



Lufttäta klimatskal under verkliga förhållanden, etapp 1 och 2



Lufttäta klimatskal under verkliga förhållanden

Etapp 1 och 2

Ulf Antonsson och Viktor Emanuelsson,
RISE Research Institutes of Sweden



Energimyndighetens projektnummer: 40636-1 och 40636-2

E2B2



Förord

Text skall skrivas av E2B2

E2B2 Forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende är ett program där akademi och näringsliv samverkar för att utveckla ny kunskap, teknik, produkter och tjänster.

I Sverige står bebyggelsen för cirka 35 procent av energianvändningen och det är en samhällsutmaning att åstadkomma verklig energieffektivisering så att vi ska kunna nå våra nationella mål inom klimat och miljö. I E2B2 bidrar vi till energieffektivisering inom byggande och boende på flera sätt. Vi säkerställer långsiktig kompetensförsörjning i form av kunniga människor. Vi bygger ny kunskap i form av nyskapande forskningsprojekt. Vi utvecklar teknik, produkter och tjänster och vi visar att de fungerar i verkligheten.

I programmet samverkar över 200 byggtreprenörer, fastighetsbolag, materialleverantörer, installationsleverantörer, energiföretag, teknik konsulter, arkitekter etcetera med akademi, institut och andra experter. Tillsammans skapar vi nytta av den kunskap som tas fram i programmet.

Namn är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av Utförare och har genomförts i samverkan med Samfinansierare.

Kort projektinformation från projektkatalogen.

Stockholm, Datum (dag månad år)

Anne Grete Hestnes,

Ordförande i E2B2

Professor vid Tekniskt-Naturvetenskapliga Universitet i Trondheim, Norge

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.



Sammanfattning

Beständigheten hos klimatskalets lufttätetsystem är helt avgörande för om nära-nollenergihus, passivhus och plushus kommer att fungera som det var tänkt över tid. Eftersom produkterna som säkerställer lufttäteten oftast befinner sig inuti konstruktionen kan det därför innebära stora ingrepp i byggnader om de behöver bytas ut i förtid. Att i laboratorium i förväg kunna utvärdera beständigheten hos det lufttätande systemet är viktigt och för detta behövs en provningsmetod.

Det överordnade syftet med hela projektet är att utveckla en metod där hela system för lufttätet kan undersökas. Detta så att god lufttätet och låg energianvändning kan erhållas under lång tid hos framtidens lufttätetsystem. Projektet har innehållit utveckling och provkörning av en ny provningsmetod. Provningsmetodiken har dokumenterats i SP-metod 5264 utgåva 3, bilaga 2 till denna rapport.

Provningsmetoden har fungerat bra vid pilotprovningarna. Man ser en förändring av lufttäteten vid mätningar före respektive efter värmebehandlingen. Provningsmetoden är känslig på så sätt att förändring i lufttäteten kan registreras.

Provningsmetoden är ett bra verktyg för producenter av lufttätetsystem vid produktutveckling. Metoden kan också vara lämplig för användning vid utvärdering av lufttätetsystem för olika godkännandesystem och certifiering.

Samtliga provade lufttätetsystem hade god lufttätet före värmebehandlingen. Alla systemen visar på resultat under $0,1 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$. Efter värmebehandlingen visar alla undersökta lufttätetsystem dock en ökande luftgenomsläpplighet, i varierande grad.

I projektet har även montage av lufttätetsystem gjorts i miljöer som valts för att efterlikna realistiska byggarbetsplatsförhållanden. Alla de undersökta lufttätetsystemen visar på förändringar i lufttäteten då montaget har skett i kall och fuktig miljö och vid montage i dammig miljö. Variationen mellan de olika systemen har dock varit ganska stor.

Resultaten från långtidsåldringarna visar på stor spridning i läckage mellan de olika lufttätetsystemen. Observera att långtidåldringen har utförts vid 80°C 50 % RF för lufttätetsystem 2 medan lufttätetsystem 1 och 3 har åldrats vid 70°C 50 % RF. Detta innebär att den simulerade användningstiden troligen är dubbelt så lång för lufttätetsystem 2 jämfört med den simulerade användningstiden för lufttätetsystem 1 och 3. Åldringen är ett försök att simulera en tänkt användningstid på 25 respektive 50 år.

Resultaten från de småskaliga exponeringarna utförda med komponenter från de olika lufttätetsystemen stämmer visuellt väl överens med resultaten från exponeringarna i storskala. Om möjliga problem med komponenter uppstod vid de småskaliga exponeringarna ser man även att en ökad förekomst av problem med läckage efter exponeringen i stor skala.

Resultaten från den mekaniska provningen av skarvar från provning i storskala är nivåmässigt relativt likvärdiga med värden för skarvprov exponerade i småskala, erfarenhetsmässigt. Den maximala



kraften uppmätt under skjuvprovningarna ökar efter exponering, och de värden och ökningarna man kan se ligger i nivå med de man kan se för skarvtejper på marknaden.

Provningsmetoden har även fungerat bra för de provade isoleringsprodukterna med lufttätande egenskaper (polyuretan). Inom projekts ram har två olika isoleringsprodukter med lufttätande egenskaper undersökts. Resultaten visar på att denna typ av konstruktion är mycket lufttät.

Alla lufttätethetsystem i framtiden bör undersökas med denna metod. Då kan det vara möjligt att man kan få en stark förbättring av lufttäteten och därmed lägre energianvändning i byggnader där undersökta lufttätethetsystem används. Som exempel kan nämnas att energianvändningen kan öka med 15 % om luftläckaget förändras från 0,3 till 0,9 l/(s·m²) (1).

Nyckelord: Lufttätethet, luftläckage, dimensionsstabilitet, beständighet, åldring, klimat, damm



Summary

The airtightness durability of the building envelope is crucial if near-zero energy houses, passive houses and plus houses are to function as intended over time. Very often these products that ensure the airtightness of the building is deep in the construction itself, which would require a major undertaking if, they needed to be replaced prematurely. Therefore, it is extremely important to evaluate the durability of the airtightness system in question in advance in a laboratory environment, and for this a suitable test method is required.

The overall objective of the whole project is to develop a method in which the entire system for airtightness can be examined. This is so that good airtightness and low energy usage can be maintained under a long period of time in future airtightness systems.

This stage of the project has included the development and testing of the new test method, which is documented as SP method 5264, 3rd edition, a copy of which is attached in appendix 2 of this report.

The test method has worked excellent in the pilot tests. There is a change of the air permeability in the measurement before and after the heat treatment. The test method is very accurate and sensitive which allows the change in airtightness to be recorded.

The test method has the potential to be a useful tool for producers of airtightness systems in product development. The method is also suitable for evaluating the airtightness systems in different methods of approval and certification.

All tested airtightness systems were very airtight before heat treatment. All systems reach results below 0.1 l/(s·m²). However, after heat treatment all the tested airtightness systems displayed an increase in air permeability in varying degrees.

In the extended project, installation of airtightness systems were made in environments that have been chosen to mimic realistic on-site condition constructions. All the investigated airtightness systems show changes in air density when the assembly had taken place in cold and humid environments and when in-installed in a dusty environment. The variation between the different systems, however, is quite large.

The results from long-term aging show a large spread of leakage between the different airtightness systems. Note that long-term ageing has been performed at 80 °C / 50% RH for airtightness system 2 while air-tightness systems 1 and 3 have been aged at 70 °C / 50% RH. This means that the simulated usage time is likely to be twice as long for airtightness system 2 as compared to the simulated usage time for airtightness systems 1 and 3. The ageing is a trial to simulate an intended use time of 25 and 50 years respectively

The results from the small-scale exposures carried out with components from the different airtightness systems are visually consistent with the results of the large-scale exposures. If possible problems with components were encountered in the small-scale exposures, then this is reciprocated in an increased occurrence of leakage problems after exposure on a large scale.



The results of the mechanical testing of splices from large scale testing are relatively equivalent to the values obtained for joint samples exposed to small scale, experimentally speaking. The maximum force measured during shear tests increases after exposure, and the values and increases noted are in line with expected properties stated for splice tapes on the market.

The test method has worked well for the tested insulation products with air tightening properties (polyurethane). Within the project framework, two different insulation products with air tightening properties have been investigated. The results show that this type of construction is very airtight.

All airtightness systems should, in the future, be investigated using this method. Then it may be possible to get a strong improvement in airtightness and thus lower energy consumption in buildings using tested air-tightness systems.

As an example, energy consumption can increase by 15% if air leakage changes from 0.3 to 0.9 l/(s·m²) (1).

Key words: Airtightness, air leakage, dimensional stability, durability, aging, climate, dust.



INNEHÅLL

1	ORIENTERING	10
2	BAKGRUND	12
3	TIDIGARE PROJEKT	13
4	SYFTE	14
5	GENOMFÖRANDE	15
5.1	PROVNING STORSKALA ENLIGT SP-METOD 5264	15
5.1.1	PROVNING	15
5.1.2	MEKANISK PROVNING AV SKARVAR	15
5.2	SMÅSKALIGA FÖRSÖK	15
5.2.1	PROVBEREDNING	15
5.2.2	EXPONERING	16
5.2.3	AVSLUTANDE UTVÄRDERING	16
6	PROVNINGSMETODEN	17
6.1	PROVUPPSTÄLLNING	17
6.2	MONTAGE AV LUFTTÄTHETSYSTEM	18
6.3	PROVNING	21
6.3.1	VÄRMEBEHANDLING	21
6.3.2	ÅLDRING	21
7	RESULTAT	22
7.1	SAMMANSTÄLLNING LUFTTÄTHETSYSTEM 1	23
7.2	SAMMANSTÄLLNING LUFTTÄTHETSYSTEM 2	26
7.3	SAMMANSTÄLLNING LUFTTÄTHETSYSTEM 3	29
7.4	PILOTPROVNING PÅ ISOLERINGSPRODUKTER MED LUFTTÄTANDE EGENSKAPER (POLYURETAN)	32
8	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	35
8.1	MONTAGE UNDER IDEALA FÖRHÅLLANDEN	35
8.2	MONTAGE I KALL OCH FUKTIG MILJÖ	36
8.3	MONTAGE I DAMMIG MILJÖ	37
8.4	LÅNGTIDSÅLDRING AV LUFTTÄTHETSYSTEM	38



8.5	PILOTPROVNING PÅ ISOLERINGSPRODUKTER MED LUFTTÄTANDE EGENSKAPER (POLYURETANSKUM)	40
8.6	SLUTSATS	41
9	FORTSÄTTA STUDIER	42
10	LITTERATURFÖRTECKNING	43
	BILAGA 1	44
	BILAGA 2	85



1 Orientering

Detta projekt är ett projekt som behandlar beständighet och funktion hos lufttätessystem avsedda för byggnader med normalt tillhörande detaljer, såsom folie, tejp, prefabricerade genomföringar med mera.

