i stadig større grad for å oppnå god lufttetthet i disse overgangene og bør tegnes inn på detaljtegninger der det er tenkt benyttet.

Gullbrekken et al. (2020) sammenliknet også forskjellige laboratiemålinger for lufttettheten ved overgangene vegg/bjelkelag, vegg/grunnmur og vegg/vindu. De fant at med bruk av teip i vind- og dampsperssjiktet og mot vindusfuger oppnådde man tilnærmet fullstendig lufttett overgang – det vil si at luftlekkasjene var i størrelsesorden 1 000 ganger mindre enn ved bruk av tradisjonelle klemte skjøter. Imidlertid er det viktig å presisere at de tradisjonelle klemte skjøtene i utgangspunktet ga tilfredsstillende lufttetthet sett i sammenheng med forskriftskrav.



Figur 2.4. Eksempler på luftlekkasje ved overganger mellom yttervegg og vindu.



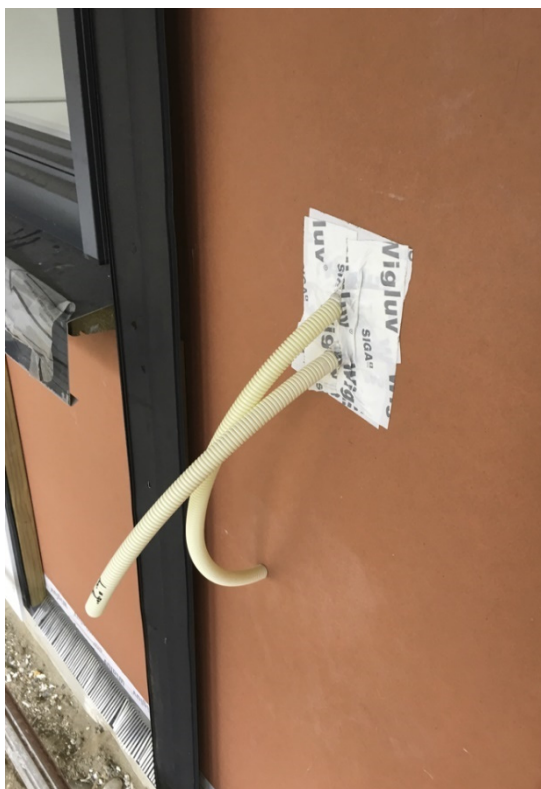
Figur 2.5. Overganger mellom ytterkonstruksjoner hvor luftlekkasjer lett kan oppstå. Kilde: Byggforskserien 520.401.

Lufttettheten ved overgangene vist i figur 2.4 er gjerne avhengig av at man oppnår kontinuitet i sperresjiktene (vindsperre og dampsperre), eller at sperresjiktene avsluttes lufttett mot for eksempel vinduskarm. I tillegg er skjøtene til vind- og dampsperra viktige for lufttettheten. Tradisjonelt har disse skjøtene blitt klemt med klemler, men tetting med teip har nå trolig blitt den vanligste tettemetoden, eventuelt i kombinasjon med klemler. Se figur 2.5.



Figur 2.5. Eksempel på tetting av vindsperreskjøter med teip. Enkelte overflateskader på GU-plata er også blitt reparert med teip. Foto: Stig Geving, SINTEF Community

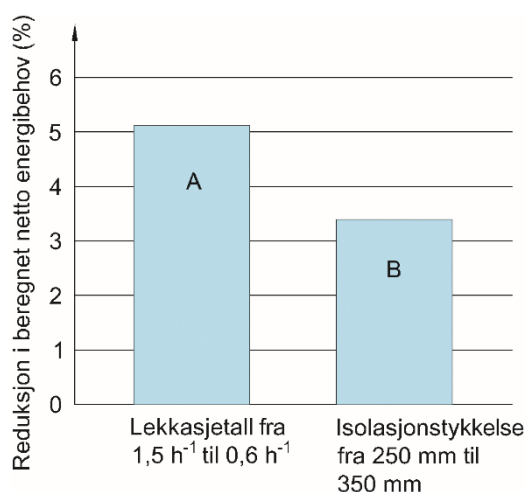
Gjennomføringer gjennom sperresjiktene er risikoområder for luftlekkasjer. Mens det ofte blir tegnet detaljtegninger av større gjennomføringer, for eksempel store ventilasjonskanaler, blir det sjelden gjort for mindre gjennomføringer. Enkle tetteprodukter som fleksible teiper og mansjetter er derfor nyttige produkter for enkelt å sikre god lufttetthet. Se figur 2.6



Figur 2.6. Tetting med teip rundt gjennomføring. Foto: Stig Geving, SINTEF Community

### 2.3 Betydning av luftlekkasjer for varmetap

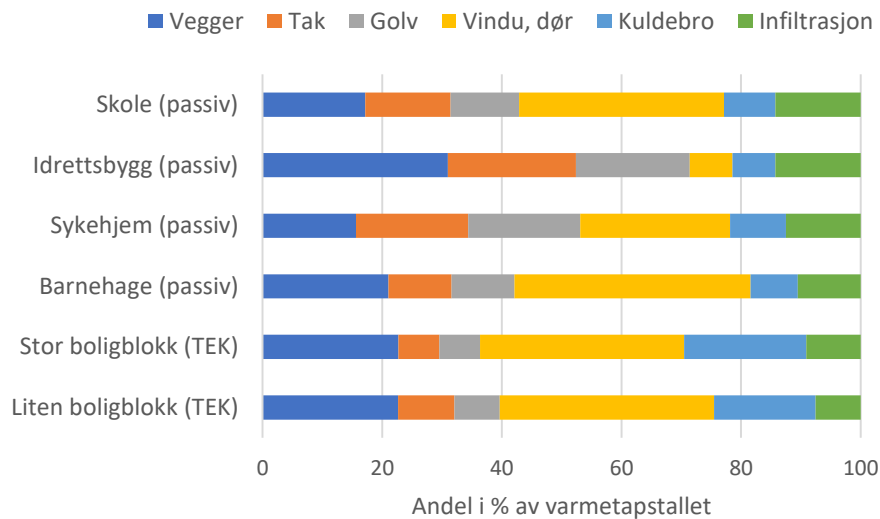
Luftlekkasjer gjennom klimaskjermen kan stå for en betydelig andel av en bygnings varmetap. Figur 2.7 viser et eksempel på effekten av å bedre lekkasjetallet  $n_{50}$  sammenliknet med effekten av å øke isolasjonstykkelsen i veggene for en boligblokk bygd etter TEK10. Lekkasjetallet er redusert fra  $1,5 \text{ h}^{-1}$  (minimumskravet i TEK17) til  $0,6 \text{ h}^{-1}$  (energiltakskravet i TEK17), mens isolasjonstykkelsen er økt fra 250 til 350 mm. Vi ser at reduksjonen i lekkasjetall gir ca. 5 % reduksjon i netto energibehov.



Figur 2.7. Eksempel på effekten av å forbedre en bygnings lekkasjetall (A) sammenliknet med effekten av å øke isolasjonstykkelsen i veggene (B). Tallene gjelder for en boligblokk med oppvarmet bruksareal (BRA) på  $2\,550 \text{ m}^2$  med moderat skjerming mot vind, balansert ventilasjon med 70 % varmegjenvinning, moderat vindusareal (15 % av BRA) og øvrige U-verdier i henhold til TEK10. Kilde: Byggforskserien 520.401



I figur 2.8 er det illustrert hvordan (det beregnede) varmetapet på grunn av transmisjon og infiltrasjon (luftlekkasjer) er fordelt for seks reelle prosjekter prosjektert etter henholdsvis passivhusstandardene NS 3700/3701 og TEK17. Vi ser at andelen av det totale varmetapet for infiltrasjon utgjør fra ca. 7–9 % for TEK-byggene og ca. 10–14 % for passivhusene. Varmetapsandelen fra infiltrasjon er altså større for passivhusene, noe som skyldes at lekkasjetallene stort sett er like ( $0,6 \text{ h}^{-1}$ ) på alle prosjektene. Det gir relativt lik infiltrasjon, men siden transmisjonstapet er redusert for passivhusene (lavere U-verdier og kuldebroverdier), blir den relative andelen større for infiltrasjonen.



Figur 2.8. Illustrasjon av andel for transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap for seks reelle prosjekter. kilde: Geving (2021).

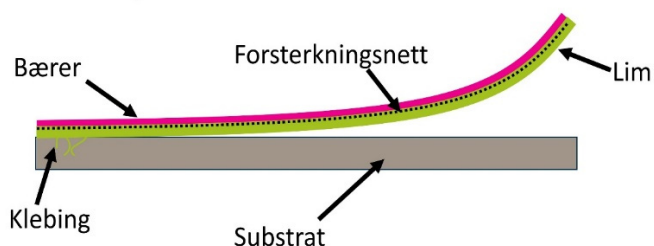
## 3 Teip og klebeprodukter

### 3.1 Produkter, materialer og egenskaper

Det fins ulike teip- og klebeprodukter for lufttetting av bygninger, hvor materialer og utforming er tilpasset ulike sperresjikt og detaljer. Teipprodukter på rull brukes til festing, skjøting og reparasjoner av membraner, i overgangen mellom ulike bygningskomponenter/-deler, tetting mot dør og vindu på inn- og utvendig side samt til tetting rundt gjennomføringer i vind- og dampsperrsjiktet. Enkelte vindsperrer og undertak kommer med integrert klebefelt for skjøting, og det fins også spesialprodukter med klebefelt, for eksempel mansjetter for tetting rundt rør- og kabelgjennomføringer. Dette delkapittelet omhandler først og fremst teipprodukter på rull, selv om mange av egenskapene og testmetodene vil være like for klebefelt og mansjetter.

Teip til byggformål består ofte av tre komponenter, se figur 3.1: en bærer, et lim og et forsterkningsnett. Ikke alle teiper har forsterkningsnett. Enkelte tøyelige butylteiper består av kun lim og forsterkningsnett. I en dobbeltsidig teip er limet er lagt på begge sider av bæreren.

Teipene leveres vanligvis med et beskyttelsespapir – også kalt liner – på limsiden. Teiper uten beskyttelsespapir er behandlet med et materiale på oversiden av bæreren som gjør at limet ikke hefter til denne siden. Dette vil legge begrensninger for bruk av teipen i anvendelser der teip legges med overlapp.



Figur 3.1. Illustrasjon av en teip som er klebet mot et substrat.

#### Lim

Limet på de fleste byggteiper er av typen trykksensitivt (engelsk: pressure sensitive adhesive, PSA). Det vil si at limet ikke herder, men at det er viskositeten til limet og overflateinteraksjonen mellom limet og det materialet det klebes mot (substratet) som gir grunnlag for heft. Hovedandelen av byggteiper på markedet har enten akryl- eller butylbasert lim. Akrylteiper er mest vanlig i bruk for skjøting, mens butylteiper ofte brukes der det er behov for tetting for luft eller vann uten at teipen utsettes for betydelige krefter. Teip som ikke er beregnet for byggformål, har gjerne lim av et annet materiale, som er billigere i produksjon, men oftest har lavere ytelse og bestandighet.

Eksempler på egenskaper ved limet som har stor betydning for teipens heft på kort og lang sikt, er:

- type lim (oftest akryl eller butyl)
- mengde lim
- viskositeten til limet
- temperaturegenskapene til limet, ofte representert ved limets glassomvandlingstemperatur ( $T_g$ ). Over  $T_g$  er limet formbart og tøyelig, mens under er det hardt og sprøtt.
- overflateenergien til limet

#### Bærer

Bæreren kan være lagd av ulike plastmaterialer (oftest polyolefiner, som polyetylen eller polypropylen), plastimpregnert papir eller tekstil. Bærematerialet er gjerne tilpasset bruks-

området for den aktuelle teipen. Teip som er ment for forsegling av hjørner og gjennomføringer, er blant annet fleksible og tøyelige, mens bærere av plastimpregnert papir er stivere og dermed bedre egnet til påføring over større lengder, for eksempel ved skjøting av membraner eller for å føre inn i beslagspor under vinduer. Materialsammensetningen til bæreren har også betydning for teipens bestandighet samt dampmotstand ( $S_d$ -verdi). Bærerens betydning for bestandigheten er nærmere beskrevet i kapittel 3.3, mens betydningen av teipens dampmotstand er beskrevet i kapittel 6.1.

### 3.2 Testmetoder for teip – ytelse og bestandighet

I forbindelse med produktdokumentasjon og godkjenning av teip- og klebeprodukter for lufttetting av bygninger må ytelse og bestandighet av produkter og systemer kunne testes og dokumenteres.

I de tilfellene hvor formålet med bruk av teip er tetting av vind- og dampsperrsjiktet kan det argumenteres for at den ytelsen som bør dokumenteres, er selve lufttettheten til systemløsningen. Det er derimot ikke trivielt å dokumentere lufttetthet for enkeltprodukter eller enkeltsystemer, da lufttettheten vil være svært avhengig av utførelse samt kompleksiteten i konstruksjonsdetaljene som skal tettes. Å teste lufttetthet for flere ulike byggdetaljer bestående av ulike konstruksjonsmaterialer og membraner i full skala vil være svært tid- og kostnads-krevende samt medføre usikkerhet om eventuelle dårlige testresultater skyldes feil ved utførelse i testkonstruksjonen eller ytelsen til produktene. Derfor baseres produktdokumentasjon og -godkjenning i mange land i hovedsak på småskalatesting av mekaniske egenskaper og klebefasthet (spalte- og skjærstyrke) mot ulike underlag, under den forutsetning at god klebefasthet er nødvendig for å oppnå lufttetthet. Inntil en viss grenseverdi er nok dette riktig, da *ingen* heft nødvendigvis vil medføre dårlig lufttetthet, og vedvarende god heft uten defekter langs alle skjøter vil medføre god lufttetthet. Men det har ikke blitt påvist noen korrelasjon mellom verdier for klebefasthet og oppnådd lufttetthet (se Antonsson, 2017; Leprince et al., 2017). Videre er det ikke trivielt å beregne hvilke krefter ulike skjøter utsettes for i brukssituasjon. Derfor er det utfordrende å sette noen klar grense for hvilke verdier av for eksempel spalte- og skjærstyrke som er akseptabel for teip til lufttetting av bygninger.

For SINTEF Teknisk Godkjenning er det derfor kun testing av luft- og vanntetthet i skjøt som har absolutte ytelseskrav, mens varig heft til ulike underlag kun vurderes basert på prosentvis endring i egenskaper etter kunstig akselerert aldring. (Mer om kravene i SINTEF Teknisk Godkjenning i kapittel 3.3.)

I TightEN har forskning med mål om forbedring av testmetoder for ytelse og bestandighet for teip- og klebeprodukter beveget seg langs fire akser:

- utvikling av en ny mellomskala testmetode for lufttetthet av ferske og allerede skjøter, med korrelasjon til småskalatesting
- utvikling av forbedrede metoder for kunstig akselerert aldring med korrelasjon til naturlig aldring i felt
- dokumentasjon og simulering av mikroklima bak kledning og takplater for å øke kunnskapsgrunnlaget om hvilke klimatiske påkjenninger teip utsettes for i bruk
- bruddmodellering av teip

#### Utvikling av en ny mellomskala testmetode for lufttetthet

Småskalatesting av hefteegenskaper og fullskalatesting av lufttetthet har ulike fordeler og ulemper. Småskalatesting av klebefasthet er reproducerbart, mindre sensitivt for utførelsesfeil samt enkelt og kostnadseffektivt å gjennomføre på ulike substrater, både før og etter akselerert aldring, men en god korrelasjon til ytelse i form av lufttetthet er ikke etablert, og man risikerer å gå glipp av for eksempel dimensjonsrelaterte aldringsmekanismer som forskjellig fukt- og temperaturutvidelse av teip og substrat. På den andre siden er resultatene fra fullskala lufttetthetstesting ofte vel så avhengige av utførelse og kompleksitet i konstruksjonsdetaljene som

av produktene som skal testes, og det er dermed utfordringer knyttet til reproduserbarhet. Samtidig er det høye kostnader forbundet med gjennomføring av parallelle tester for å øke statistisk signifikans av resultatene. Av den grunn forskes det på mellomskala testmetoder som kan måle den avgjørende ytelsen lufttetthet og ta høyde for dimensjonsrelaterte effekter, men samtidig være robust med tanke på utførelse og reproduserbarhet (Møller & Rasmussen, 2020).

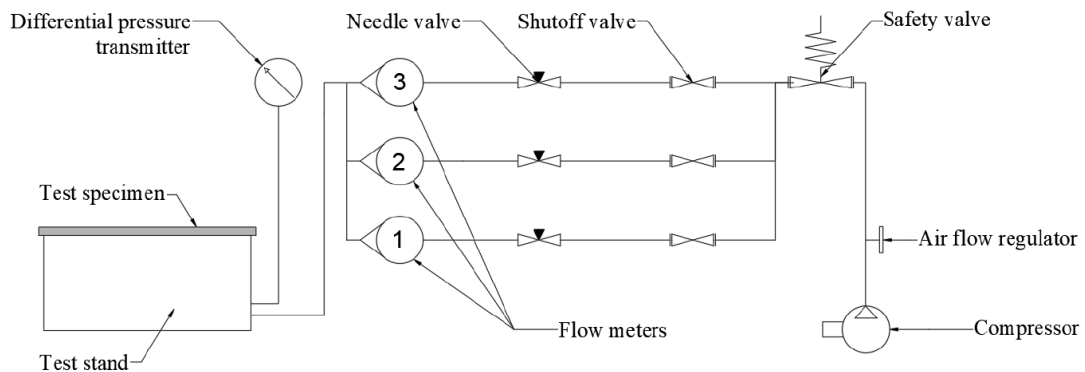
Sammen med forskere i TightEN-prosjektet undersøkte masterstudent Tore Linløkken reproduserbarhet, repeterbarhet og korrelasjon til andre testmetoder for en nyutviklet metode for testing av lufttetthet for klebde skjøter før og etter kunstig akselerert aldring (Linløkken, 2023).

Forskningsspørsmålene var:

- Gir metoden reproduserbare, nøyaktige og repeterbare resultater for vurdering av lufttetthet i tapeskjøter?
- Hvordan er metoden og dens måleresultater sammenliknet med andre eksisterende evalueringmetoder?
- Hvordan kan metoden potensielt implementeres i produktdokumentasjon?

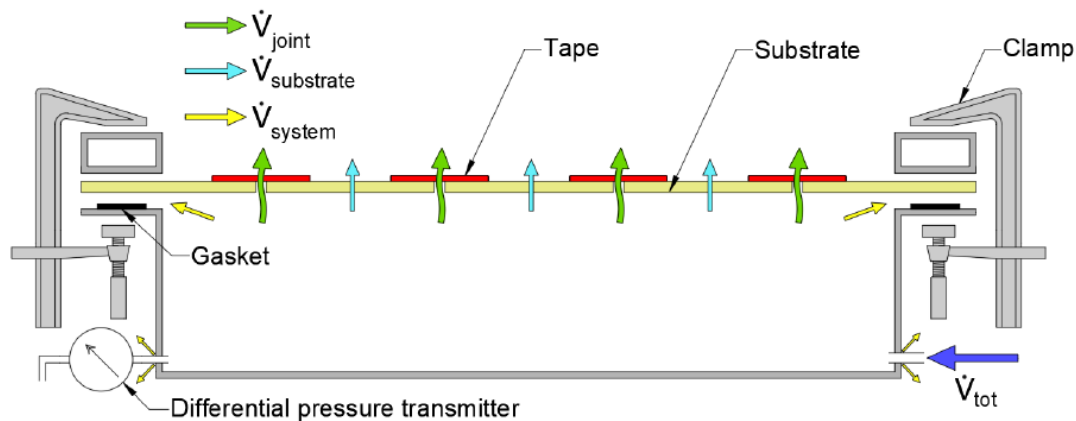
En skjematisk framstilling av testoppsettet og prøvestykkene er vist i figur 3.2 og 3.3. Testmetoden ble evaluert basert på testing av tre ulike teiper, klebet til dampsperre og vindsperre. De samme kombinasjonene av teiper og membraner ble også testet for spaltestyrke (T-peel) i henhold til NS-EN 12316-2:2013 før og etter aldring, for korrelasjon med lufttetthetstesting. Detaljer om testoppsettet og prøveprogrammet fins i masteroppgaven som er åpent tilgjengelig via NTNU Open (Linløkken, 2023).

Grunnet variasjoner i målt egenlekkasje for utstyret ble det utfordrende å konkludere entydig angående metodens anvendelighet for produktdokumentasjon. Det ble heller ikke påvist noen korrelasjon mellom spaltestyrke og lufttetthet for de målte produktene. Likevel anses metoden som lovende gitt at problemene relatert til egenlekkasje kan utbedres.

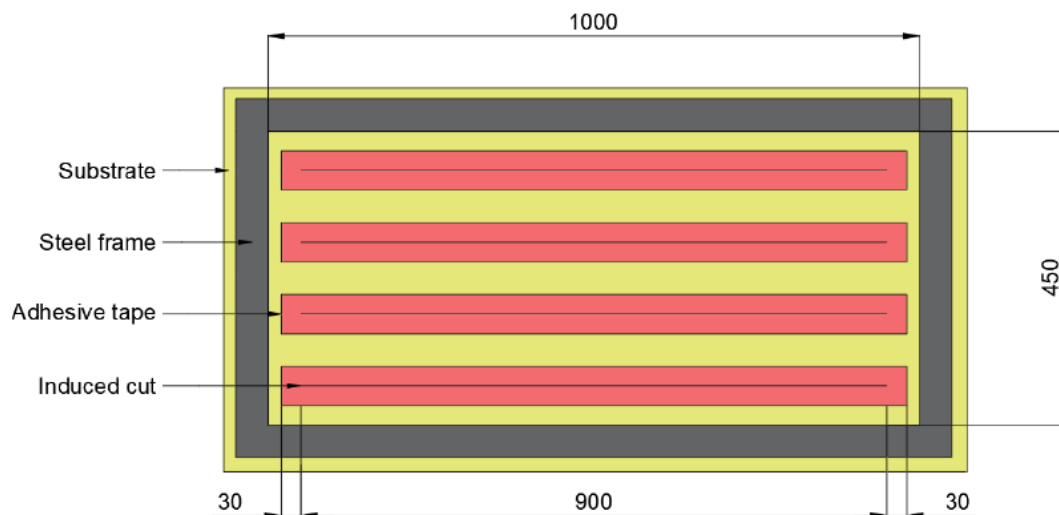


Figur 3.2. Testoppsett for lufttetthet av klebde prøver. Kilde: Linløkken (2023).





Figur 3.3. Testboks for lufttetthet av klebde skjøter. Kilde: Linløkken (2023).



Figur 3.4. Illustrasjon av prøvestykke for test av lufttetthet av klebde skjøter. Kilde: Linløkken (2023).

### Akselerert aldring og korrelasjon til naturlig aldring

Et viktig mål i TightEN-prosjektet har vært å utvikle og kvalitetssikre gode metoder for kunstig akselerert aldring og vurdering av levetid for teip- og klebeprodukter. Avhengig av bruksområde og klimatiske betingelser i bruksfasen kan funksjonaliteten til klebeprodukter for lufttetting forringes av eksponeringsfaktorer som varme, UV-lys, fuktighet, temperatursvingninger, frost og mekaniske påkjenninger. Produkter for vindsperresjiktet er utsatt for større temperatursvingninger og fuktighet enn dampspersjiktet. I tillegg må det påregnes at produktene blir stående utildekket og fullstendig eksponert for vær og vind i opptil flere måneder i byggefasen. I realiteten vil nedbrytning skje som en kombinasjon av disse faktorene, men ved levetidsberegning for byggematerialer tas det ofte utgangspunkt i at enkelte eksponeringsfaktorer er dominerende for nedbrytningen.

Utgangspunktet for kunstig akselerert aldring er at produktene som skal testes, utsettes for de (dominerende) eksponeringsfaktorene som må påregnes i bruks- og monteringsfasen, i laboratoriet. Akselereringen oppnås ved å øke intensiteten på eksponeringsfaktorene slik at materialene opplever en høyere påkjenning på kortere tid enn det som ville vært tilfelle i bruksfasen. I praksis vil det si at det testes ved høyere temperaturer, brattere temperatursvingninger, mer intenst UV-lys etc. En oversikt over de mest brukte europeiske og internasjonale standardene for akselerert aldring av produkter for klimaskallet til bygninger fins i Rüter et al. (2020). Vanligvis blir det antatt at temperatur er den dominerende nedbrytnings-

faktoren, og levetidsberegninger blir gjort basert på en beregnet akselerasjonsfaktor ( $AF_{temp}$ ) utledet fra den såkalte Arrhenius-likningen. Akselerasjonsfaktoren er forholdet mellom nedbrytningshastigheten i den akselererte testen og nedbrytningshastigheten under bruksbetingelser. En akselerasjonsfaktor på 10 betyr altså at 1 uke med kunstig akselerert aldring i laboratoriet tilsvarer 10 uker i bruk.

$$AF_{temp} = e^{\left(\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right)}$$

- $E_a$  er aktiveringsenergien til varmenedbrytningsreaksjonen
- $R$  er gasskonstanten
- $T_1$  er gjennomsnittstemperaturen under akselerert aldring
- $T_2$  er gjennomsnittstemperaturen i bruksfasen

De største begrensningene ved å bruke Arrhenius-likningen til beregning av levetid er at den tar utgangspunkt i at kjemisk nedbrytning grunnet temperaturpåvirkning er den klart viktigste nedbrytningsfaktoren, at aktiveringsenergien for nedbrytningsmekanismen er kjent samt at nedbrytningsmekanismen ikke endres i temperaturintervallet mellom brukstemperatur og temperaturen for akselerert aldring. For et komplekst system som en teip, bestående av ulike komponenter (bærer, forsterkningsnett og lim), klebet til ulike underlag som hver har sine nedbrytningsmekanismer og -hastigheter, er beregning av akselerasjonsfaktorer basert på Arrhenius-likningen knapt egnet til å gi et grovt estimat på levetiden. Ved å øke temperaturen for mye risikerer man i tillegg å introdusere nedbrytningsmekanismer som ikke vil skje i brukstilstand, og dermed kan produktgodkjenning ved hjelp av akselererte tester i verste fall gjøre at produkter designes for å passere testene heller enn for optimal ytelse og bestandighet i bruk. Et eksempel på dette er at lim med *lav* glassomvandlingstemperatur ( $T_g$ ) er fordelaktig for klebing ved lave temperaturer på byggeplassen, mens en *høy*  $T_g$  ofte korrelerer med god bestandighet ved høyere temperaturer. Derfor er det nødvendig å utvikle nye metoder for bestandighetstesting av og levetidsberegning for teip i bygningers klimaskall.