Etapp 1 av projektet har innehållit metodutveckling, konstruktion och byggande av en prototypurustning. Detta så att dimensionering, uppvärmnings sätt, nivå för dynamisk belastning med mera har kunnat väljas och utprovas. Några kortare pilotprovningar av dimensionsstabilitet har utförts och provningsmetodiken har dokumenterats i SP-metod 5464. Inom ramen för etapp 1 av projektet har också komplettering av metoden skett med kunskap och moment för att efterlikna realistiska byggarbetsplatsförhållanden. Etapp 1 redovisas i rapport E2B2 rapport 2017.01

Etapp 2 av projektet har omfattat verifiering av provningsmetodiken genom att provningsmetoden provkors avsevärt längre åldringstider (upp till 40 veckor) för att försöka simulera realistiska användningstider. Även några isoleringsprodukter (polyuretan) som påstås ha lufttätande egenskaper har provkörts i metoden. I etapp 2 har även småskalig åldring med tillhörande mekanisk provning utförts. Detta för att finna realistiska åldringstemperaturer. Denna rapport omfattar både etapp 1 och 2 av projektet.

Energimyndigheten har genom utlysningen i E2B2, juni 2016, finansierat en utökning av etapp 2 av projektet. Inom ramen för denna del av projektet avses att komplettera metoden med kunskap och moment för utvärdering av andra produkter som kan återfinnas i en väggkonstruktion som har inverkan på lufttäteten så som isoleringsprodukter som påstås ha lufttätande egenskaper. Syftet är att nå god lufttätethet och låg energianvändning under lång tid.

Energimyndigheten har genom utlysningen E2B2 delfinansierat etapp 1 och etapp 2 av projektet. Jörgen Sjödin har varit Energimyndighetens handläggare. Energimyndighetens projektnummer: 40636-1 och 40636-2

Etapp 1 av projektet har också haft delfinansiering av SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond), som utvecklingsprojekt nr. 13013, då under namnet "Utveckling av metodik för verifiering av beständighet hos system för lufttätethet, etapp 1".

Etapp 2 har också delfinansierat av SBUF som utvecklingsprojekt nr. 13164, då under namnet "Pilotstudie av beständighet hos lufttätethetssystem - Utveckling av metodik och verifiering av några systemlösningar, Etapp 2".

För SBUF-finansieringen stod Rolf Jonsson, Wästbygg AB, som sökande. Pär Åhman från Sveriges Byggindustrier har varit projektsamordnare.

Både etapp 1 och 2 av projektet har också haft finansiering av företagen 3M Svenska AB, Isola AB och T-Emballage AB.



Projektgruppen har bestått av följande personer:

Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier, FoU-Väst, Projektsamordnare

Rolf Jonsson, Wästbygg AB. Projektansökare

Mattias Gunnarsson, Peab Sverige AB

Peter Koskinen, NCC

Nils Janbert, T-Emballage AB

Christer Edholm, T-Emballage AB

Torbjörn Andersson, Isola AB

Jørgen Young, Isola AS

Therese Tyson, 3M Svenska AB

Viktor Emanuelsson, RISE

Jörgen Romild, RISE

Thomas Henderson, RISE

Ulf Antonsson, RISE, Projektledare

Jag vill tacka för finansieringen och alla som har deltagit med sin kompetens och sina erfarenheter.

Flera andra personer har också bidragit till projektet:

Jörgen Olsson, Polyterm AB

Roger Olsson, Polyterm AB

Richard Dawson, RISE

Peter Ylmén, RISE

Roger Davidsson, RISE

Mikael Bengtsson, RISE

Börje Gustavsson, RISE

Till dessa vill jag också framföra ett stort tack.



2 Bakgrund

Lufttätheten påverkar det termiska klimatet, ventilationens funktion, fukt i konstruktionen och energianvändningen i byggnaden. Kravet på god lufttäthet kommer att öka då förekomsten av låg-energihus, passivhus och plushus ökar. I dessa hus typer är behovet av en beständig lufttäthet stort om den önskade låga energianvändningen stadigvarande skall kunna erhållas. Beständigheten hos lufttäthetsystemet är helt avgörande för om lågenergihus, passivhus och plushus kommer att fungera som det var tänkt över tid. Eftersom produkterna som säkerställer lufttätheten oftast befinner sig inuti konstruktionen kan det innebära stora ingrepp i byggnader om de behöver bytas ut i förtid.

De viktigaste negativa konsekvenserna av bristande lufttäthet är (2):

Tabell 1. Sammanfattning av negativa konsekvenserna av bristande lufttäthet

Område	Konsekvens
Energi	Ökad energianvändning, transmissionsförluster Ökad energianvändning, ventilationsförluster
Komfort	Drag Kalla golv
Fukt	Skador av fuktkonvektion Skador av inläckande regnvatten
Luftkvalitet	Funktion hos ventilationssystem Spridning av lukter, partiklar, gaser t ex radon
Annat	Frysrisk hos installationer Försämrade ljudisolering

För att minska risken för skador enligt ovan är det av största vikt att byggnaden är lufttät och att lufttätheten bibehålls över lång tid. De flesta, om inte alla, system för lufttäthet består av polymera material. Polymera material är till skillnad mot många andra byggnadsmaterial känsliga för åldring. Hur det polymera materialet är uppbyggt, vad det består av, hur det är tillverkat och lagrat samt vilken miljö det är omgivet av vid användning har avgörande betydelse för beständigheten över tid.



3 Tidigare projekt

Tidigare har det skett en översiktlig studie "Beständighet hos lufttätetslösningar", SP Rapport 2012:57 (3) som finansierades av SBUF och CERBOF¹ för att se hur beständigheten för lufttätetslösningar förhåller sig. Denna studie visar att det finns indikationer på att vissa lösningar inte håller i längden. En viktig faktor för detta var att även om produkterna i sig hade god hållbarhet så var de inte kompatibla med de övriga produkterna. Man drar slutsatsen att provningar behöver utföras på kompletta system istället för enskilda produkter. Dessutom skiljde sig resultaten för mindre provbitar mot de i full skala vilket indikerar att skalan har betydelse. Det föreslås i rapporten att man utvärderar provningsmetoderna och justerar dem.

I detta projekt har man arbetat vidare enligt de slutsatser som framkom i det tidigare SBUF- och CERBOF-projektet. Vi anser att det är viktigt att få fram en provningsmetod som kan simulera den verklighet som lufttätetsystemen kommer att användas i. Det är vår uppfattning att byggbranschen kan hamna i ett problem om det inte finns relevanta provningsmetoder, vilket projektet ska leda till.

¹ Centrum för Energi- och Resurseffektivitet i Byggnad och Förvaltning



4 Syfte

Syftet med projektet är att:

Etapp 1: Med erfarenheterna från det tidigare (3) SBUF- och CERBOF-projektet utveckla en metodik där hela system för lufttätethet kan undersökas för att kunna säkerställa och verifiera funktion hos lufttätethetslösningarna. De förhållanden som många gånger råder på en byggarbetsplats misstänks påverka lufttätetheten negativt. Påverkan misstänks komma från låga temperaturer, hög fuktighet och dammiga förhållanden. Därför har etapp 1 av projektet också innehållit undersökning av lufttätethetssystem där applicering har skett under ogynnsamma förhållanden.

Etapp 2: Utvärdera med hjälp av långtidsåldring några system enligt metoden kompletterad med mekanisk provning av tejskarvar. I etapp 2 har även småskalig värmebehandling utförts på komponenter som ingick i respektive tillverkares lufttätethetssystem. Detta för att finna realistiska åldringstemperaturer.

Inom ramen för denna del av projektet har komplettering av metoden skett med kunskap och moment för utvärdering av andra produkter som kan återfinnas i en väggkonstruktion som har inverkan på lufttätetheten, så som isoleringsprodukter (polyuretan) som påstås ha lufttätande egenskaper.

Det överordnade syftet med hela projektet, båda etapperna, är att utveckla en metodik där hela system för lufttätethet kan undersökas. Detta så att god lufttätethet och låg energianvändning kan erhållas under lång tid hos framtidens lufttätethetssystem.



5 Genomförande

5.1 Provning storskala enligt SP-metod 5264

5.1.1 Provning

Tanken har varit att ta lärdom av det tidigare projektet (3) där resultaten för mindre provbitar skiljer sig från fullskaletester. Att göra fullskaletester är kostsamt och därför är avsikten att göra ett förenklat "fullskaletest" genom att använda endast en vägg. Förhoppningen är att förenkla metoden utan att resultaten blir missvisande. Kunskapen om lufttätande system ökas genom att några system blir pilotprojekt där den utvecklade metoden används för utvärderingen.

I många vedertagna metoder för provning av produkter för lufttätessystem sker applicering av produkterna under gynnsamma förhållanden. Appliceringen sker ofta vid normal inomhustemperatur och luftfuktighet. Inom ramen för detta projekt har komplettering av metoden skett med kunskap och moment för att efterlikna realistiska byggarbetsplatsförhållanden.

5.1.2 Mekanisk provning av skarvar

Prov av tejskarvar togs från provväggen efter avslutad exponering och lufttättest. Vid provtagning inför dragprovning av skarvar syntes skillnad på vissa materials påverkan av åldringen beroende på vart i provriggen som materialet satt. Material i den nedre delen av väggen uppvisade större tecken på att vara mer påverkat av åldringen än material längre upp på provväggen. På grund av dessa skillnader utfördes dragprovning på material från väggens mittendel för att få ett medelvärde på åldringens effekt på tejskarvarna. Efter konditionering togs 24 mm breda remsor ut ur proven vinkelrätt rakt över tejskarvarna. Därefter dragprovades proven i en Zwick Z100 enligt SP-metod 1380 version 3; kapitel 5.5 Skjuvprov på skarv, tills brott uppstod. Dragprovningshastigheten var 50 mm/minut. Oåldrat material provades enligt samma metod för att ha att jämföra med. Skjuvkraften är medelvärdet för den maximala kraften som mätts upp under minst fem dragprovningar.

5.2 Småskaliga försök

5.2.1 Provberedning

Provkroppar tillverkades med de komponenter som ingick i respektive lufttätessystem med hjälp av tillverkarnas installationsanvisningar. I varje provkropp ingick komponenter som på något sätt skulle sitta tillsammans i lufttätessystemet. För att mäta dimensionsförändringar hos de ingående komponenterna som uppstår under exponeringen samt hitta komponentkombinationer som eventuellt skulle kunna orsaka problem gjordes markeringar på lämpliga ställen på provkropparna. Alla provkroppar granskades visuellt inför exponeringarna, och avstånd mellan utförda markeringar noterades. Efter exponering utfördes samma granskning på nytt. Innan provkropparna granskades före och efter exponering konditionerades alla prov minst ett dygn i 23 °C/50 %RF.



5.2.2 Exponering

Tre olika åldringstemperaturer användes i studien. Vid alla temperaturer var den relativa fuktigheten 50 %RF.

- 60 °C
- 70 °C
- 80 °C

Två enskilda prov av varje typ av provkropp exponerades vid respektive temperatur. Exponeringstiden vid respektive temperatur var 5 dygn, ingen rampning av temperatur eller relativ fuktighet utfördes. Efter exponering konditionerades proven återigen minst ett dygn inför utvärderingen.

5.2.3 Avslutande utvärdering

Påverkan av respektive exponering utvärderades genom mätning av dimensionsförändringar hos de olika komponenterna i provkropparna. Därefter granskades provkropparna visuellt efter möjliga källor till luftläckage eller andra kompatibilitetsproblem. Vid eventuell osäkerhet vad gäller risk för läckage utfördes en läckagesökning enligt EN 12730, där man med hjälp av en såplösning detekterar läckage genom bubbelbildning vid ett undertryck.



6 Provningsmetoden

6.1 Provuppställning

Ytterväggen är uppbyggd i en stålram med måtten ca 3 x 3 m. Denna stålram gör det möjligt att i senare skede mäta lufttäteten. I stålramens botten finns en platsgjuten betongsula som fungerar som golv. På betongsulan monteras en träregelstomme och syll med eventuell sylltätning.



Bild 1. Provvägg under uppbyggnad

Genom att bygga upp en vägg i en stålram är det möjligt att i provuppställningen ansluta till en klimatkammare på provväggens insida, för värmebehandling.

På provväggens utsida finns det möjlighet ansluta en lufttät kammare där man kan variera lufttrycket för att skapa dynamisk belastning på lufttätessystemet exempelvis genom simulering av vindlaster. Det möjliggör också mätning av lufttätet hos provväggen.

Det är på detta sätt relativt enkelt att bygga upp olika konstruktionstyper med användning av olika system och produkter för lufttätning.



6.2 Montage av lufttätetsystem

Vid pilotprovningarna som har utförts inom ramen för detta projekt har provväggarna haft följande uppbyggnad. Väggen består av träreglar i dimensionen 45 x 170 mm med 170 mm mineralull.

Provväggen har innehållit:

- Sylltätning
- En horisontell skarv som har haft hela provuppställningens bredd
- En vertikal skarv som är placerad över en regel och tejpas
- Ett fast fönster 600 x 600 mm
- En genomföring för ventilation \varnothing 100-110 mm plaströr
- En genomföring för el \varnothing 16 mm plaströr
- Anslutning av plastfolien till betongytan
- Anslutning till annat material t ex plywoodskiva eller spånskiva
- Läkt (dim 15 x 45 mm) som ersätter regler för ett installationsskikt monteras horisontellt.



Bild 2. Montering av lufttätetsystem



Bild 3. Lufttätetsystem färdigt för provning



Bild 4. Montering av fönster och rör för ventilation Bild 5. Montering av rör för el

Montage av lufttätethetssystem har gjorts i miljöer som valts för att efterlikna realistiska byggarbetsplatsförhållanden. Dessa miljöer har varit:

- Kall och fuktig miljö. Vi har använt en temperatur på ca 5°C och en luftfuktighet ca 90–95 %RF
- Dammig miljö. Den dammiga miljön har skapats genom att konstgjort damm har "sprutats" mot plastfolien vid montage av plastfolien.

Den kalla och fuktiga miljön har skapats genom att stålramen med provväggen har placerats i en klimatkammare, "hot box", där klimatet har varit ca 5°C och 90–95 % RF på båda sidor om provväggen.

Vid montage i dammig miljö har det konstgjorda dammet sprutats mot plastfolien direkt i anslutning till att plastfolien vikts upp. Flertalet plastfolier på marknaden levereras dubbelvika, detta gör att folien är laddad med statisk elektricitet vid uppvikandet. Denna laddning med statisk elektricitet gör att damm lätt fastnar på plastfoliens yta. Konstgjort damm har tillverkats av:

- Betong som har krossats och malts samt därefter siktats till en kornstorlek av max 0,063 mm
- Gips som har framställts genom filning på en normal gipsskiva för inomhus bruk
- Sågspån av trä

Dessa ingredienser har blandats, 15 ml av varje ingrediens. Blandningen har hållts över i en tratt, se foto nedan. Tratten ansluts till en tryckluftpistol.



Bild 6. Tratt ansluten till tryckluftspistol och fylld med konstgjort damm



Bild 7. Konstgjort damm "sprutas" mot plastfolien



6.3 Provning

6.3.1 Värmebehandling

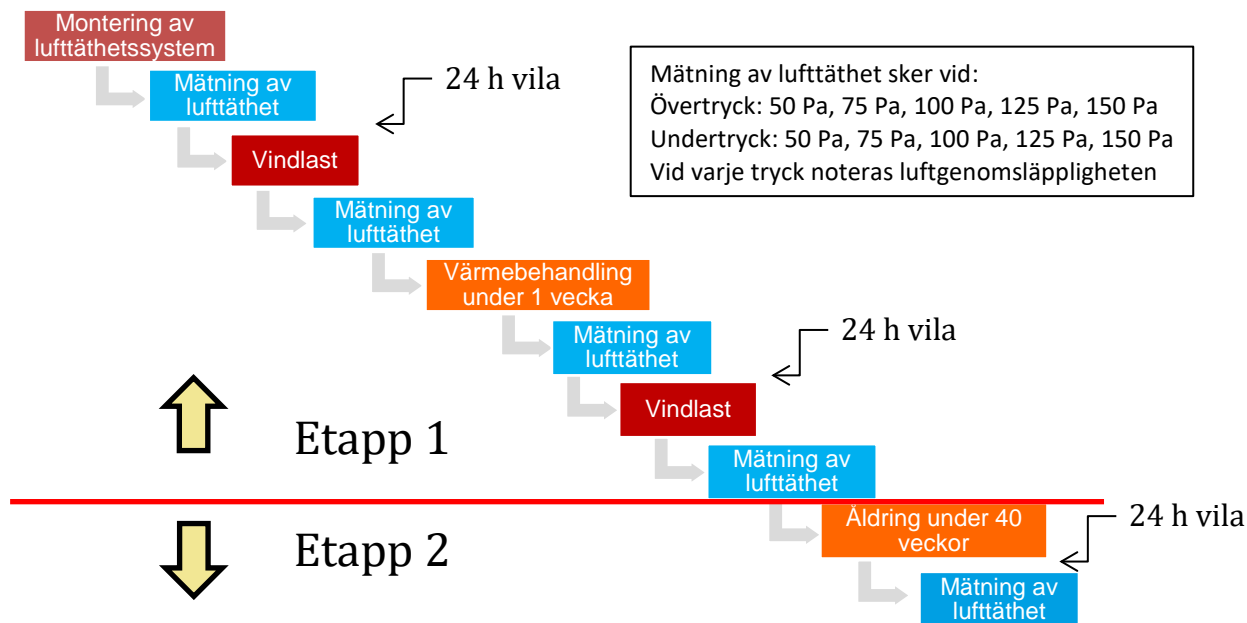
Efter montage av de i projektet ingående lufttätethetsystemen har mätning av lufttätethet och vindbelastning utförts därefter har värmebehandling utförts. Värmebehandlingen (fysikaliskåldring) utförs i syfte att få bort de från tillverkningen kvarvarande inbyggda spänningar som finns i folier och tejper.

Efter värmebehandlingen har återigen mätning av lufttätethet och vindbelastning utförts. Se nedan för en schematisk beskrivning av provningsprogrammet.

Temperaturen vid värmebehandlingen måste väljas med omsorg så att den är tillräckligt hög för att frigöra inre spänningar i materialen men samtidigt inte vara för hög så icke realistisk nedbrytning uppkommer. Projektgruppen beslutades att vid pilotprovningarna använda en temperatur på 60°C och en luftfuktighet på 50 % RF. Provningstiden bestämdes till att vara 7 dygn.

6.3.2 Åldring

Vid långtidsåldringen har provväggarna, efter den inledande värmebehandlingen, anslutits till klimatkammaren och där har artificiell åldring av lufttätethetsystemen utförts vid 70°C respektive 80°C och 50 % RF. Detta är en kemiskåldring där termo-oxidativ nedbrytning plastmaterialen sker.



Figur 1. Schematisk beskrivning av provningsprogrammet



7 Resultat

Vi har valt att utföra pilotprovningarna på tre olika lufttätthetssystem av olika fabrikat. De tre olika systemen har innehållit folie, tejp, manschetter för genomföringar och sylltätning. Vi har valt att redovisa resultaten från undersökningarna oidentifierat, detta innebär att inga system- eller produktnamn använd vid redovisningen av undersökningarnas resultat.

För de olika lufttätthetssystemen redovisas resultaten av mätningar av lufttäthet och montage under olika förhållanden.

Etapp 1 av projektet

- Montage under ideala förhållanden, normalt labbklimat
- Montage i kall och fuktig miljö, ca 5°C 90–95 % RF
- Montage i dammig miljö

Etapp 2 av projektet

- Montage under ideala förhållanden, normalt labbklimat. Följt av långtidsåldring för att försöka simulera en tänkt användningstid på 25 respektive 50 år. Exponeringstiden man använt för att simulera användningstiden baserar sig på den tumregel som har sitt ursprung i den så kallade Arrheniusekvationen². Antagande innebär att åldringshastigheten fördubblas vid en temperaturökning på 10°C. Vid en normal användningstemperatur på 20°C gör detta att vi kan försöka simulera en användningstid på 25 år genom att åldra lufttätthetssystemen vid 70°C. Om vi använder en åldringstemperatur på 80°C kan vi följaktligen försöka simulera en användningstid på 50 år.
- Småskalig exponering av komponenter i de olika lufttätthetssystemen har utförts. Detta för att finna realistiska åldringstemperaturer.
- Pilotprovning med användande av den i projektet utvecklade provningsmetoden på isoleringsprodukter (polyuretan) som påstås ha lufttätande egenskaper. Även innefattande långtidsåldring av väggkonstruktion med dessa isoleringsmaterial.