Den mest nøyaktige metoden for utvikling og kvalitetssikring av akselererte aldringsprogrammer er korrelasjonsstudier med naturlig aldring. Korrelasjonsstudier betyr at man utsetter identiske prøvestykker for både naturlig aldring og ulike programmer for kunstig akselerert aldring, og undersøker om:

1. nedbrytningen skjer på samme måte
2. de prøvestykkene som gjør det best/dårligst i naturlig aldring, også presterer like bra i kunstig akselerert aldring (rangeringskorrelasjon)
3. det fins noen tydelig korrelasjon mellom nedbrytningshastighet ved naturlig aldring og ved akselerert aldring.

Dersom en kunstig akselerert aldringsmetode oppfyller alle de tre kriteriene over, kan korrelasjonsplot brukes til å beregne akselerasjonsfaktorer som er basert på flere samtidige nedbrytningsmekanismer. Siden akselerasjonsfaktorene kan være ulike for forskjellige produktgrupper av teiper, og på forskjellige underlag, er det viktig at utvalget av produkter for korrelasjonstesting er bredt nok til å være representativt.

I TightEN-prosjektet har det blitt gjennomført et stort eksperimentelt program for naturlig aldring av teip med tanke på korrelasjon med kunstig akselerert aldring. For å danne utgangspunkt for utvalg av produkter, testmetoder og underlag ble det gjennomført en systematisering og analyse av data fra 10 år med produktdokumentasjon av 30 ulike teiper på ulike substrater (Sletnes & Frank, 2020). Hovedkonklusjonene fra analysen var at spaltestyrke (T-peel) er en bedre egnet variabel for å dokumentere endringer forårsaket av aldring enn skjærstyrke, og at variasjonen i klebefasthet både før og etter aldring var langt større mellom ulike teiper enn mellom de samme teipene på ulike underlag.

Det eksperimentelle oppsettet for naturlig aldring omfattet over 2 000 prøvestykker, 22 ulike teiper, 7 ulike substrater, 2 ulike eksponeringsmiljøer (foran og bak kledning) og 4 ulike varigheter for aldringen (fordelt over 3 år). De fleste av de testede teipene var beregnet for bruk i vindspærresjiktet, men dampspærreteip som ikke er designet for utendørs eksponering samt teip som ikke er tiltenkt byggformål, ble også inkludert for å studere forskjeller i bestandighet og nedbrytning. For å begrense antall prøvestykker, men samtidig oppnå mest mulig kunnskap om ulike produkter ble eksperimentet designet etter modell fra smidig(agile)-metoden, som ofte brukes i programvareutvikling. Detaljer om prøveoppsettet og bakgrunnen for det eksperimentelle designet fins i Gradeci & Sletnes (2021). En forenklet framstilling av det eksperimentelle oppsettet er vist i figur 3.5. Bilde av prøvefeltet for teipprøver eksponert foran kledning er vist i figur 3.6.

Videre ble det utført kunstig akselerert aldring av utvalgte teip-substrat-kombinasjoner med tanke på korrelasjonsstudier. Aldringen var i form av varmealdring og klimaaldring i en vertikal roterende klimasimulator i henhold til Nordtest-metoden NT Build 495 (se figur 3.7) i 1, 2 og 6 uker, alene eller i kombinasjon med varmealdring.

For å maksimere tiden for naturlig aldring er forsøket ikke fullført innen denne sluttrapporten publiseres, og korreleringen til kunstig aldring er ikke gjennomført, men noen foreløpige resultater er:

- Det er svært viktig å velge teip designet for byggformål. Av totalt fire teiper (beregnet for utendørs bruk, men ikke for byggformål) inkludert i forsøksoppsettet, viste alle signifikant reduksjon i klebefasthet etter 6 måneders utendørs aldring. Tre av de fire teipene falt av minst ett substrat før aldringsperioden var over. Til sammenlikning hadde byggteipene betydelig bedre bestandighet, og ingen falt av (figur 3.8).
- Enkelte teiper med ellers god bestandighet viste betydelig og signifikant reduksjon i klebeevne på metallsubstrater uten at tilsvarende reduksjon ble målt for andre substrater.
- Farge og trykk av logo på bæreren kan ha innvirkning på bestandigheten til limet. Dette var blant annet tydelig ved studering av teiper etter avtrekksprøving, hvor man kunne se forskjeller i om limet satt igjen på bærer, substrat eller begge sider etter avtrekk ettersom bæreren i området hadde farge/trykk (figur 3.9).
- Ved klebing til betong bør man vise forsiktighet ved bruk av teip som ikke er designet for formålet. Flere teiper hadde områder med bobler mellom bærer og substrat grunnet fuktighet fanget under teipen ved klebing til betong.
- Kun 2 uker eksponering i vertikal klimasimulator (som i dagens aldringsmetode for SINTEF Teknisk Godkjenning simulerer eksponering i byggeperioden) ga jevnt over mindre aldringseffekt enn 6 måneders eksponering ved naturlig aldring.

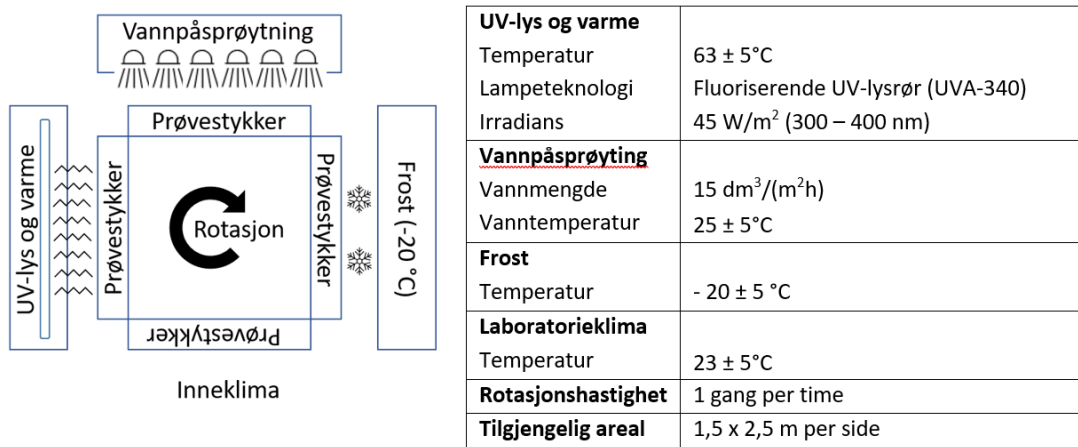


Figur 3.5. Forenklet framstilling av det eksperimentelle oppsettet for naturlig aldring i TightEN, hvor "sol" symboliserer aldring foran kledning (eksponert for vær og vind), mens "kledningspaneler" symboliserer aldring bak kledning.





Figur 3.6. Utendørs eksponering av teip for naturlig aldring i TightEN-prosjektet. Foto: Nicola Lolli, SINTEF Community.



Figur 3.7. Vertikal roterende klimasimulator i henhold til NT Build 495.



Figur 3.8. Etter fire måneders eksponering falt teip som ikke beregnet til byggformål, av, mens alle byggteiper fremdeles var klebet til sine respektive substrater. Foto: Malin Sletnes, SINTEF Community

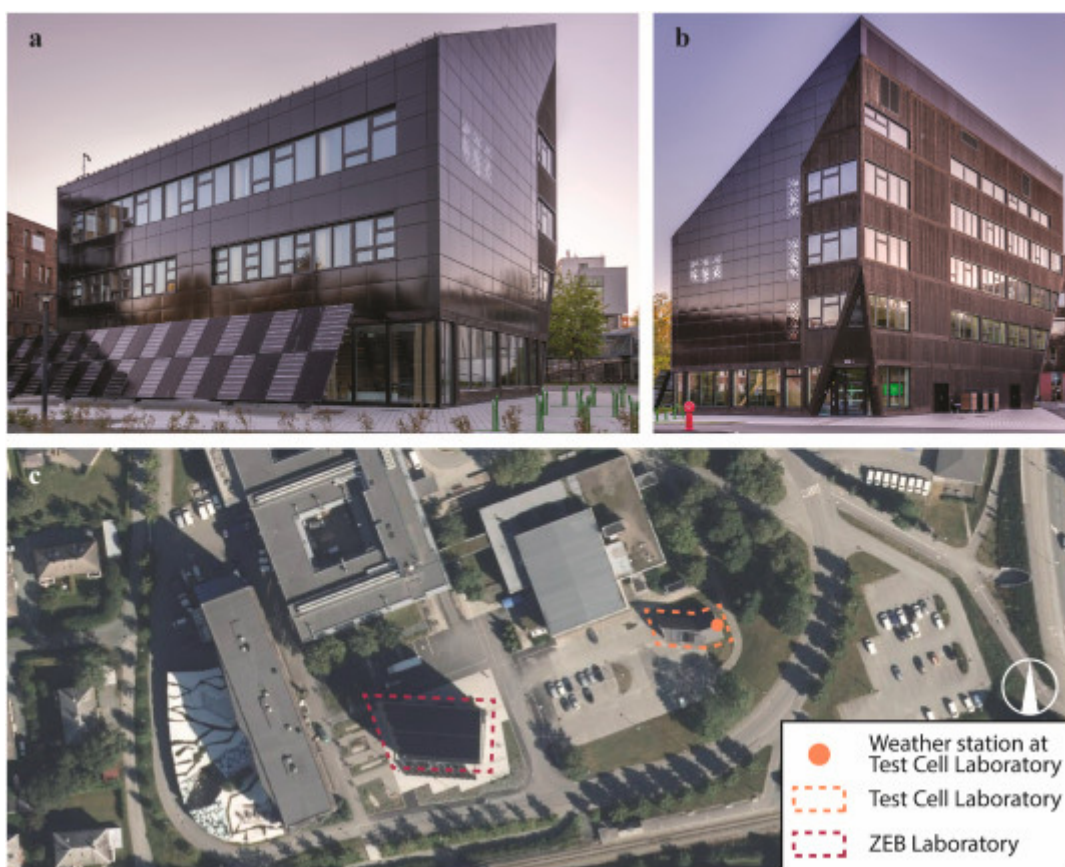


Figur 3.9. Eksempler som viser at trykk på bæreren har innvirkning på limets egenskaper etter aldring. Foto: Susanne Frank, SINTEF Community