I sammanställningarna nedan så anges resultat i det i Sverige vedertagna formatet $l/(s \cdot m^2)$. Alla utförda mätningar redovisas i bilaga 1.

I bilaga 1 anges resultat både i det standardiserade (4) formatet $m^3/(h \cdot m^2)$ och i det i Sverige mera vedertagna formatet $l/(s \cdot m^2)$.

Som jämförelse kan kravet för lufttäthet för passivhus i FEBY12 (5) användas. I FEBY12 anges kravet få vara maximalt $0,3 l/(s \cdot m^2)$ vid en tryckdifferens på 50 Pa enligt SS-EN 13829 eller enligt förenklade metoder beskrivna i denna standard. Alla utförda mätningar redovisas i bilaga 1.

² Arrheniusekvationen är uppkallad efter den svenske fysikern och kemisten Svante Arrhenius som var verksam i Uppsala. Han fann ett empiriskt samband att hastigheten hos kemiska reaktioner stiger med ökad temperatur. Svante Arrhenius fick Nobelpriset i kemi 1903.



7.1 Sammanställning lufttätethetsystem 1

I diagrammet nedan så visas mätningar av luftläckaget före respektive efter värmebehandling då montage av lufttätethetsystemet har gjorts under olika förhållanden.

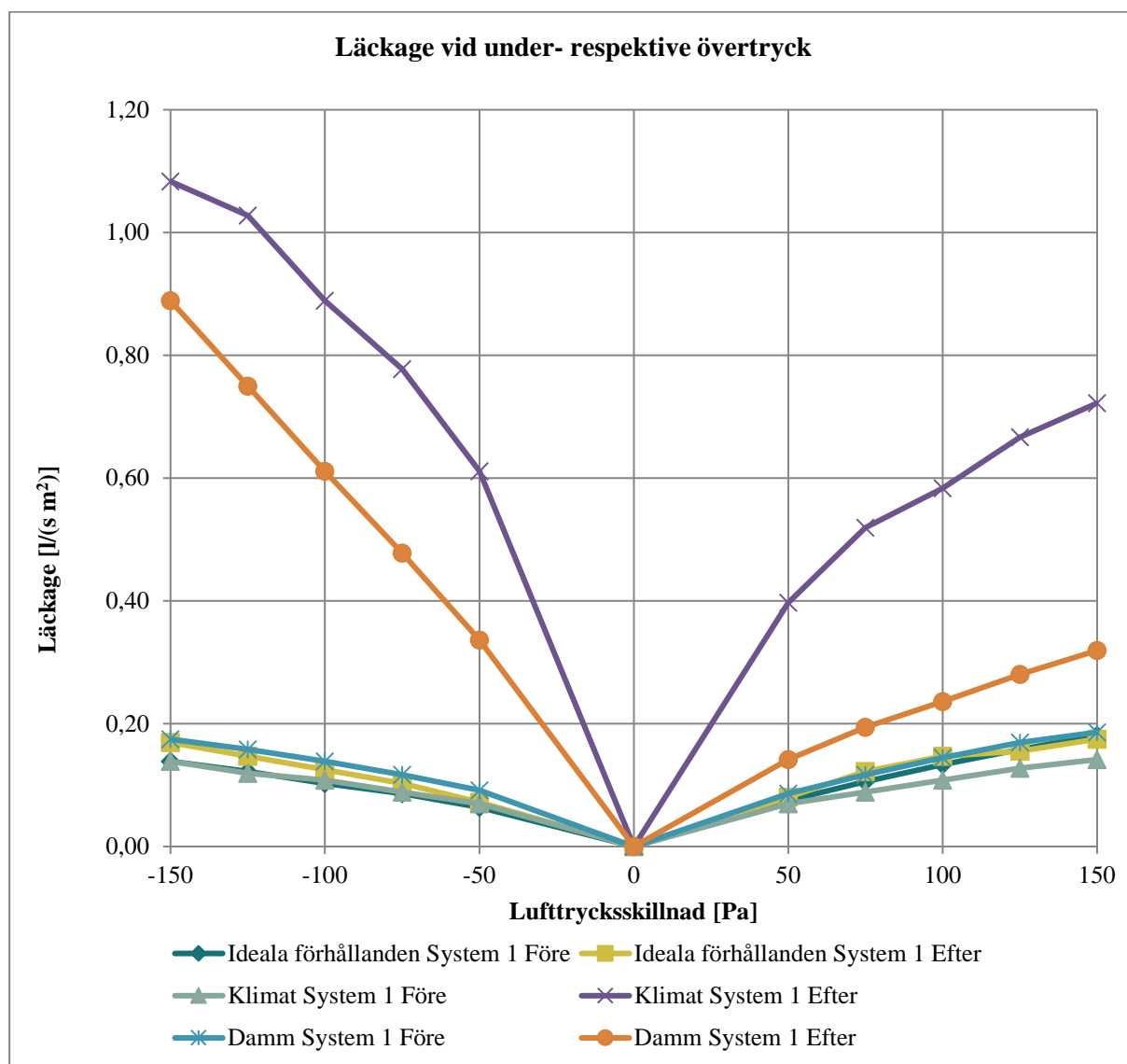


Diagram 1. Sammanställning av mätningar av luftläckaget då montage av lufttätethetsystemet har gjorts under olika förhållanden.



Resultat småskalig exponering

Komponenterna i Lufttätthetssystem 1 uppvisar generellt en ökad dimensionsförändring med ökande temperatur, och mängden eventuella läckage (kanalbildning eller veckbildning) ökar också med ökande temperatur. Detta gäller speciellt vid 80 °C där flera komponenter uppvisar effekter av temperaturen som skulle kunna orsaka problem vid en långvarig exponering.

I diagrammet nedan så visas mätningar av luftläckaget före respektive efter långtidsåldring.

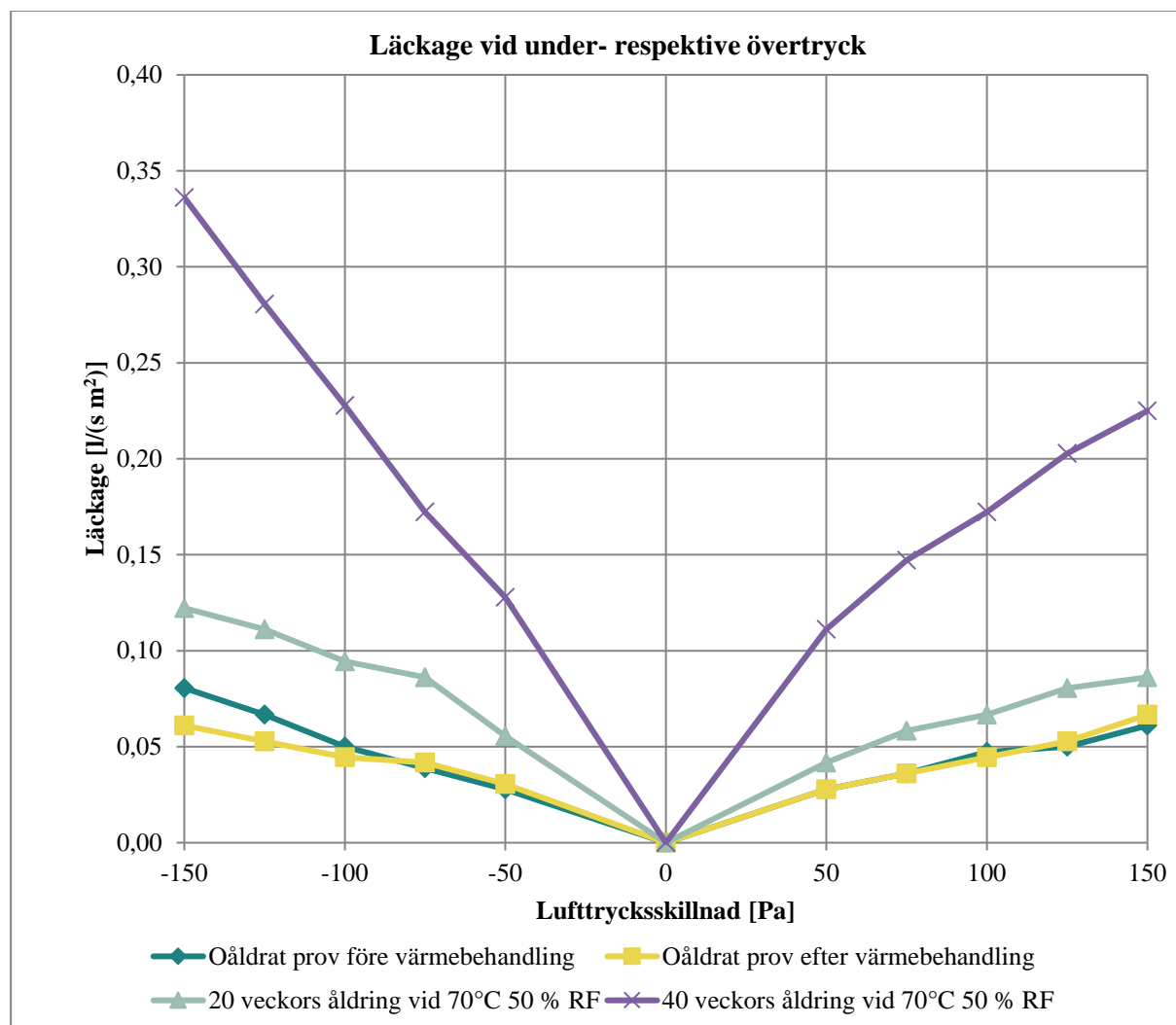


Diagram 2. Sammanställning av mätningar av luftläckaget då montage av lufttätthetssystemet har gjorts under ideala förhållanden och därefter långtidsåldring under 40 veckor vid 70°C 50 % RF.



Man ser att den inledande värmebehandlingen inte påverkar lufttäthetsystemet något nämnvärt. Långtidsåldringen påverkar dock systemet negativt vid 20 veckors åldring i ganska ringa grad för att sedan påverka i större grad vid 40 veckors åldring. Vid den, av leverantören av lufttäthetsystemet, valda åldringstemperaturen på 70°C kan genom att använda den så kallade Arrheniusekvationen göra ett antagande om att en användningstid om ca 25 år simulerats.