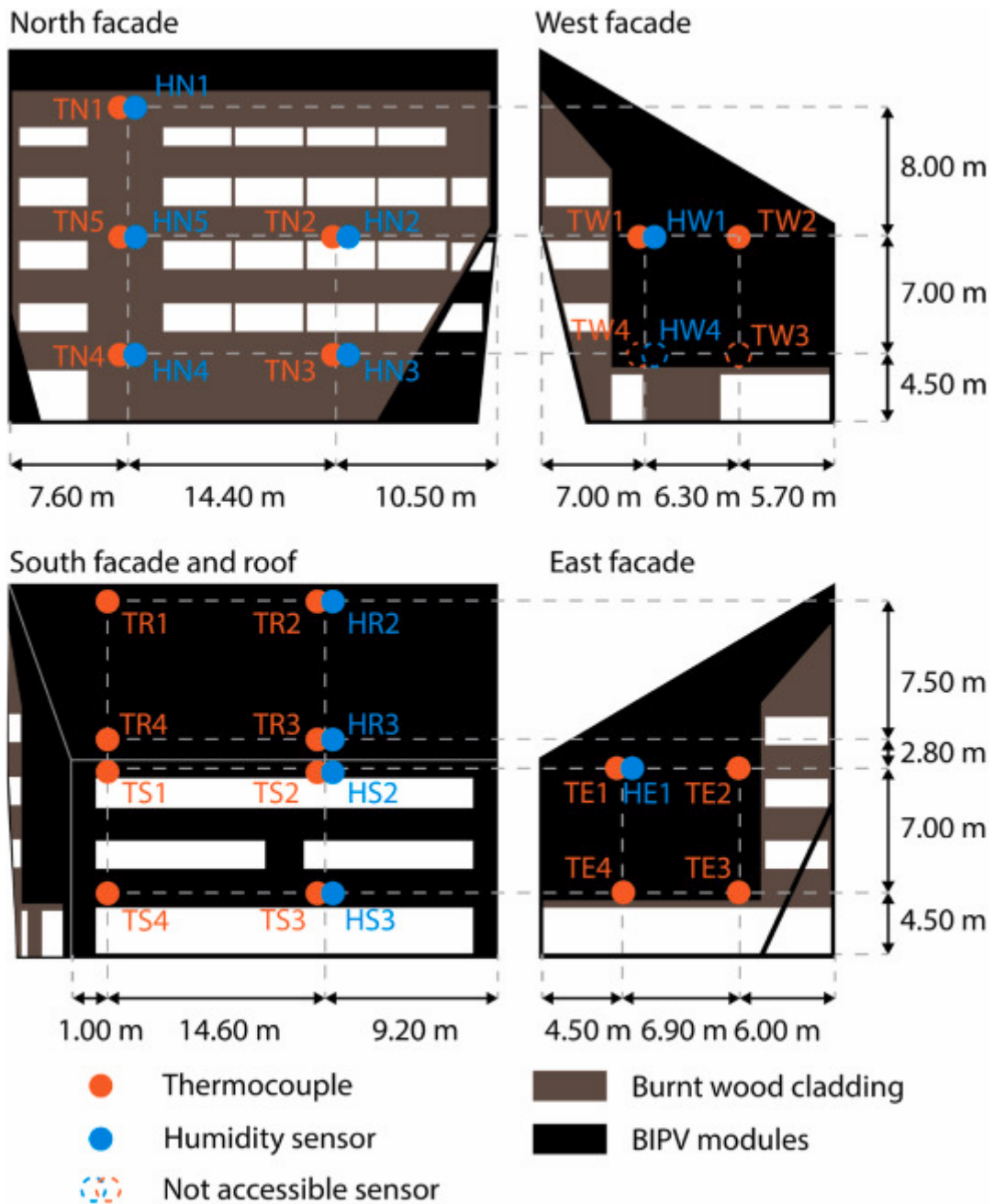


### Mikroklima for teip brukt på vindsperre og/eller undertak

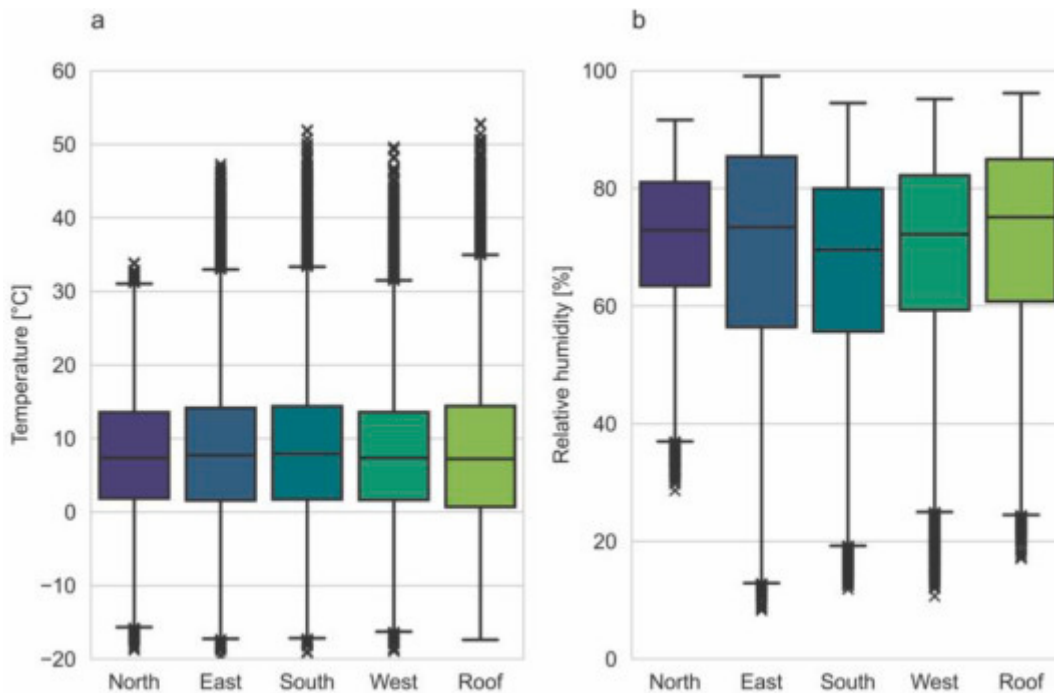
For å kunne designe bedre programmer for akselerert aldring er det også viktig med kunnskap om hvilket mikroklima produktene vil utsettes for i bruk. I TightEN-prosjektet ble derfor mikroklimaet i den ventilerte luftspalten i en nullutslippsbygning i Trondheim (ZEB-lab) overvåket i to hele år, fra 1. september 2020 til 31. august 2022. Overvåkningen innebar registrering av overflatetemperaturen på vindsperra og relativ luftfuktighet i luftspalten i tak og vegger, bak trekledning og bygningsintegrerte solceller. Målingene ble, i tillegg til å gi kunnskap om mikroklimaet, brukt til å kalibrere en numerisk modell i WUFI-Pro for simulering av mikroklima basert på værdata. Detaljert beskrivelse av overvåkningen, måledataene og simuleringen fins i Brozovsky et al. (2023). Figur 3.12 viser box plots med verdier for målt temperatur og luftfuktighet over en toårsperiode for forskjellige lokasjoner i luftspalten i ZEB-Lab i Trondheim. De målte verdiene (timesgjennomsnitt) for temperaturen ved overflaten til vindsperra varierte fra  $-19,6$  til  $+52,8$  °C i løpet av toårsperioden.



Figur 3.10. Utforming og plassering av ZEB-Lab. Kilde: Brozovsky et al. (2023).



Figur 3.11. Lokalisering av sensorer for overvåkning av mikroklima i ZEB-Lab. Kilde: Brozovsky et al. (2023).



Figur 3.12. Box plots som viser verdier for målt temperatur og luftfuktighet over en 2-årsperiode for forskjellige lokasjoner i luftespalten i ZEB-Lab i Trondheim. Kilde: Brozovsky et al. (2023).

### 3.3 Krav i SINTEF Teknisk Godkjenning

SINTEF Teknisk Godkjenning (TG) er en frivillig dokumentasjon som angir at en byggevare er vurdert å være egnet i bruk og tilfredsstillende krav i byggeteknisk forskrift (TEK) for de bruksområder og betingelser som er angitt i godkjenningsdokumentet. Godkjenningen angir også at byggevaren tilfredsstillende krav til produktdokumentasjon i henhold til byggevareforskriften (DOK). Et godkjenningsdokument inneholder dokumentasjon av alle relevante egenskaper for produktet, i tillegg til monteringsanvisning, bruksbetingelse og informasjon om miljøegenskaper.

#### Grunnlag for krav til teip i SINTEF Teknisk Godkjenning

Første SINTEF Teknisk Godkjenning for teip ble utstedt i 2009. De gyldige retningslinjene fra de første årene viser et omfattende og kostbart prøveomfang for typeprøving. Under utviklingen av de mange forskjellige prøvemethodene for teip ble det valgt å støtte seg på testmethodene for takmembraner, blant annet fordi de utsettes for liknende klimatiske betingelser. I tillegg har SINTEF mange års erfaring med disse prøvemethodene, med godt utdannet personale, gode prosedyrer og profesjonelt prøveutstyr. I 2014, i forskningsprosjektet BEST, ble det framskaffet kunnskap som muliggjorde en forenkling av prøveomfanget, særlig for typeprøving. Blant annet viste resultatene at hefteegenskapene på harde underlag ofte ga sammenliknbare resultater, noe som gjorde at ikke alle faste underlag måtte testes lenger. Siden 2018 er det galvanisert stål og ubehandlet trevirke som brukes som standardunderlag for å ta hensyn til påvirkning av både temperatur (stål) og fuktighet (trevirke). Siden 2009 har antall godkjente teipprodukter vokst kraftig, og i dag fins det godt over 30 teiper som har eller inngår i en SINTEF Teknisk Godkjenning. De nåværende kravene for en teip i en SINTEF Teknisk Godkjenning er basert på både forskning og kontinuerlig opparbeidet kunnskap og forståelse for teip gjennom prøving samt et tett samarbeid med fagpersoner med kunnskap om de produktgruppene teipene skal heftes imot.

## Krav for teip til damp- og lufttetting i SINTEF Teknisk Godkjenning

Kravene til teip med SINTEF Teknisk Godkjenning for bruk i vindsperrsjiktet og dampsperrsjiktet er beskrevet i kapittel 2.7 i Guidelines for SINTEF Technical Approval for tapes used in buildings, versjon 16.04.2020.

Hefteegenskaper og eventuelt vanntetthet av skjøten skal testes mot ulike underlag. Dersom teipen inngår i en Teknisk Godkjenning for vindsperre, undertak og enkelte dampsperrer skal det i tillegg gjennomføres fullskala prøving av lufttetthet og/eller regntetthet. En oversikt over hvilke prøvingsmetoder som gjennomføres for ulike produktgrupper er angitt i tabell 3.1. Minstekravene for hvilke substrater det skal testes mot, er vist i tabell 3.2. Hefteegenskapene kan også testes for teipen heftet mot andre underlag, valgt av produsenten (for eksempel gipsplater og asfaltimpregnert vindsperrplate).

Tabell 3.1. Prøvingsmetoder som gir grunnlag for SINTEF Teknisk Godkjenning av teipprodukter

Egenskaper	Standarder	Dampsperr-teip	Vindsperr-teip	Teip til undertak
Strekstyrke og bruddforlengelse <sup>1)</sup>	EN 12311-2	X	X	X
Spaltestyrke (T-peel) <sup>1)</sup>	EN 12316-2	X	X	X
Skjærstyrke <sup>1)</sup>	EN 12317-2	X	X	X
Vanntetthet av skjøten <sup>1)</sup>	EN 13111 / EN 1928A			X
Fullskalaprøving av lufttetthet	EN 12114	X <sup>2)</sup>	X <sup>3)</sup>	X <sup>3)</sup>
Fullskalaprøving av regntetthet	EN 1027 / NT Build 421		X <sup>3)</sup>	X <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Testes både før og etter kunstig akselerert aldring

<sup>2)</sup> Kun for produkter som inngår i en godkjenning for dampsperre som ikke består av ren PE-folie

<sup>3)</sup> Kun for produkter som inngår i en godkjenning for vindsperre eller undertak

Tabell 3.2. Substrater (minstekrav) som det skal testes mot for SINTEF Teknisk Godkjenning av teipprodukter

Substrat	Dampsperr-teip	Vindsperr-teip	Teip til undertak	Beståtte tester gir i tillegg grunnlag for godkjent bruk mot
Vindsperrer og/eller undertak <sup>1)</sup>		X	X	Malt trevirke, rustfritt stål, malt og eloksert aluminium og PVC
Galvanisert stål		X	X	
Ubehandlet trevirke (gran)	X	X	X	
Dampsperrfolie <sup>2)</sup>	X			

<sup>1)</sup> Teipen testes mot hver vindsperre og/eller hvert undertak den skal godkjennes imot.

<sup>2)</sup> Ved prøving mot PE-folie godkjennes teipen mot alle dampsperrer av PE.

## Kunstig akselerert aldring

Fordi produktene utsettes for ulike klimatiske forhold under bruk, er den kunstig akselererte aldringen forskjellig for produkter med tiltenkt bruk i vindsperre- og dampsperrsjiktet.

Kunstig aldring for materiale med tiltenkt bruk i vindsperrsjiktet utføres 14 døgn i klimasimulator i henhold til NT Build 495, etterfulgt av 24 uker i varmeskap ved +70 °C i henhold til EN 1296. De to ukene i klimasimulator simulerer byggeperioden, der tettesjiktet potensielt kan stå utildekket. De 24 ukene i varmeskapet simulerer aldringen av teipen og teipforbindelsen i bruksfasen.

Kunstig aldring for materiale med tiltenkt bruk i dampsperrsjiktet utføres 48 timer UV/varme i henhold til EN 1297 (uten vannpåsprøyting), etterfulgt av 12 uker i varmeskap ved +70 °C i henhold til EN 1296. De to døgnene i UV/Varme simulerer byggeperioden, der kledningen ennå ikke er montert. De 12 ukene i varmeskapet simulerer aldringen av teipen og teipforbindelsen i bruksfasen.

### **Fullskalaprøving**

Utførelsen av detaljløsningene i prøvefeltet til fullskalaprøving beskrives av oppdragsgiveren, inklusive alle komponenter som inngår i vindsperre- og undertakssystemet.

Lufttetthet av konstruksjonen er et normert luftgjennomgangstall som beregnes for et prøvefelt på 10 m x 5 m (bredde x høyde), og inkluderer både lekkasjer for material og en normal andel skjøter. En forenklet metode utviklet av SINTEF kan utføres, forutsatt at overflaten på vindsperra er omtrent den samme som tidligere testede og velkjente produkter.

### **Krav til prøveresultater**

Krav til strekkstyrke, bruddforlengelse, T-peel og skjærstyrke er å motstå kunstig aldring uten å ha egenskapsendringer av betydning, det vil si en maksimal endring på 50 %. Krav til vann-tetthet av skjøten er "tett" ved 2 kPa i 2 timer for ferskt materiale og "tett" ved 0,5 kPa i 2 timer for aldret materiale.

Minimumskravet ved fullskalaprøving av lufttetthet for *vindsperrer og undertak* er  $\leq 2,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h}50\text{Pa})$ . Slike produkter er tette nok til å beskytte isolasjonen mot anblåsing, men er ikke så tette at de gjør det mulig å oppfylle alle aktuelle krav til lekkasjetall, n50, gitt i TEK og i de norske passivhusstandardene, uten hjelp fra dampsperrsjiktet. Vindsperre- og undertakssystemer som oppnår en lufttetthetskonstruksjon på  $\leq 0,6 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h}50\text{Pa})$ , gjør det mulig å oppfylle eventuelle krav til lufttetthet (n50) gitt i byggeforskriftene og i norsk passivhusstandard før dampsperra monteres.

Minimumskravet ved fullskalaprøving av lufttetthet for *dampsperrer* er  $\leq 0,1 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h}50\text{Pa})$ .

Kravene ved fullskalaprøving av regntetthet for kombinert undertak og vindsperre er opprettholdt regntetthet ved trykkforskjell  $\geq 300 \text{ Pa}$ .

Alle krav ved fullskalaprøving av vindsperrsjikt, undertak og dampsperrsjikt er hentet fra retningslinjene for SINTEF Teknisk Godkjenning for henholdsvis vindsperrer og undertak (versjon mars 2022) og dampsperrer (versjon juni 2020).



## 4 Erfaringer fra prosjektering og utførelse

### 4.1 Generelt

God og riktig bruk av teipproduktene avhenger av rådgivernes prosjekterte løsninger samt hvilke valg som tas og hvilke rutiner som benyttes av entreprenørene i utførelsesfasen. På prosjekteringsiden er det spesielt arkitekt (ARK) og bygningsfysiker (RIByfy) som er involvert i beskrivelser av løsninger som involverer teipbruk. For arkitekt er det for eksempel aktuelt å vise teipbruk i enkelte detaljtegninger. Bygningsfysiker skal på sin side kontrollere arkitektens detaljtegninger, og vil for eksempel kunne foreslå forbedrede løsninger med bruk av teip. I tillegg er en av leveransene fra bygningsfysiker inn i byggeprosjektet et såkalt *Premissdokument bygningsfysikk*, hvor det kan være aktuelt å gi mer generelle råd angående valg og bruk av teip. Bygningsfysiker er også ofte den aktøren som gjennomfører såkalt *Uavhengig kontroll utførelse- Bygningsfysikk*, og har dermed også gjerne god oversikt over problemstillinger knyttet til utførelsen.

Hos entreprenør (hovedentreprenør/totalentreprenør) er det typisk byggeplassfunksjonærer og tømrerfaget (formann og tømrere) som er involvert i teipbruk.

### 4.2 Erfaringer fra prosjektering

Øksnevad & Nerdal (2021) gjennomførte en intervjustudie av 13 bygningsfysikere ved sju forskjellige rådgiverbedrifter. Tilbakemeldingene fra intervjuobjektene er oppsummert nedenfor:

#### Generelt

- Enkelte forteller at de nå anbefaler bruk av teip fordi de ser at det har blitt mer vanlig å bruke og at utfordringer som dårlig heft har bedret seg. I tillegg er det flere gode produkter på markedet som har tilstrekkelig dokumentasjon.
- Andre forteller også at det har blitt lettere å utføre god tetting med teip og at vanskelige detaljer enklere kan løses.
- Samtidig påpeker noen intervjuobjekt at ikke alt er egnet til å løses med teip. Mange forteller også at de er skeptiske til hvordan egenskapene til teip opprettholdes over tid. Noen frykter at den skal løsne, noe som vil være veldig sårbart for byggets tetthet.

#### Råd og anbefalinger i Premissdokument bygningsfysikk

- Flere intervjuobjekter beskriver teip som en hovedløsning i enkelte detaljer, mens andre beskriver det som en alternativ tettemetode.
- Flere forteller at teip anbefales til vindspærresjikt, mens det for dampspærresjiktet bare er et alternativ.
- Flere anbefaler ikke teip rundt vindu på innvendig side på grunn av utfordringer med å få det tett ved hjørnene og lite areal å teipe mot på karm (bak utføring).
- Flere anbefaler mansjett som tett løsning rundt gjennomføringer framfor teip – siden de mener det er større risiko for at det ikke blir tett med teip.
- Ett intervjuobjekt er skeptisk til å teipe mot betong, mens en annen gjerne anbefaler slike løsninger.
- Betydning av prosjektert krav til lekkasjetall ( $n_{50}$ ):
  - Flere intervjuobjekter forteller at krav til lekkasjetall generelt har blitt så strengt at de ikke gjør store forskjeller i sine anbefalinger fra prosjekt til prosjekt.
  - En mener at oppnåelse av lave lekkasjetall handler mer om entreprenørens utførelse enn valgte tetteløsninger.
  - Flere forteller derimot at de justerer anbefalingene for prosjekter med krav til ekstra lave lekkasjetall (for eksempel BREEAM-prosjekter, lavenergibyg, passivhus, plussus). På slike prosjekter stiller for eksempel bygningsfysiker tydelige krav til teiping av skjøter, eventuelt i kombinasjon med vanlig klemming og andre tiltak. Men på mer vanlige prosjekter kan entreprenøren i større grad

velge tettemetode selv. En forteller også at de på slike prosjekter informerer entreprenøren om viktigheten av gode rutiner m.m. vedrørende teiping.

#### **Kontroll av detaljtegninger fra arkitekt**

- Over halvparten (7 av 13) av intervjuobjektene forteller at teip sjelden er tegnet inn på arkitektens detaljtegninger, mens resten sier at det gjøres eller gjøres i varierende grad. Noen forteller at enkelte arkitekter heller benytter beskrivende tekst på tegningene til å si noe om teiping.
- Alle intervjuobjektene forteller at de vil foreskrive teip der det ikke er tegnet inn på tegningene.

#### **Erfaringer fra uavhengig kontroll utførelse**

- Flere forteller at de hovedsakelig observerer god utførelse av teiping og at utførelsen av teiping generelt har blitt bedre de senere årene.
- Eksempler på avvik som likevel observeres, er:
  - Områder der det er tegnet teip inn i detaljtegninger, utføres uten, og motsatt.
  - Krøllede teip
  - Dårlig heft til underlaget som følge av fuktig underlag ved montering
  - Dårlig heft til underlaget som følge av smuss eller støv på underlaget ved montering
  - Teip brukes på underlag den ikke er ment for, for eksempel at teip beregnet på innvendig bruk brukes på utvendig side av bygget. Årsaken kan ofte være at når utførende går tom for én type teip, benytter de en av de andre de har liggende.
  - Manglende heft på grunn av manglende forbehandlingskrav, for eksempel manglende priming
  - Dårlig heft mellom teip og fugemasse, som fører til at fugen sprekker opp

### **4.3 Erfaringer fra utførelse**

Øksnevad & Nerdal (2021) gjennomførte en intervjustudie av 13 funksjonærer og 10 tømrere ved 16 forskjellige entreprenørbedrifter. Tilbakemeldingene fra intervjuobjektene er oppsummert i det følgende:

#### **Tilbakemelding fra funksjonærer**

*Hvor anvendes teip?*

- Nesten alle intervjuobjektene har erfaringer med bruk av teip på følgende områder: tetting av skjøter, gjennomføringer og reparasjoner i vind- og dampsperrsjikt, tetting mot beslag, tetting av overganger mellom vegg og tak/dekke og tetting mot dør og vindu på inn- og utvendig side.
- Flere forteller at dersom skjøtene i dampsperra klemmes, blir det ikke teipet i tillegg.
- Flere forteller at tetting rundt dør og vindu er krevende områder å teipe, der enkelte foretrekker fugemasse eller fugemasse i kombinasjon med teip.
- Flere forteller at tetting med teip på innvendig side av dører og vinduer er spesielt krevende (spesielt ved hjørner), og at de da foretrekker andre metoder eller kombinerer med fugemasse.
- For tetting mot gjennomføringer forteller flere at de varierer mellom bruk av teip og mansjett, mens andre forteller at de kun bruker mansjetter.
- Ved tetting mot beslag er det kun en funksjonær som svarer at de ikke bruker teip.
- De fleste funksjonærene (7 av 11) forteller at teip benyttes til bygningsfysiske formål flere andre steder enn der det er tegnet inn i detaljene. Flere forteller at teipen ikke er tegnet inn på alle områder i detaljtegninger og at det derfor er nødvendig å supplere. Eksempelvis er det ofte kun rundt vindu teip er tegnet inn. Flere forteller at mye blir til underveis, og at de da bruker erfaring for å gjøre nødvendige tiltak på byggeplass.

### *Betydning av krav til lekkasjetall*

- Omtrent halvparten av funksjonærene (7 av 13) mener prosjektert krav til lekkasjetall (n<sub>50</sub>) er drivende for bruk av teip.
- Én forteller at det er mulig å oppnå likt resultat med byggsaum eller fugemasse, men at de foretrekker å bruke teip.

### *Kostnader*

- De fleste funksjonærene (8 av 9) forteller at kostnadene knyttet til teip ikke oppleves krevende for prosjektet. Flere begrunnet dette med at teip er tidsbesparende slik at kostnadene utlikner seg. De trekker fram at alternativene til teip også vil ha en kostnad. Mange føler en større trygghet ved å bruke teip og at det gir bedre resultater. Kostnaden til teip er ikke stor sammenliknet med tryggheten den gir.
- På spørsmål om det er ønskelig å redusere mengden tapebruk, svarer omtrent halvparten "ja" (5 av 11), hovedsakelig ut fra et kostnadsspørsmål. De fleste ønsker imidlertid ikke å redusere bruken av teip da det holder til sitt formål, og det er mye bra teip på markedet. To funksjonærer ser heller for seg en økning i bruk av teip. Det begrunnes med at teip ikke fører til produksjonsstopp og kan brukes i alle årstider. De påpeker også at teip er en kostnadsdriver, men de ser ingen bedre alternativer.

### *Rutiner*

- Det er få som har egne rutiner for montering av teip. De fleste baserer seg på monteringsanvisningen og sunn fornuft. Mange har hatt besøk av ulike leverandører av teip. Under slike besøk blir de informert om de ulike produktene og vist hvordan utførelsen bør gjøres.
- Flere forteller likevel om tiltak for å sikre kvaliteten på utførelsen, for eksempel:
  - kvalitetskontroll gjennom stikkprøver
  - kontroll av underentreprenør
  - utfordrende områder utføres av de som er flinkest til å teipe
  - gjennomgang med tømrere for å holde dem oppdaterte
  - ekstra teip som sikring i hjørner rundt vindu og dør
  - krav til sjekklister

### *Betydning av klima og forbehandling*

- Det kommer fram i intervjuene at flere mener og har erfart at teip hefter godt på fuktig underlag, og to funksjonærer forteller at de teiper i regnvær. De forteller videre at dersom overflaten er bløt, vil teipen uansett hefte bra til underlaget når det tørker ut. Dette forutsetter ofte bruk av et dyrere produkt.
- Derimot er det andre intervjuobjekter som er mer skeptiske til teiping under fuktige forhold. En funksjonær forteller om enkelte produkter som ikke vil hefte i det hele tatt på fuktig underlag, slik at produksjonen stoppes dersom det er mye regn. En annen funksjonær har opplevd dårlig heft som følge av fuktig underlag.
- Funksjonærene er enige i at det ikke er noe problem å teipe ved lave temperaturer. To av funksjonærene mener det er en grense på 20 minusgrader. Samtidig påpekes det at dersom det er rim på underlaget, må dette fjernes før montering.
- At underlaget skal være rent og fritt for støv, skitt og fett er alle intervjuobjektene innforståtte med og har rutiner for å sikre.
- Gjennom intervjuene trekkes betong og asfalt trefiberplater fram som underlag med behov for priming. Flere forteller imidlertid at dette er såpass tidkrevende at de heller vil kjøpe produkter som er beregnet for å unngå priming.

### *SINTEF Teknisk Godkjenning*

- Samtlige funksjonærer forteller at de bruker teip med SINTEF Teknisk Godkjenning.
- Flere forteller at de er opptatt av å bruke teipen på underlag de er godkjent for.
- De fleste sier også at de bruker systemløsninger der det er aktuelt, for eksempel vindspærre og tilhørende teip fra samme leverandør.

#### *Andre utfordringer nevnt i intervjuene*

- Flere funksjonærer meddeler at de er usikre på om teipen vil holde etter tid og om heften mot underlaget vedvarer. Samtidig er det få som kan fortelle om konkrete hendelser der teip har mistet sine egenskaper eller løsnet etter tid. Kun én funksjonær har opplevd teip som har løsnet.
- Beskyttelsespapir som er festet på baksiden av teipen, blir liggende etter montering. Dette fører til forsøpling i naturen.
- Teip fungerer ikke på porøse vindspærreplater, selv ikke om de blir primet først.
- Utfordrende å fuge mot teip, vanskelig å finne dokumentasjon på om det er heft mellom fugemasse og teip.

#### **Tilbakemelding fra tømrere**

##### *Generelt*

I likhet med funksjonærene har også tømrerne et positivt syn på teip, og flere forteller at det er veien å gå. Generelt forteller tømrerne at det brukes mye teip i prosjektene de deltar i, og at denne løsningen fungerer godt. Det er mange produkter på markedet, og utvalget er bra. Flere forteller at teip har erstattet mye fugemasse og silikon, og mener teip er en veldig anvendelig måte for tetting. Monteringen er både enklere og raskere og fører til bedre resultater. Det kommer også fram at kvaliteten på teip varierer hos ulike leverandører, og at enkelte produkter er bedre enn andre. Noen intervjuobjekter forteller at de vet lite om bestandigheten og holdbarheten til teip, og at dette er et område de ønsker mer kunnskap om.