Tabell 2. Resultat från mekanisk utvärdering av skarvar

	Skjuvkraft (N/m)	
	Medel	Std.av.
Oexponerat	962	31
Exponerat	1139	14
Ändring	18%	

Skjuvkraften för den provade skarven har ökat efter exponeringen vilket är fullt normalt, och det uppmätta resultatet ligger på en nivå som skarvtejer som finns på marknaden brukar uppvisa efter åldring.



7.2 Sammanställning lufttätethetsystem 2

I diagrammet nedan så visas mätningar av luftläckaget före respektive efter värmebehandling då montage av lufttätethetsystemet har gjorts under olika förhållanden.

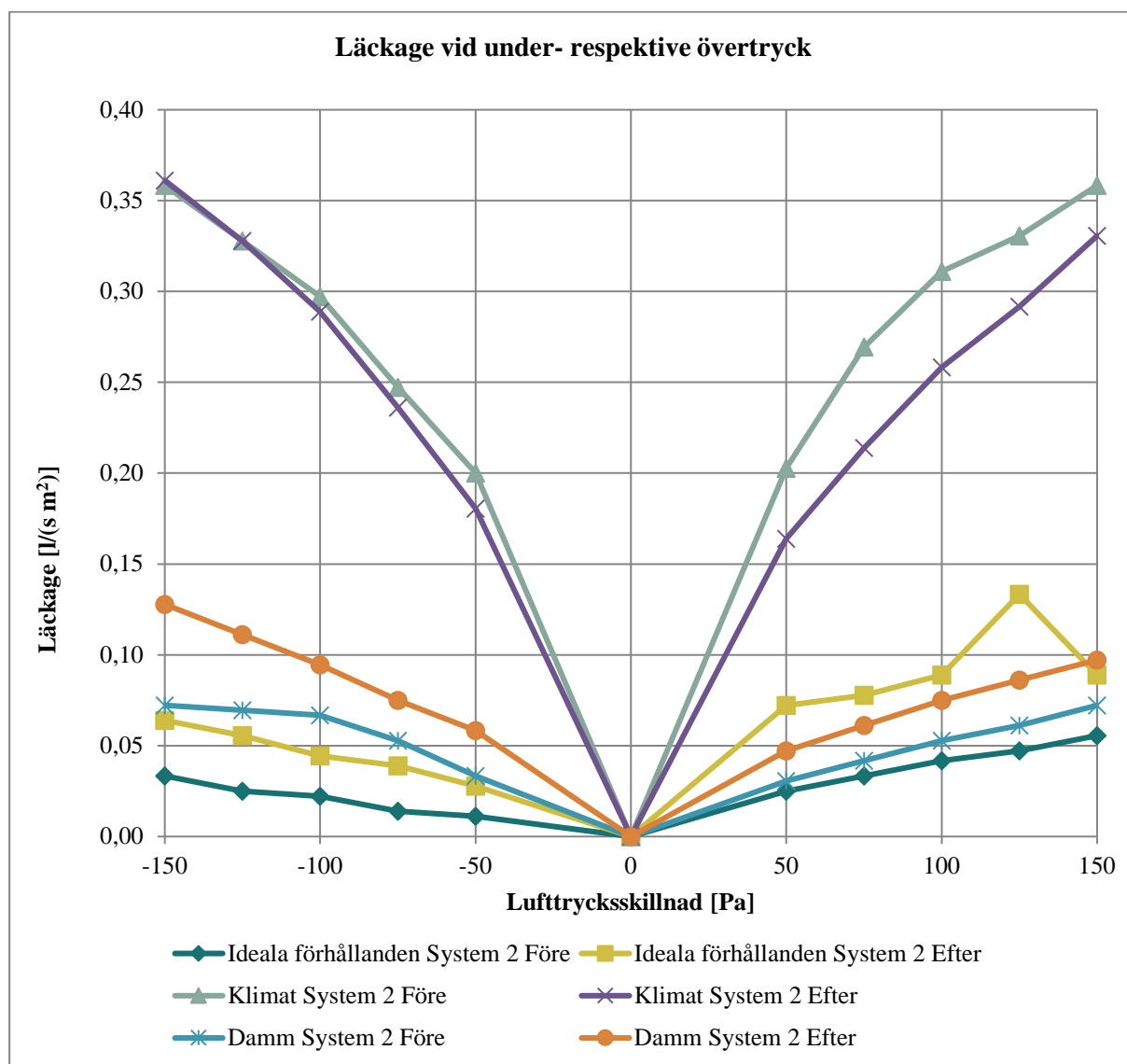


Diagram 3. Sammanställning av mätningar av luftläckaget då montage av lufttätethetsystemet har gjorts under olika förhållanden.



Resultat småskalig exponering

Uppmätta dimensionsförändringar och mängden av eventuella källor till läckage skiljde sig inte särskilt mycket mellan de olika provade temperaturerna på komponenterna i Lufttätthetssystem 2. Inga tydliga tecken på en ökad risk för uppkomst av läckage med ökande temperatur kunde ses.

I diagrammet nedan så visas mätningar av luftläckaget före respektive efter långtidsåldring.

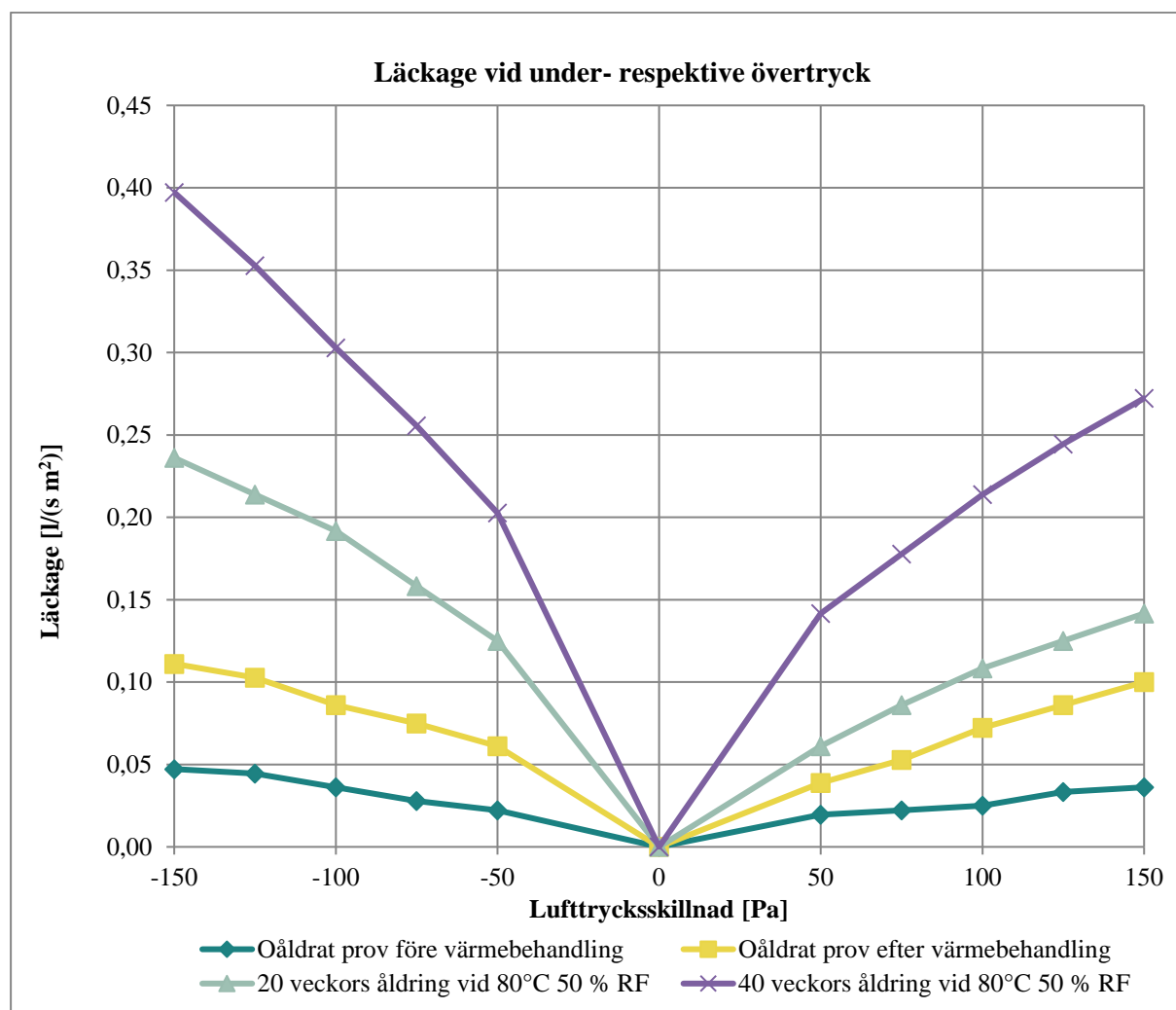


Diagram 4. Sammanställning av mätningar av luftläckaget då monterat av lufttätthetssystemet har gjorts under ideala förhållanden och därefter långtidsåldring under 40 veckor vid 80°C 50 % RF.

Man ser att den inledande värmebehandlingen påverkar lufttätthetssystemet negativt i någon mån. Långtidsåldringen påverkar dock systemet negativt i större grad, vid 20 veckors åldring i ganska ringa grad för att sedan påverka i större grad vid 40 veckors åldring. Vid den, av leverantören av



lufttätthetssystemet, valda åldringstemperaturen på 80°C kan genom att använda den så kallade Arrheniusekvationen göra ett antagande om att en användningstid om ca 50 år simulerats.

Tabell 3. Resultat från mekanisk utvärdering av skarvar

	Skjuvkraft (N/m)	
	Medel	Std.av.
Oexponerat	683	27
Exponerat	1032	244
Ändring	51%	

Om man jämför resultaten för nya tejskarvar och exponerade tejskarvar har även här resultatet ökat efter exponeringen. Det uppmätta resultatet ligger på en nivå som skarvtejper som finns på marknaden brukar uppvisa efter åldring.



7.3 Sammanställning lufttätethetsystem 3

I diagrammet nedan så visas mätningar av luftläckaget då montage av lufttätethetsystemet har gjorts under olika förhållanden.