##### *Hvor anvendes teip?*

- Tømrerne svarer omtrent likelydende som funksjonærene, se ovenfor.
- En forteller at i overgang mellom vegg og betongdekke er det en fordel å benytte fugemasse framfor teip.
- En forteller at de bruker en universalteip som kan benyttes på flere områder (underlag) for å unngå bruk av feil teip, mens en annen forteller at det benyttes fargekoder for å holde styr på hvilken teip som skal brukes.

##### *Foretrukket tettemetode*

- Stort sett alle intervjuobjektene foretrekker teip på ett eller flere områder. Dette begrunnes hovedsakelig i at teip er mer effektivt.
- En tømrer mener at det tar en fjerdedel av tiden sammenliknet med å fuge. En grunn til at teip er mer effektivt enn fugeskum er at man slipper å skjære bort overflødig fugeskum etterpå, sier en annen tømrer.
- En tømrer forteller at det er enklere å teipe i fasader da teip er et enkelt produkt å arbeide med og du får tett store områder med samme rull.
- En tømrer ser imidlertid en utfordring ved å bruke teip i hjørner på inntrukket vindu. I slike områder foretrekker vedkommende å bruke fugeskum eller fugemasse for å sikre tilstrekkelig tetting.

##### *Opplæring og kunnskap om teip*

- Få av intervjuobjektene kunne fortelle om spesifikke kurs eller opplæring, og at kunnskapen hovedsakelig bygger på monteringsanvisning og informasjon fra leverandør. I tillegg forteller de fleste at den kunnskapen de har, kommer fra egen eller medarbeidernes erfaring.
- Kun to av tømrerne forteller om noen form for opplæring i starten av prosjektet.

### *Opplevelse av montering av teip*

- Det kommer tydelig fram at samtlige synes montering av teip er et greit arbeid og ofte fører til bedre kvalitet.
- Flere forteller at arbeidet ikke er slitsomt, og at det ikke medfører utfordringer knyttet til HMS. Teip er et produkt med lav vekt, og flere forteller at den er lett å dra med seg sammenliknet med fugemasse. Dette fører til at arbeidet blir enklere. Arbeidet er ikke tidskrevende, noe som fører til at håndledd og skuldre ikke blir utsatt for belastning over lengre tid.
- Det påpekes at utførelse av tetting generelt krever tid, men at teip ofte er mer effektivt enn andre tettemetoder.
- En tømrer forteller at i enkelte tilfeller kan det være enklere å bruke skumpistol for å komme til i vanskelige områder, slik som i høyder. I tillegg kan det være krevende å arbeide med elastisk teip i høyder. Teipen kan ikke rives av for hånd, noe som fører til at man må bruke kniv e.l.
- For gjennomføringer i vind- og dampsperrsjikt forteller en tømrer at det kan være en utfordring å kun bruke teip. Dersom man bare bruker teip, trengs det gjerne mer teip for å oppnå tilstrekkelig tetthet, noe som krever mer tid.
- En tømrer forteller om utfordringer knyttet til at teipen er veldig klissete, noe som gjør det vanskelig å bruke hansker ved montering.

### *Betydning av klima og forbehandling*

- Samtlige tømrere sier at underlaget bør være tørt for at teipen skal hefte. Noen sier at det går fint å teipe på litt fuktig overflate, og at de prøver seg fram for å finne ut når teipen hefter eller ikke. En tømrer har erfart at teipleverandører forteller at teipen vil sette seg når underlaget tørker ut, men vil likevel helst teipe når det er tørt for å være sikker.
- En tømrer sier at selv om teipen sitter på fuktig overflate når de monterer, er det ikke sikkert at den holder dagen etterpå. En annen forteller at de pleier å sjekke værmeldingen slik at de kan planlegge å teipe i tørt vær. En tredje tømrer forteller at teipen ikke hefter mot fuktig gips, og at de derfor unngår det. For å sikre at underlaget er så tørt som mulig, hender det at det bygges provisoriske løsninger for å beskytte mot regn og fukt, forteller en annen tømrer.
- Enkelte mener lave temperaturer ikke påvirker teipen i noe grad, mens andre opplever det som problematisk. En tømrer forteller at det går fint å montere teip i minusgrader så lenge det er tørt og snøfritt. Dersom det er rim på underlaget, skrapes dette av før montering av teip. En annen forteller at montering i -18 °C ikke er optimalt eller tilstrekkelig, selv om produktanvisningen sier at produktet er godkjent for dette. Tømrer 3 har også opplevd problemer dersom temperaturen synker til -15 °C. Da vil det være nødvendig å varme opp underlaget med en varmepistol, og teipen vil ikke feste seg tilstrekkelig uten.
- De fleste intervjuobjektene forteller om viktigheten av et rent underlag. Flere opplyser om at støv og skitt må fjernes før montering, enten ved å koste over overflaten, støvsuge eller bruke blåsepistol. En tømrer opplever det spesielt som et problem ved montering mot betong. Betongen har ofte lag av støv, og dersom det ikke fjernes, vil ikke teipen sitte over tid.
- Det kommer fram at de fleste tømrerne ikke pleier å prime underlag. To av tømrerne forteller at det har kommet en ny teip som hefter godt mot betong som ikke er primet, og at de derfor ikke primer betong lenger. En tømrer sier at de primer dersom det er betong mot tre for å få ekstra klebing, men at det skjer sjelden.

### *Ønskede forbedringer av teip*

- Det kommer tydelig fram at de fleste tømrere er fornøyd med utvalget av teip som fins på markedet i dag. Da tømrerne ble spurt om de ønsket seg noen forbedringer av teipen, var det flere som ikke kunne tenke seg til noe som manglet.
- Likevel var det enkelte forbedringer som gikk igjen hos flere, og da som oftest knyttet til heft i klima som regn og kulde.

- En tømrer har opplevd enkelte produkter der pappen som skal rives av på baksiden, er av for dårlig kvalitet. Det fører til at monteringen blir mer krevende, og er noe som gjerne skulle vært forbedret.
- En tømrer ønsker mer detaljerte løsningsbeskrivelser for overgang mellom vindu og vegg. Spesielt ønskes en godkjent prosedyre for dette.

#### 4.4 Eksempler fra byggeplass

Eksempler på utførelse av teiping på byggeplass er vist i figur 4.1-4.15. Det gjøres oppmerksom på at mange av eksemplene ikke viser fullgod utførelse.



Figur 4.1. Utvendig teiping rundt vindu, gjennomføring av kabelrør og i skjøten mellom to vindsperrplater. Det er lagt vindsperrereduk mot vinduet som er teipet mot vindsperrplate. Det er utfordrende å tette i hjørnene. Det er mye overlapping og ujevn overflate som fører til luftlommer. Det er teipet på et unormalt stort område som vil redusere uttørkingen dersom dampmotstanden til teipen er stor. Kilde: Øksnevad & Nerdal (2021).



Figur 4.2. Teiping rundt vindu. Her er teiping avsluttet inn i monteringsfugen, og monteringsfugen er deretter tettet med fugemasse. Funksjonen til teipen blir da mer rettet mot fuktsikring av skårne gipsplatekanter, og mindre mot lufttetthet. Erfaringsmessig er det utfordrende å finne fugemasse med dokumentert heft mot teip. Foto: Stig Geving





Figur 4.3. Tetning rundt innvendig side av vindu, hvor dampsperra er brettet inn bak vinduskarmen. Her er teip benyttet for å tette de "enkler" dampsperskjøtene, mens de kompliserte brettingene i hjørnet er tettet med lim og selve monteringsfugen er skummet (mellom karm og dampsperra). Generelt mener vi det er fordelaktig å bruke færre tetteløsninger. Bruk av skum vanskeliggjør senere justering av vinduer. Foto: Stig Geving



Figur 4.4. Tetning rundt innvendig side av vindu, hvor dampsperra er brettet inn bak vinduskarmen. Her er det forsøkt å teipe dampsperskjøten i det innvendige hjørnet med en ekstra innlagt dampperreflik. Vi ser at det har dannet seg luftlommer mellom teip og dampsperra som neppe er lufttette. Selve monteringsfugen er skummet (mellom karm og dampsperra). Foto: Stig Geving





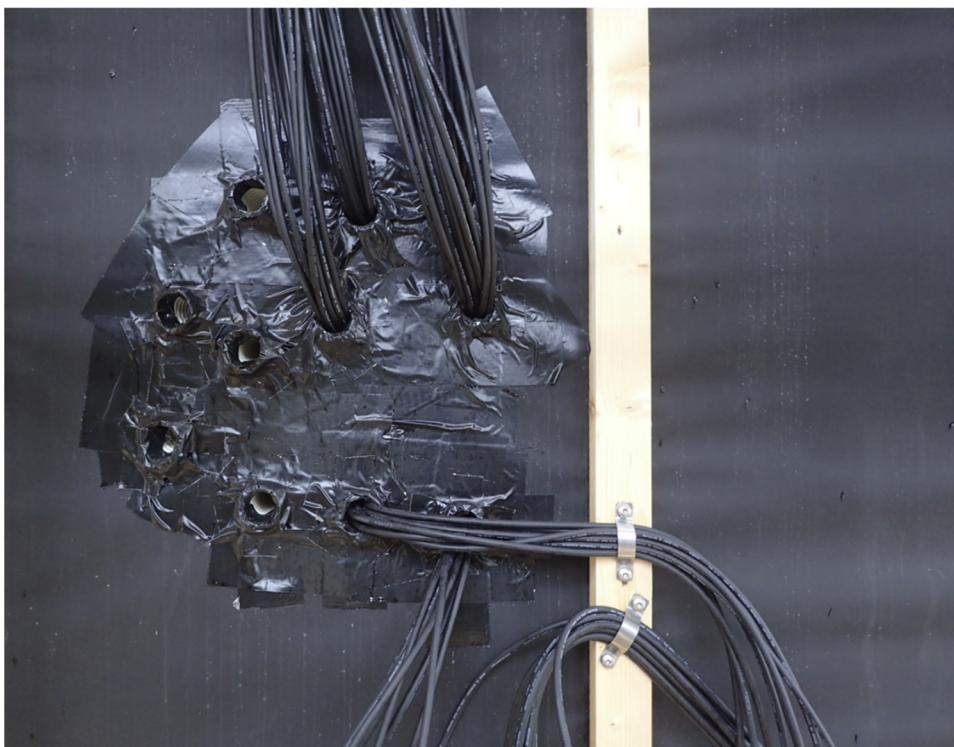
Figur 4.5. Tetning rundt innvendig side av vindu, hvor dampsperra er brettet inn i utsparingen, men ikke helt inn bak vinduskarmen. Den siste delen fra dampsperra og inn bak vinduskarmen er tettet med fleksibel teip. Selve monteringsfugen er skummet (mellom karm og dampsperre). Det er usikkert hvor godt skummet hefter mot teipen. Det er benyttet en dampåpen vindsperreteip, det vil si at man her kun oppnår en effekt på lufttetthet (ikke damptetthet hvis det er en hensikt). Foto: Stig Geving



Figur 4.6. Tetning rundt innvendig side av vindu, hvor dampsperra er brettet inn i utsparingen, men ikke helt inn bak vinduskarmen. Dampsperra er deretter teipet inn mot stender/losholt, det vil si at teipen ikke er ført helt inn bak vinduskarm. Det er teipet mot betongdekke i tak, som er primet på forhånd. Selve monteringsfugen er skummet (mellom karm og dampsperre). Teipen er en vindsperreteip som av leverandøren oppgis å også kunne brukes for dampsperrer. Det er verdt å nevne at produktet har en SINTEF Teknisk Godkjenning som kun gjelder for vindsperre, og at hverken den tekniske godkjenningen eller leverandørens hjemmeside sier noe om heftegenskaper mot betong. Foto: Stig Geving



Figur 4.7. Tetning rundt bolter og festeplate for en utenpåhengt konstruksjon. Her er det forsøkt tettet etter beste evne, men det har oppstått mange luftlommer mellom hver enkelt teipbit. I tillegg er det benyttet vel korte teipbiter som gir lite festeareal mot vindsperra. Videre er det uklart hvor vanntett teipingen er i forhold til regnpåkjønning i byggefasen og senere. Foto: Stig Geving



Figur 4.8. Massiv bruk av teip for å tette rundt kabelgjennomføringer til solcelleanlegg på fasade. Det er teipet på et stort område, noe som gjør at det er viktig at teipen er dampåpen. Foto: Tore Kvande, NTNU





Figur 4.9. Teiping av vindspærreskjøter og teiping rundt ytterdør til balkong. Den hvite teipen som er brukt i vindspærreskjøtene, er en vindspærreteip, mens den svarte teipen rundt døra er en UV-bestendig teip. Kilde: Øksnevad & Nerdal (2021)



Figur 4.10. Teip benyttet til reparasjoner av skader/sår i vindsperreplata. Teiping av skjøt i topp er av-  
glemt. Foto: Stig Geving



Figur 4.11. Tetning i skjøter mellom utvendige gipsplater. Vi ser at teipen har løsnet flere steder, trolig  
som følge av fuktig underlag, lav temperatur e.l. Foto: Stig Geving



Figur 4.12. Teipet skjøt i dampsperre på innvendig side av yttervegg. Det er benyttet en vindsperreteip som er beregnet for utvendig bruk. Det er usikkert hvordan heften mot PE-folien vil utvikle seg på sikt. Kilde: Øksnevad & Nerdal (2021).



Figur 4.13. Teip mot betongdekke/avretningsmasse har løsnet. Avretningsmassen var ikke primet på forhånd. Her ser vi for øvrig en variant av tetning rundt vindu hvor dampsperra er teipet mot vinduskarmen slik at man unngår separat tetting av monteringsfugen med fugeskum eller fugemasse. Utfordringen er da at det kun er den lille "leppa" på utsiden av sporet til fôringen man kan teipe mot, noe som gjør metoden følsom for utførelsesfeil. Foto: Stig Geving





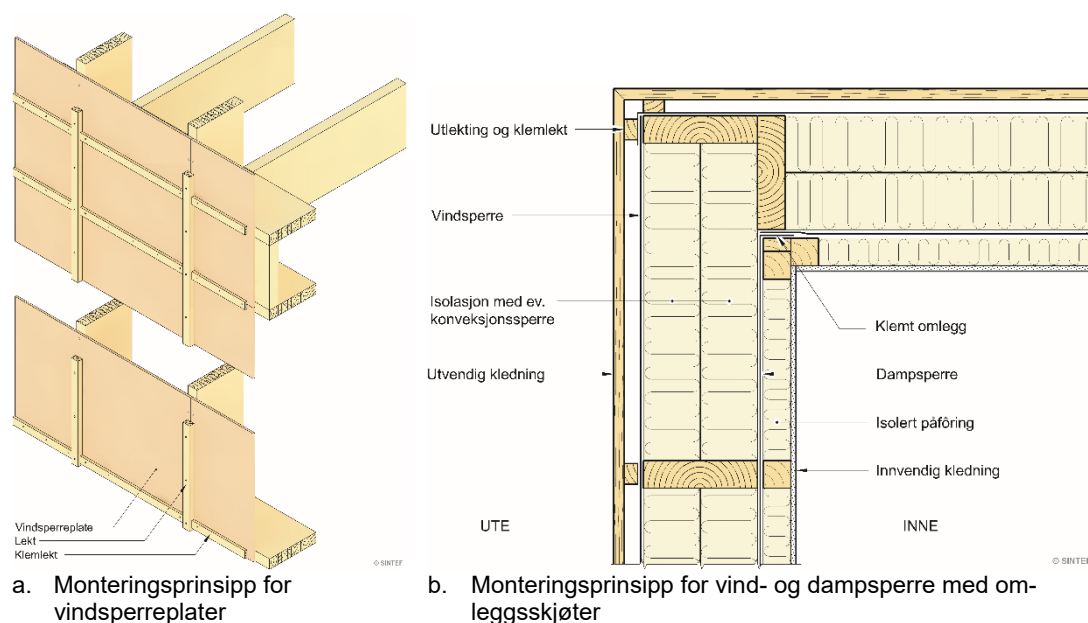
Figur 4.14. Teiping mot beslag i overkant av vindu. Hjørnene, som flere ganger er trukket fram som utfordrende detaljer, er utført med overlappende teip, og man kan se at det har oppstått luftlommer. Her har imidlertid ikke teipen mot beslaget en lufttettende funksjon, men skal hindre inntrenging av regnvann. Luftlommene er således uproblematisk her. Kilde: Øksnevad & Nerdal (2021).



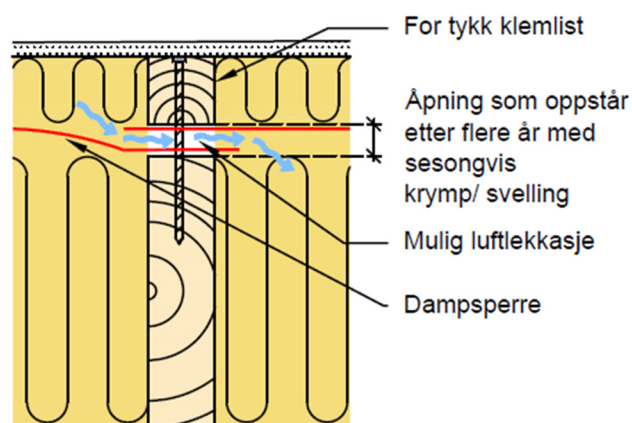
Figur 4.15. Inntrukket vindu hvor teip er benyttet som vannutledende «membran» under bunnkarm. Det er viktig at teipen legges med riktig overlapp slik at vann ikke kan renne mellom teiprensene dersom det har oppstått lommer. Foto: Stig Geving

## 5 Klemte skjøter – den tradisjonelle tettemetoden

Den tradisjonelle metoden for å lufttette omleggsskjøter i damp- og vindspærresjiktet er med mekanisk klemming mellom to plane, faste flater, se prinsipp i figur 5.1b. Skjøter mellom to vindspærreplater har også tradisjonelt blitt klemt med klemler, se figur 5.1a. Tettemetoden er omtalt i Byggforskserien og Blom & Uvsløkk (2012). For å oppnå god lufttetthet også over tid er det i prosjektet gjennomført flere laboratorieforsøk i tillegg til tilhørende beregninger. En viktig problemstilling har blant annet vært å undersøke om klemming av skjøter kan gi god nok lufttetning i seg selv eller om det er behov for å supplere med teiping i tillegg. Tre og trebaserte materialer vil krympe og svulle også innendørs som følge av variasjon i inneklimatemp. Klemvirkningen vil avta, og det kan påvirke lufttettheten til omleggsskjøten over tid. En tykkere klemler vil eksempelvis krympe/svulle mer enn en tynnere klemler og dermed gi dårligere klem på sikt, se figur 5.2.



Figur 5.1 a og b. Monteringsprinsipp for vind- og dampspærre som viser klemming av skjøter med klemler. Kilde: Byggforskserien 523.255.



Figur 5.2. Over tid vil en tykk klemler ha større sesongvis krymping og svelling enn en tynnere klemler. Dette vil kunne føre til at spikerne gradvis "jobbes" ut av underlaget. Kilde: Geving (2021).

### Vindspærresjiktet

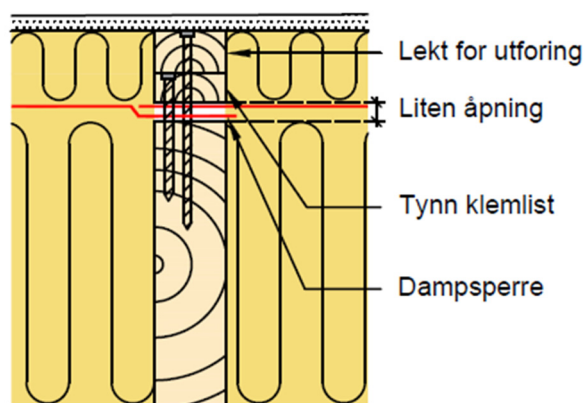
I masteroppgaven til Ingrid Krokan Storrø ble det undersøkt om bruk av teip kan redusere luftgjennomgangen i skjøtene i vindspærreplater, og hvordan naturlige fuktforandringer på-



virker lekkasjene (Storrø, 2021). Det ble gjennomført et laboratorieforsøk der det ble gjort målinger av luftgjennomgang i prøver bestående av klemte vindspærreskjøter. Halvparten av prøvene var bygd opp som tradisjonelle klemte skjøter, med en plateskjøt klemt mellom en stender og en lekt. Den andre halvparten var i tillegg utstyrt med teip mellom skjøten og lekten. Prøvene ble utsatt for fuktskykluser for å undersøke hvordan uttørring og oppfukting mellom målingene påvirket luftgjennomgangen. Fuktskyklusene besto av tre uttørkinger og to oppfuktinger. Målingene viste at luftgjennomgangen i skjøtene uten teip økte etter uttørring og sank etter oppfukting. Lekkasjeutviklingen gjennom fuktskyklusene var stigende for skjøtene uten teip, mens prøvene med teip hadde en flat lekkasjeutvikling etter første oppfukting. Senteravstanden mellom festemidlene har direkte sammenheng med antall perforeringer gjennom teipen og klemvirkningen på lekten. For å sikre best mulig resultat bør antallet perforeringer begrenses for å unngå gjennomhullinger av teipen, men likevel være liten nok til å oppnå god klemeffekt. Bruk av teip i tillegg til klemlekt viste seg i snitt å redusere luftgjennomgangen med 55 % sammenliknet med tradisjonelle klemte skjøter av vindspærreplater.

### Dampspærresjiktet

Masterstudent Øyvind Norvik gjennomførte laboratorieforsøk for å undersøke effekten av syklisk oppfukting og uttørring på lufttettheten av en klemt omleggsskjøt (Norvik, 2018). Luftgjennomgangen økte med antallet sykler. Senteravstand mellom festemidlene på 300 eller 150 mm var mer gunstig enn 450 mm. Tidligere arbeid gjennomført av Selmer (2013) og Bergby (2011) konkluderte med at klemlekter ikke bør være tykkere enn 36 mm for å gi en kontinuerlig og varig klem. For å oppnå fullgod klem ved 48 mm innvendig påføring kan omleggsskjøtene først klemmes med en tynnere lekt som så føres ut til riktig tykkelse, se figur 5.3. Mer varig klemvirkning oppnås også med bruk av skruer med glatt stamme gjennom klemlekten i stedet for spiker.



Figur 5.3. Delt klemlekt (klemlekt + utføringslekt) kan være aktuelt der man har behov for tykke utføringer (> 36 mm). Dermed unngår man effekten vist i figur 5.2. Kilde: Geving (2021).

## 6 Andre aspekter ved bruk av teip

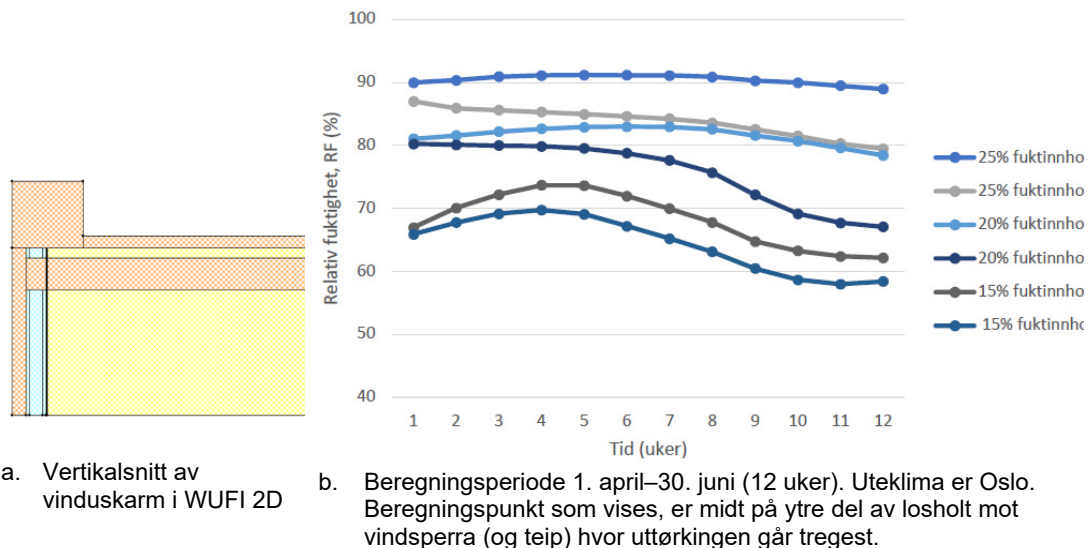
### 6.1 Damptetthet til teipprodukter

Damptettheten til teipproduktene kan i en del tilfeller ha betydning for fuktforholdene i en konstruksjon. Dersom en vindsperretape er for damptett, kan det medføre kondensering eller ugunstig høy RF på innsiden av teipen. Tilsvarende kan en dampsperreetape med for liten dampmotstand føre til at for mye fukt diffunderer ut i konstruksjonen – hvis det ikke er dampsperre bak hele teipens bredde. Johnsen et al. (2021) utførte målinger av dampmotstand til 8 forskjellige vindsperreteiper og en dampsperreteip. Sd-verdien til vindsperreteipene varierte mellom 1,2 og 9,2 m, hvorav seks hadde Sd-verdi lavere enn 2,8 m og to hadde Sd-verdi høyere enn 8,9 m. Ingen av teipproduktene kan således sies å være spesielt dampåpne sammenliknet med anbefalingen om at vindsperra bør ha Sd-verdi lavere enn 0,5 m. Dampsperreteipen hadde derimot en Sd-verdi på 30 m, noe som gjør at den i seg selv oppfyller anbefalingen om at dampsperrer bør ha Sd-verdi større enn 10 m. Dampsperreteipene kompletterer derfor dampsperra, og vil kunne fungere som dampsperre der dampsperra eventuelt ikke er kontinuerlig.