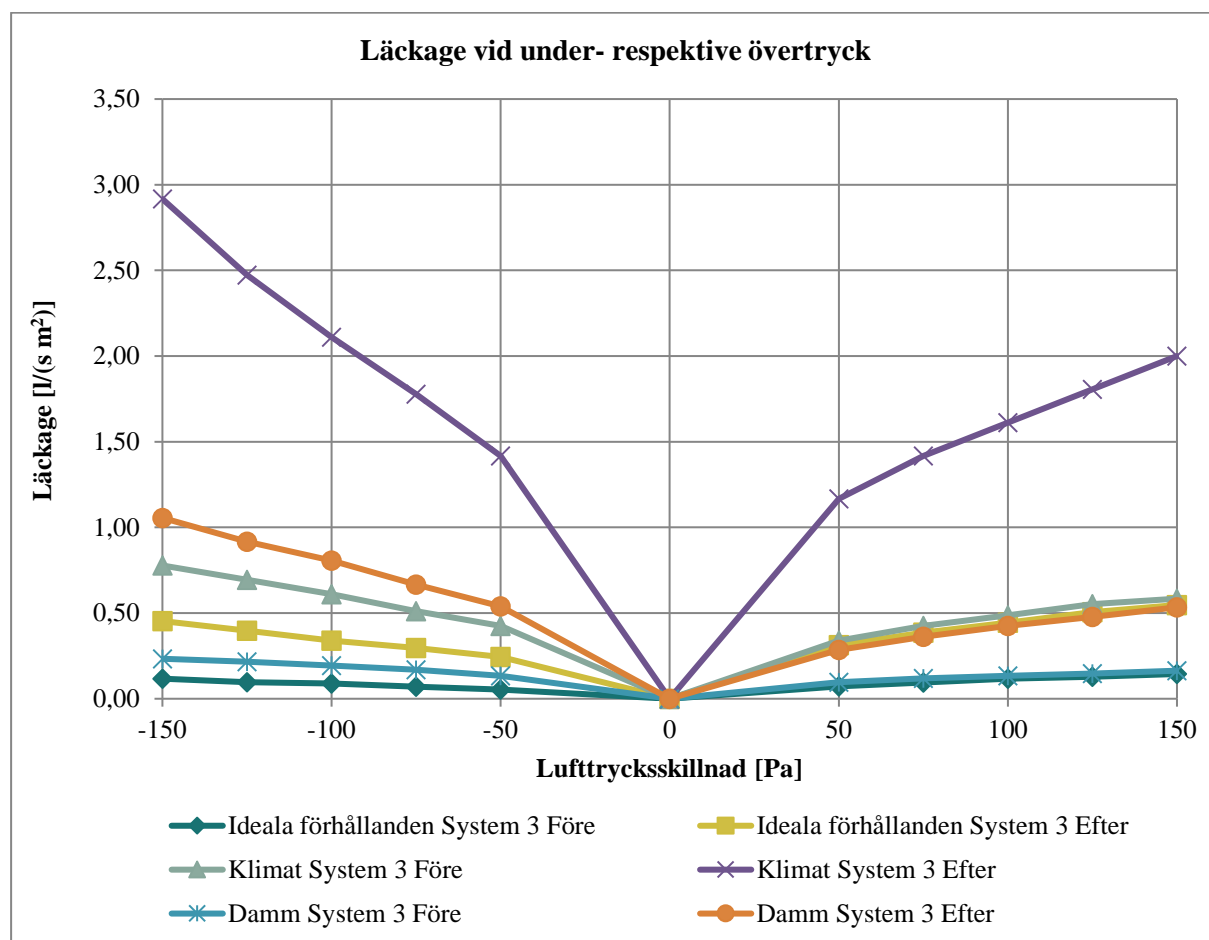


Diagram 5. Sammanställning av mätningar av luftläckaget då montage av lufttätethetsystemet har gjorts under olika förhållanden.

Resultat småskalig exponering

Många av komponenterna i Lufttätethetsystem 3 uppvisar tydliga tecken på möjliga källor till läckage efter exponering vid alla provade temperaturer. Möjliga källor till läckage uppstår redan vid 60 °C, och tydlig skillnad mellan proven från de olika temperaturerna, såsom en ökande risk för läckage med ökande temperatur, är svår att se.



I diagrammet nedan så visas mätningar av luftläckaget före respektive efter långtidsåldring.

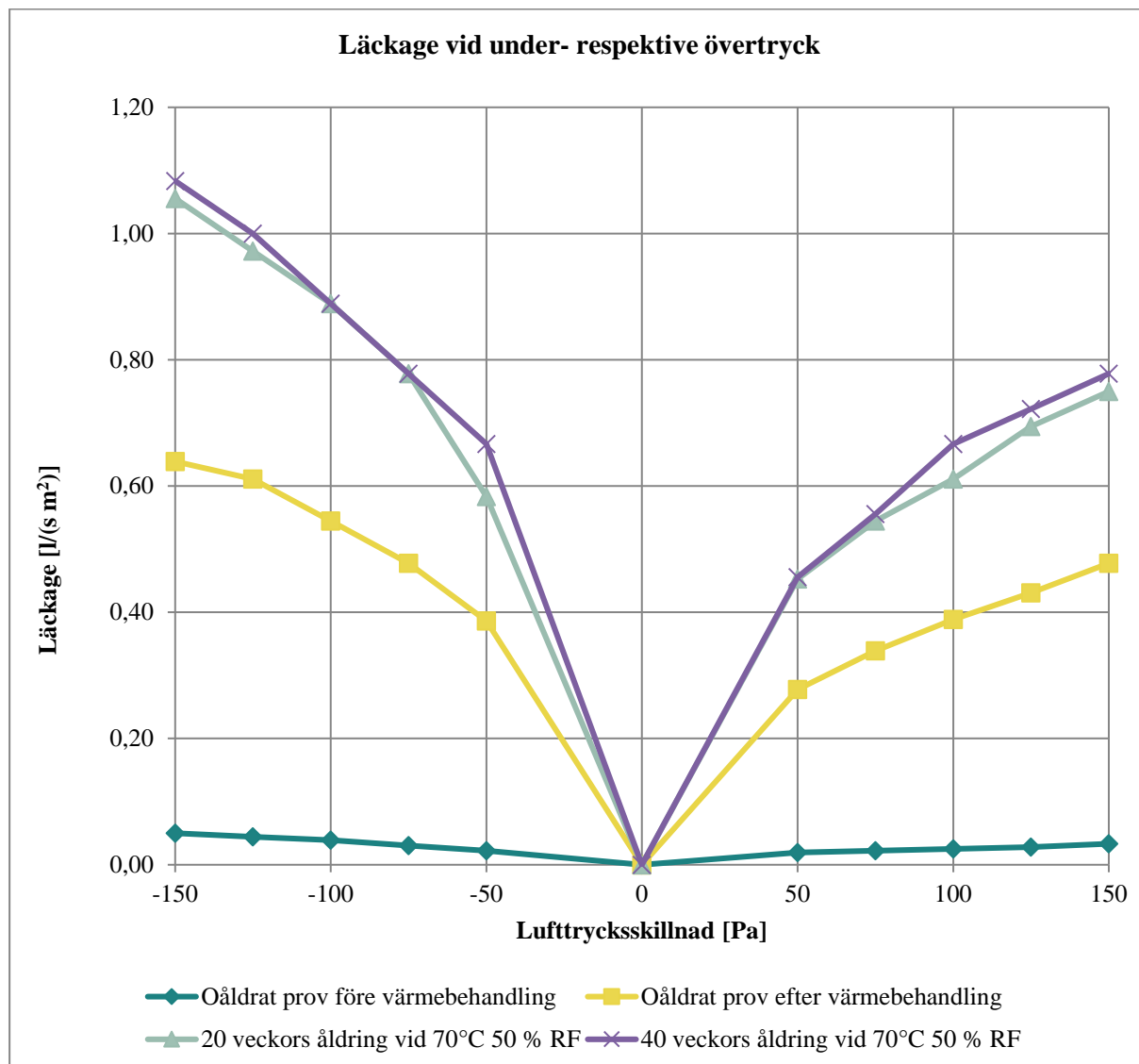


Diagram 6. Sammanställning av mätningar av luftläckaget då montage av lufttätthetsystemet har gjorts under ideala förhållanden och därefter långtidsåldring under 40 veckor vid 80°C 50 % RF.

Man ser att den inledande värmebehandlingen påverkar lufttätthetsystemet ganska kraftigt. Långtidsåldringen påverkar också systemet negativt vi ser dock ingen större förändring mellan 20 veckors åldring och 40 veckors åldring. Vid den, av leverantören av lufttätthetsystemet, valda åldringstemperaturen på 70°C kan genom att använda den så kallade Arrheniusekvationen göra ett antagande om att en användningstid om ca 25 år simulerats.



Tabell 4. Resultat från mekanisk utvärdering av skarvar

	Tejp1		Tejp 2	
	Skjuvkraft (N/m)		Skjuvkraft (N/m)	
	Medel	Std.av.	Medel	Std.av.
Oexponerat	1095	73	1360	37
Exponerat	1456	112	2290	18
Ändring	33%		68%	

Om man jämför resultaten för nya tejpskarvar och exponerade tejpskarvar har även här resultaten ökat efter exponeringen. Det uppmätta resultatet ligger på en nivå som skarvtejpser som finns på marknaden brukar uppvisa efter åldring. Två tejpser användes för att skarva lufttätessystemet och skillnaden mellan de två tejpernas resultat förklaras av att en av dem var dubbelhäftande.



7.4 Pilotprovning på isoleringsprodukter med lufttätande egenskaper (polyuretan)

I diagrammet nedan så visas mätningar av luftläckaget före respektive efter långtidsåldring hos en provvägg som är prefabricerad på fabrik. Detta innebär att leverantören har till RISE levererat en färdig provvägg.

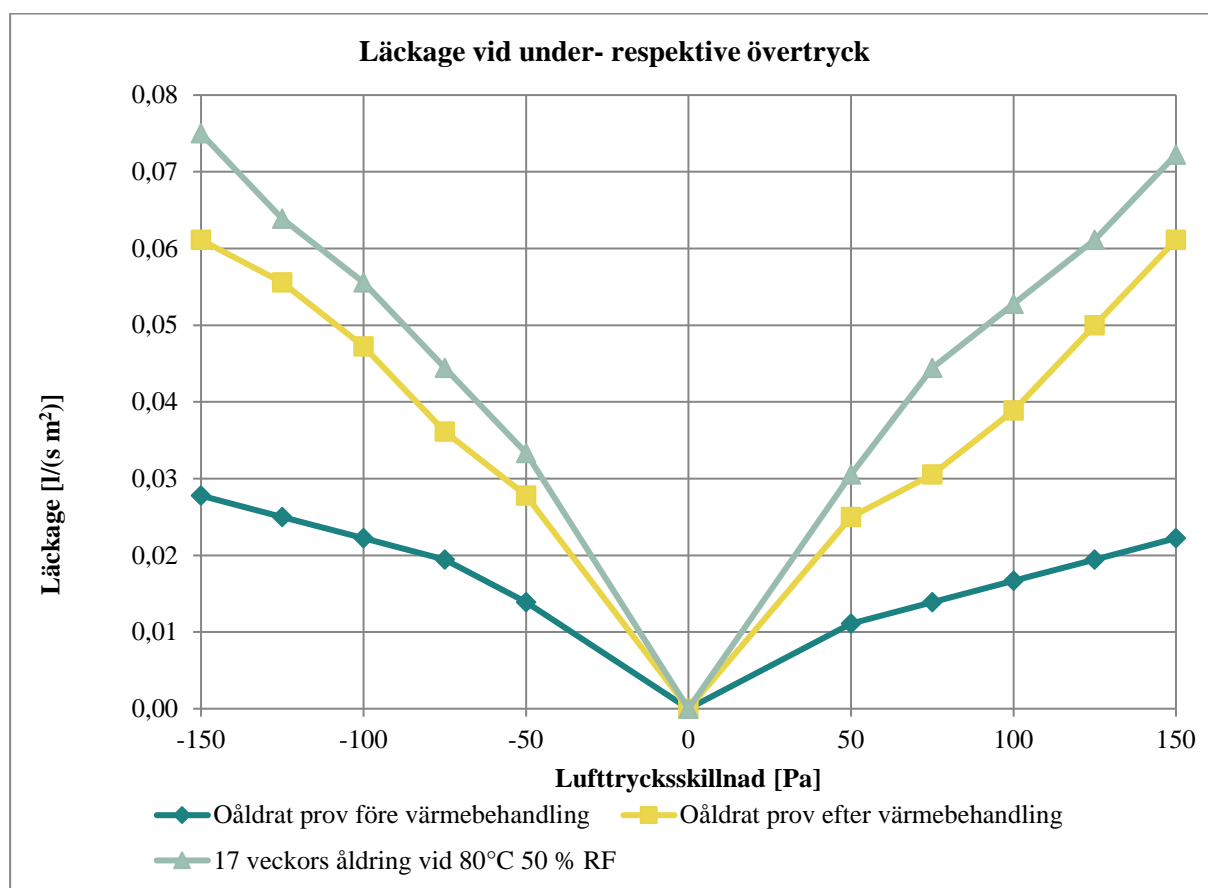


Diagram 7. Resultat från långtidsåldring av prefabricerad provvägg med polyuretanisolering.

Resultaten visar på att denna typ av konstruktion är mycket lufttät. Man ser att den inledande värmebehandlingen påverkar lufttäteten kraftigt. Långtidsåldringen påverkar också systemet negativt vi ser dock större förändring av den inledande värmebehandlingen än av 17 veckors åldring vid 80°C 50%RH. Vid den, av leverantören, valda åldringstemperaturen på 80°C kan genom att använda den så kallade Arrheniusekvationen göra ett antagande om att en användningstid om ca 20 år simulerats. Det måste dock redovisas att värmebelastningen endast har skett på väggens insida. Detta innebär att åldringen är att betrakta som varande ensidig, då det har varit en temperaturgradient i isoleringsmaterialet.



I diagrammet nedan så visas mätningar av luftläckaget före respektive efter långtidsåldring hos en provvägg som är tillverkad på plats, in-situ. Detta innebär att leverantören har utförts applicering av polyuretanisoleringsmaterialet på plats hos RISE.

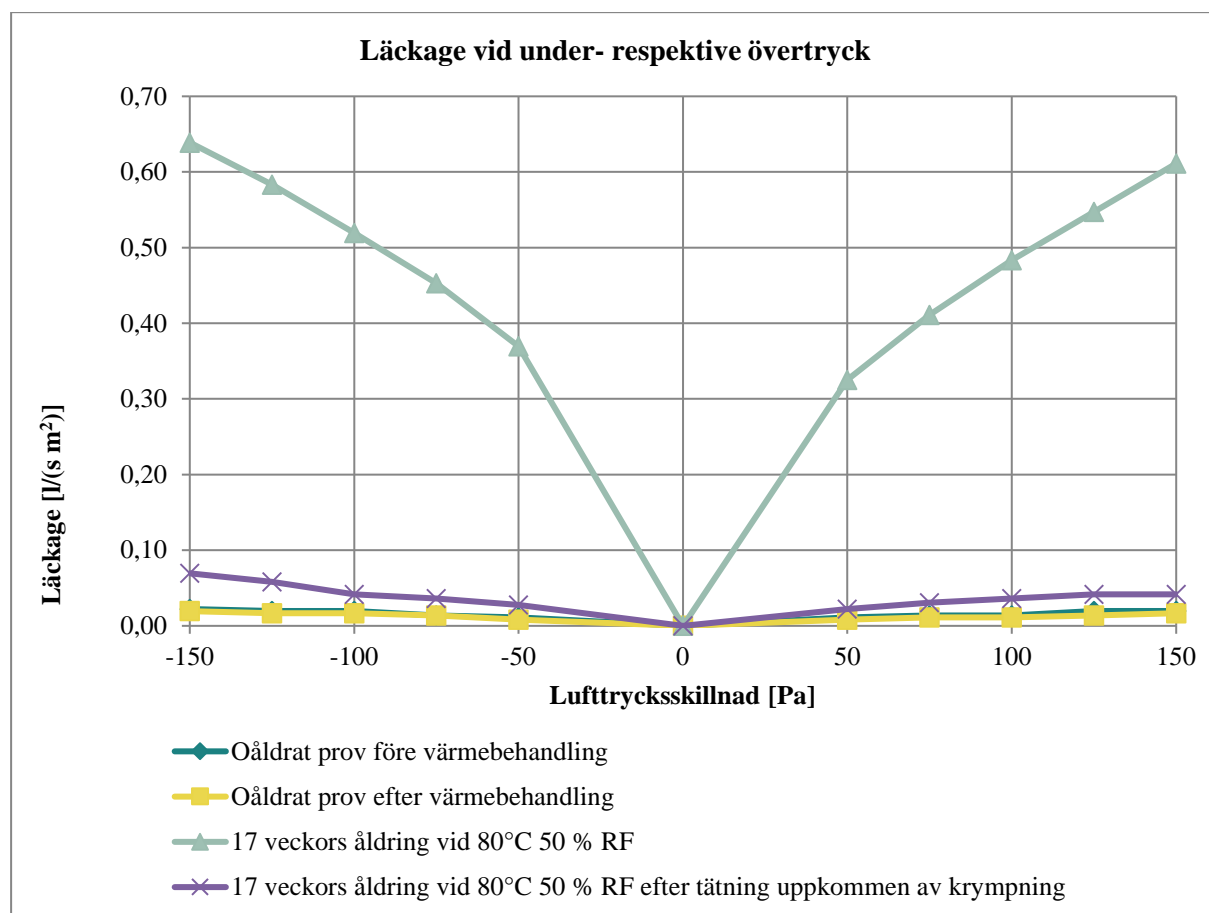


Diagram 8. Resultat från långtidsåldring av in-situ tillverkad provvägg med polyuretanisolering.

Resultaten visar på att denna typ av konstruktion är mycket lufttät. Man ser ingen större inverkan av den inledande värmebehandlingen ångtidsåldringen påverkar provväggen kraftigt då isoleringsmaterialet krymper kraftigt. Krympningen uppkommer mellan provramen av stål och väggkonstruktionens yttersta höjldled gående reglar. Några läckage som beror på krympning av inte iakttagits i väggkonstruktionens inre reglar Vid den, av leverantören, valda åldringstemperaturen på 80°C kan genom att använda den så kallade Arrheniusekvationen göra ett antagande om att en användningstid om ca 20 år simulerats. Det måste dock redovisas att värmebelastningen endast har skett på väggens insida. Detta innebär att åldringen är att betrakta som varande ensidig, då det har varit en temperaturgradient i genom isoleringsmaterialet.

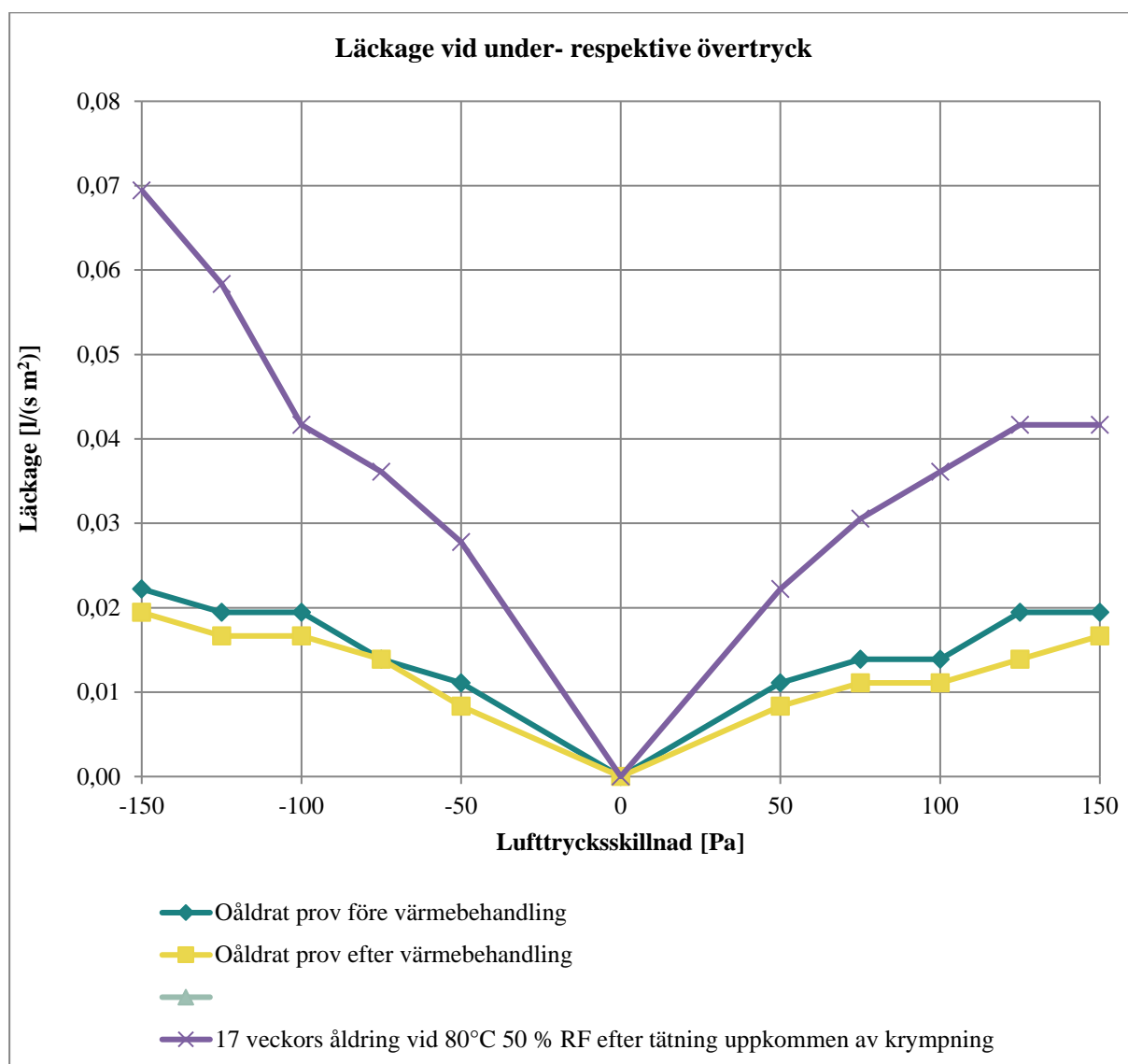


Diagram 9. Resultat från långtidsåldring av in-situ tillverkad provvägg med polyuretanisolering där läckage från krypning mellan stålram och väggkonstruktionen har tagits bort. Detta är alltså samma konstruktion som redovisas i diagram 8 men där information har tagits bort.