Vindsperreteipene vil imidlertid kunne være et potensielt problem med hensyn til uttørring av fukt gjennom vindsperra, og risikoen for kondensering mot innside vindsperra eller høy RF som kan gi mulighet for muggvekst. Dette vil avhenge av for eksempel arealet eller bredden på teipen, Sd-verdien til teipen, antall overlappende lag av teip og mulighet for fukten til å tørke rundt (sideveis) og forbi teipen. Når det gjelder det sistnevnte, vil spesielt detaljer som fuger rundt vinduer o.l. potensielt kunne være utsatt. Risikoen vil selvfølgelig også være avhengig av nivået for fukttilførsel fra innelufta (på grunn av diffusjon og luftlekkasjer), byggfuktnivå i for eksempel treverk og eventuelle mindre nedbørslekkasjer som har behov for å tørke ut.

Johnsen (2020) gjennomførte fukttekniske beregninger med WUFI 2D av uttørring av byggfukt i treverket i bindingsverksvegger for to tilfeller: 1) Uttørring av byggfukt i trestender med 60 mm vindsperrreteip plassert mellom vertikal lekt og stender, og 2) Uttørring av byggfukt i losholt under vindu med vindsperrreteip plassert foran losholt og vindusfuge. Begge disse tilfellene ga forsinket uttørring av byggfukt og økt muggvekstrisiko sammenliknet med at det ikke var benyttet teip, og spesielt ugunstig var dette for tilfelle 2. Merk at det var benyttet teip med en høy dampmotstand ( $S_d = 8,9$  m). I figur 6.1 vises noen av beregningene for tilfelle 2.

Beregningene for vinduskarmen viser risiko for muggvekst i ytre del av losholten når byggfuktnivået i losholten er 20 vektprosent eller høyere, og det er benyttet en vindsperrreteip med høy dampmotstand. Ved å holde byggfuktnivået ved lukking av konstruksjonen under 18–20 vektprosent antas det imidlertid at risikoen for muggvekst er lav. Det kan likevel vurderes å være ugunstig å benytte de mest damptette vindsperreteipene ( $S_d \approx 9$  m) til tetting rundt vinduer og liknende detaljer – spesielt når det altså fins mange vindsperreteiper med Sd-verdi lavere enn 3 m.



Figur 6.1. Fuktberegninger med WUFI 2D som viser uttørking av byggfukt av losholt under vinduskarm avhengig av om det benyttes vindsperreteip eller ikke og byggfuktnivå.

## 6.2 Regntetthet med teip som tetteløsning rundt vindu

Lekkasjer av regnvann ved vindu, det vil si lekkasjer inn i veggen via utettheter mellom vinduskarm og vegg, er en av de vanligste typer regnlekkasjer gjennom bygningskroppen. Det betyr at selve tettemetoden mellom karm og vegg kan være av stor betydning. Dette gjelder jo spesielt i byggefasen når kledning ennå ikke er montert, men kan også ha betydning i driftsfasen dersom regnskjermen som kledning, beslag og annen omramming rundt vinduet ikke er optimalt utformet. Spesielt i slagregnsutsatte strøk kan dette ha ekstra betydning.

Skogstad og Asphaug (2012) gjennomførte laboratorietestinger av regntettheten til forskjellige vanlige tetteløsninger rundt vinduer:

- vindsperrestrimler klemt med lekter
- fugemasse mot bunnfyllingslist
- polyuretanskum
- ekspanderende fugebånd
- ulike kombinasjoner av teip, vindsperrestrimler og membraner med klebeevne

Prøvingen ble gjennomført med regnbelastningen direkte mot vindsperrersjiktet. Slike forhold oppstår i byggeperioden før veggene kles utvendig. På ferdige bygg vil regnskjerm i form av sålbenkbeslag og kledning gjøre at kun kraftig slagregn vil trenge inn på vindsperrersjiktet. Kraftig slagregn kan imidlertid også gi tilstrekkelig mengde vann inn på vindsperrersjiktet til å gi tilsvarende lekkasjer som under prøvingen.

Teip var i mange tilfeller regntett ved 600 Pa, og til sammenlikning anbefaler man i rapporten at en tetteløsning rundt vindu skal være regntett ved minst 300 Pa trykkforskjell ved prøving i slagregnskap. Hjørnene av vinduskarmen var mest utsatt for lekkasjer og var regntett kun opp til 150 Pa. Teipen som ble brukt, var ikke tøyelig, og det var derfor vanskelig å legge teipen sammenhengende rundt hjørnene av vinduskarmen. Av den grunn ble det konkludert med at det er viktig at teipen monteres nøyaktig, særlig i hjørnene. Prøvingen viste at det kreves noe øvelse for å montere teipen så nøyaktig at den tetter godt. Det er enklere å montere teip som har todelt beskyttelsepapir. Tetteløsninger med teip som har klebefelt kun på én side, er best egnet når vinduskarmen stikker utenfor vindsperra slik at man får tilstrekkelig plass til å klebe teipen mot vinduskarmen. For øvrig viste prøvingen at teip gir god regntetting når den er montert nøyaktig, og vesentlig bedre regntetthet enn for eksempel vindsperrestrimler klemt med lekter.

## 7 Anbefalinger for valg og bruk av teip

For å oppnå varige klebeforbindelser i både dampspærre- og vindspærresjiktet er det viktig å ta hensyn til teipingens allerede i prosjekteringsfasen. Det bidrar til å unngå situasjoner der utførende står overfor utfordrende løsninger under teipingens. Likeså bør prosjekterende på et tidlig tidspunkt gjøre seg kjent med de forskjellige produktene som tilbys i markedet. Det fins spesialprodukter som er skreddersydd for ulike geometriske utfordringer, inkludert teiping mot ulike typer underlag. Valg av riktig produkt til det aktuelle formålet samt nøye oppfølging av bruksanvisningen for produktene er avgjørende for å sikre lang levetid for tettesjiktene.

Tabellen nedenfor viser en enkel oppsummering av anbefalingene.

Tabell 7.1. Oppsummering av anbefalingene.

<b>Prosjektering</b>	
Detaljløsninger	Detaljer med kompleks geometri som vindusinnsetting, hjørneløsninger, beslag, overganger mellom bygningsdeler og gjennomføringer der teiping kan by på praktiske utfordringer, bør vurderes nøye, og det kan være hensiktsmessig å utarbeide en detaljert tegning av løsningen som også angir rekkefølgen på teipingens.
Gjennomføringer	Utforming av gjennomføringer bør planlegges nøye, og bruk av enten teip eller spesialprodukter som mansjetter bør vurderes i denne fasen.
<b>Materialvalg</b>	
Bruksområde	Teipen bør bare brukes på underlagsmaterialer hvor heftegenskapene, både ferskt og aldret, er dokumentert med tilfredsstillende resultat.
Priming	Enkelte vanskelige underlag kan kreve priming, for eksempel betong og trefiberplater.
Dampmotstand	Vindspærreteip: Ingen krav, men fordel om $S_d < 3$ m. Rundt vinduer bør $S_d < 3$ m. Dampspærreteip: Ingen krav ved overlappsskjøter i dampsperra, men $S_d > 10$ m ved diskontinuerlig dampspærre og mot vinduer.
Dokumentasjon	Produkter med SINTEF Teknisk Godkjenning (TG) har gått gjennom omfattende testing. TG-dokumentet angir hvilke underlag den spesifikke teipen har dokumentert bestandighet for. Teip har ulik heft på ulike underlag.
<b>Utførelse</b>	
Monteringstemperatur	De forskjellige teipene har ulik anbefalt laveste monteringstemperatur. De fleste oppgir en laveste monteringstemperatur mellom $-10$ og $+5$ °C.
Fuktighet	De fleste teipene må monteres på tørt underlag, men noen få angis å kunne festes på fuktig underlag. Dette bør i så fall være dokumentert, samt at heft bør etterkontrolleres når det har gått noen dager.
Snø/rim/smuss	Underlaget det klebes mot, må være tørt og rent for støv, skitt og fett. Snø og rim bør fjernes i størst mulig grad før klebing.
Strekk i klebeforbindelsen	Klebematerialet holder seg elastisk over tid. Det må ikke være strekk i klebeflaten etter montering. Teipen kan ikke brukes til å holde sammen materialer der klebeflaten utsettes for kontinuerlig belastning.
Todelt beskyttelsespapir	Mange teiper leveres med delt beskyttelsespapir for lettere montering for eksempel rundt vinduer, dører, gjennomføringer og overganger.
Lagring på byggeplass	Vanlig krav til lagring er tørt og kjølig, og ikke utsatt for sollys.
Opplæring	God kunnskap om bruksanvisninger og håndtering av materialer blant utførende anbefales.
<b>Eksponering</b>	
Temperaturbestandighet	Teip som har bestått bestandighetsprøving, har dokumentert bestandighet ved normale klimatiske betingelser for produktet. Spesialanvendelser som medfører spesielt høye temperaturer, for eksempel nær varmekilder eller på svarte, solutsatte tak, kan medføre kortere levetid for produktet.
UV-bestandighet	De fleste teiper er kun testet for UV-eksponering i en begrenset periode i byggefasen. Det fins spesialteiper som er utviklet og testet for bruk der UV-eksponering skjer gjennom hele bruksfasen (eksempelvis bak åpen kledning).

## 8 Referanser

- Antonsson, U. (2017). *Lufttåta klimatskal under verkkelige forhold*. Samhøllsbygnað.
- Bergby, J. C. (2011). *Lufttetthet av klemte skjøter i vind- og dampspærresjikt* [Masteroppgave]. Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU.
- Blom, P., & Uvsløkk, S. (2012). *Bygg tett – og ventiler rett!* Prosjektrapport 98. SINTEF Byggforsk.
- Brozovsky, J., Nocente, A., & Rùther, P. (2023). Modelling and validation of hygrothermal conditions in the air gap behind wood cladding and BIPV in the building envelope. *Building and Environment*, 228. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109917.
- Fufa, S., & Labonnote, N. (2014). *Report evaluation of tapes used in buildings. Durability test, evaluation and service life estimation methods*. SINTEF Building and Infrastructure.
- Geving, S. (2021). *Praktisk bygningsfysikk*. Fagbokforlaget.
- Gradeci, K., & Sletnes, M. (2021). The hybrid-agile design of experiments methodology. *Journal of Physics: Conference Series*, 2069 012039. DOI: 10.1088/1742-6596/2069/1/012039.
- Gullbrekken, L., Bunkholt, N. S., Geving, S., & Rùther, P. (2020). Air leakage paths in buildings: Typical locations and implications for the air change rate. *12<sup>th</sup> Nordic Building Physics Conference (NSB2020). 7-9<sup>th</sup> September. Tallinn, Estonia*.
- Johnsen, I-H. (2020). *Vanndampgjennomgang i vindspærretape* [Masteroppgave]. Institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU.
- Johnsen, I-H., Andenæs, E., Gullbrekken, L., & Kvande, T. (2021). Vapour resistance of wind barrier tape: Laboratory measurements and hygrothermal performance implications. *Journal of Building Physics*, 46(1),77-94. DOI: 10.1177/17442591211057188.
- Leprince, V. et al. (2017). Durability of building airtightness – review and analysis of existing studies. *38th AIVC Conference, Nottingham UK*.
- Linløkken, T. K. (2023). *Development of a test method for evaluating durability of adhesive tapes in construction* [Masteroppgave]. Institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU.
- Møller, E. B., & Rasmussen, T. V. (2020). Testing joints of air and vapour barriers. Do we use relevant testing methods? *XV International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC), Barcelona*.
- Norvik, Ø. (2018). *Fuktvariasjoners innflytelse på lufttettheten til klemte skjøter i dampspærren – og effekten av tape* [Masteroppgave]. Institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU.
- Rùther, P., Gradeci, K., & Sletnes, M. (2020). Predominant climate exposure strains – thermal degradation testing compared to historical and future climate scenarios. *XV International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC), Barcelona*.
- Selmer, J. B. (2013). *Festemidlers innflytelse på lufttetthet av klemte skjøter i vind- og dampspærresjikt* [Masteroppgave]. Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU.

Skogstad, H. B., & Asphaug, O. (2012). *Tetteløsninger rundt vindu – Regntetthet*. Prosjektrapport 88. SINTEF Byggeforsk.

Sletnes, M., & Frank, S. (2020). Performance and durability of adhesive tapes for building applications. From product documentation to scientific knowledge (and back again). *XV International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC), Barcelona*.

Storrø, I. K. (2021). *Lufttetthet i klemte vindspærreskjøter og effekten av tape* [Masteroppgave]. Institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU.

Øksnevad, J. V., & Nerdal, K. (2021). *Tape som tettemateriale for luft- og regntetting av bygninger – Erfaringsinnhenting* [Masteroppgave]. Institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU.

# Tetting av bygningskroppen ved bruk av teipprodukter

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra kunnskapsprosjektet TightEN – Durable adhesive airtight solutions for energy effective building envelopes (2019–2023). Det overordnede målet med prosjektet har vært å øke kunnskap om klebeløsninger til bygningsformål og deres bestandighet.

De siste 15 årene har klebeprodukter, og spesielt teip, gjort sitt inntog på det norske markedet og blitt kanskje det viktigste tetteproduktet for bygningskroppen. Denne rapporten fokuserer først og fremst på praktiske aspekter ved bruk av teip for lufttetting, men gir også bakgrunnsinformasjon om luftlekkasjer i bygninger og en oversikt over produkter, krav og testmetoder. Rapporten er rettet mot prosjekterende og utførende, og viser spesielt hvilke praktiske hensyn som er viktige for å oppnå tilstrekkelig lufttetthet over tid.