8 Diskussion och slutsatser

Provningsmetoden har fungerat bra vid pilotprovningarna. Man kan se en förändring av lufttäteten vid mätningar före respektive efter värmebehandlingen. Även under långtidsåldringarna har provningsmetoden fungerat.

8.1 Montage under ideala förhållanden

Samtliga provade lufttätethetsystem hade god lufttätethet före värmebehandlingen. Alla systemen visar på resultat under $0,1 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$. Alla de undersökta lufttätethetsystemen visar på resultat under $0,3 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ efter värmebehandlingen vilket är under kravet för passivhus enligt FEBY12 (4).

Efter värmebehandlingen visar alla undersökta lufttätethetsystem en varierande grad av ökande luftgenomsläpplighet. Det skall dock sägas att läckagen hos de båda systemen som uppvisar störst luftgenomsläpplighet kan lokaliseras till enstaka punkter så som genomföringar eller läckage vid en skruv.

Diagrammet nedan visar alla utförda pilotprovningarna före respektive efter värmebehandling i ett och samma diagram.

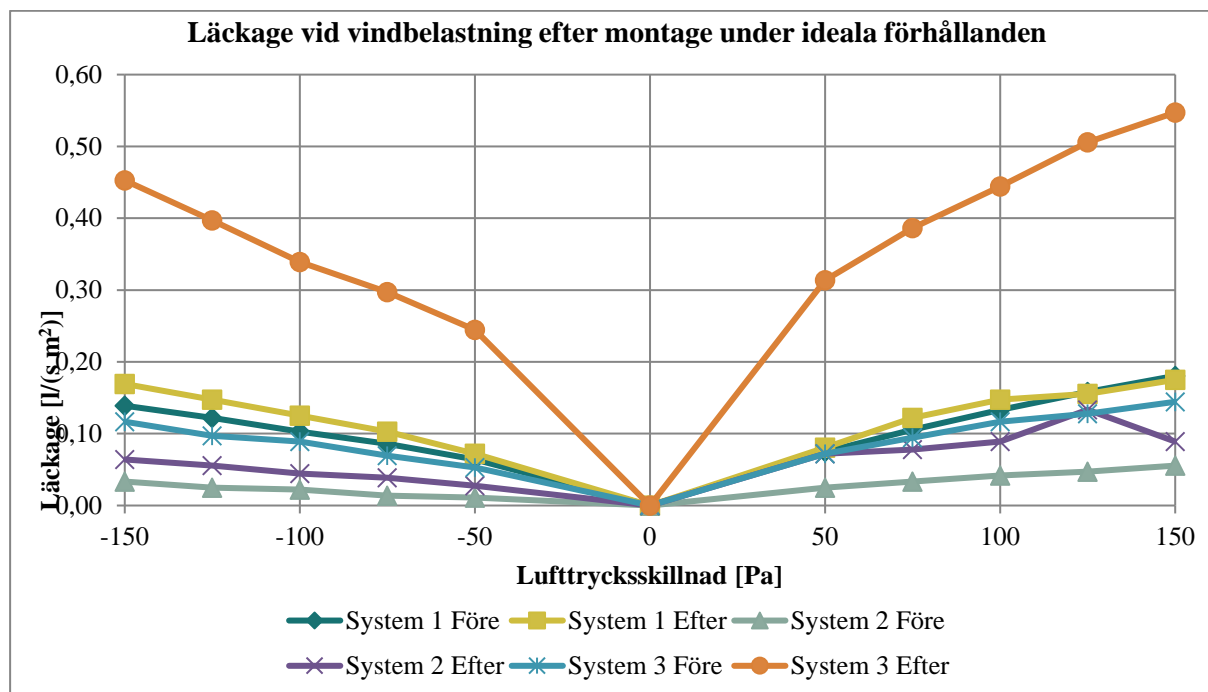


Diagram 10. I diagrammet ovan ser man tydligt att system 3 uppvisar ganska stor förändring i lufttäteten efter värmebehandlingen. Det skall dock sägas att vid den visuella inspektionen upptäcktes ett läckage vid den större genomföringen $\varnothing 110 \text{ mm}$. När detta läckage tätades efter genomförda lufttätethetsmätningar och vindbelastningar så noterades en ökning av väggens lufttätethet på ca 50 %.



8.2 Montage i kall och fuktig miljö

Alla de undersökta lufttätethetsystemen visar på förändringar i lufttäteten då montaget hade skett i kall och fuktig miljö. Variationen mellan de olika systemen var ganska stor.

Hos lufttätethetsystem 1 och 3 finns en relativt stor förändring. Denna förändring syns först efter värmebehandling.

Vid undersökning av lufttätethetsystem 2 visade sig denna förändring redan före värmebehandlingen. Värmebehandlingen påverkade inte lufttätethetsystem 2 i någon negativ riktning. Förändringen är dock mindre än hos lufttätethetsystem 1 och 3.

Diagrammet nedan visar alla utförda pilotprovningarna före respektive efter värmebehandling i ett och samma diagram.

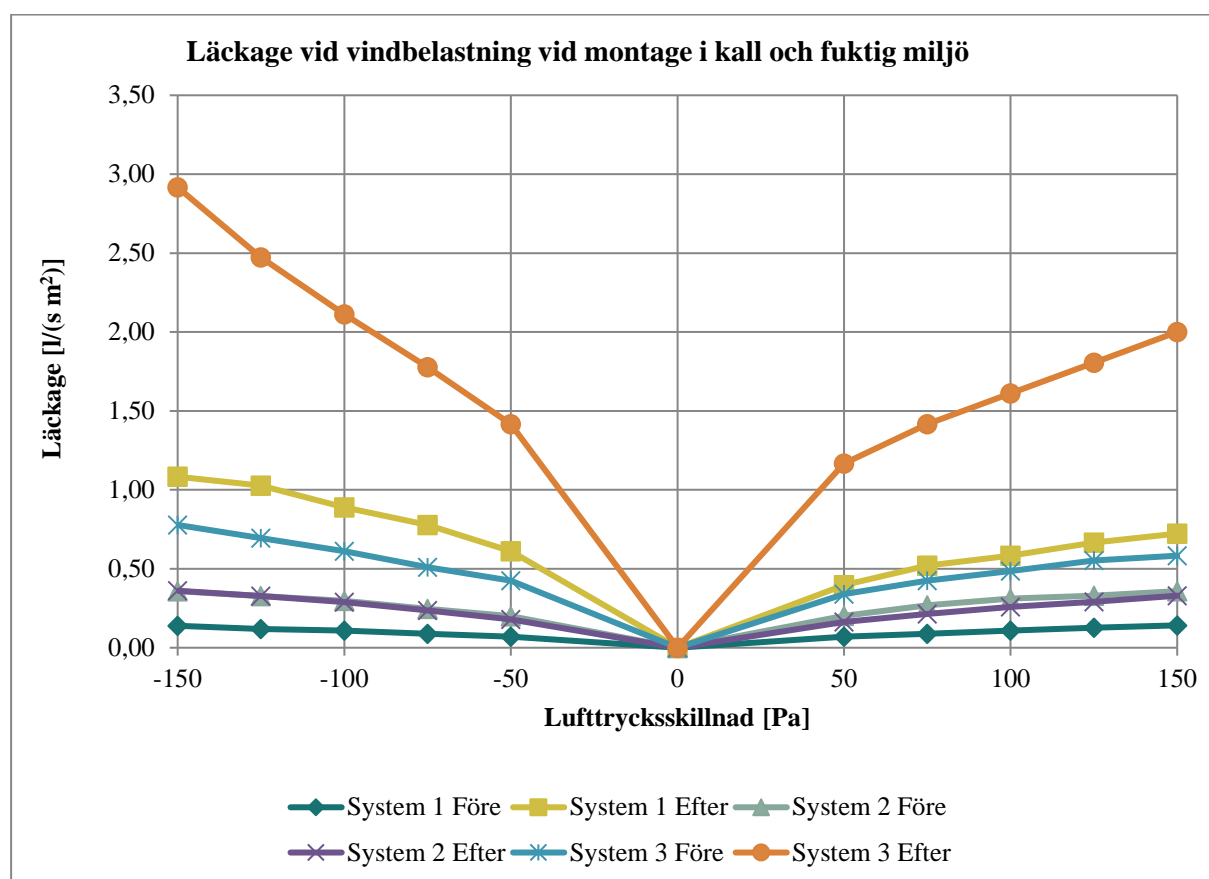


Diagram 11. Alla de undersökta lufttätethetsystemen visar på förändringar i lufttäteten efter värmebehandlingen då montaget hade skett i kall och fuktig miljö. Variationen mellan de olika systemen var dock ganska stor.



8.3 Montage i dammig miljö

Även vid montage i dammig miljö uppvisar lufttätethetssystem 1 och 3 en relativt stor förändring. Denna förändring syns även här först efter värmebehandling.

Lufttätethetssystem 2 uppvisar endast ringa förändring vid montage i dammig miljö.

Diagrammet nedan visar alla utförda pilotprovningarna före respektive efter värmebehandling i ett och samma diagram.

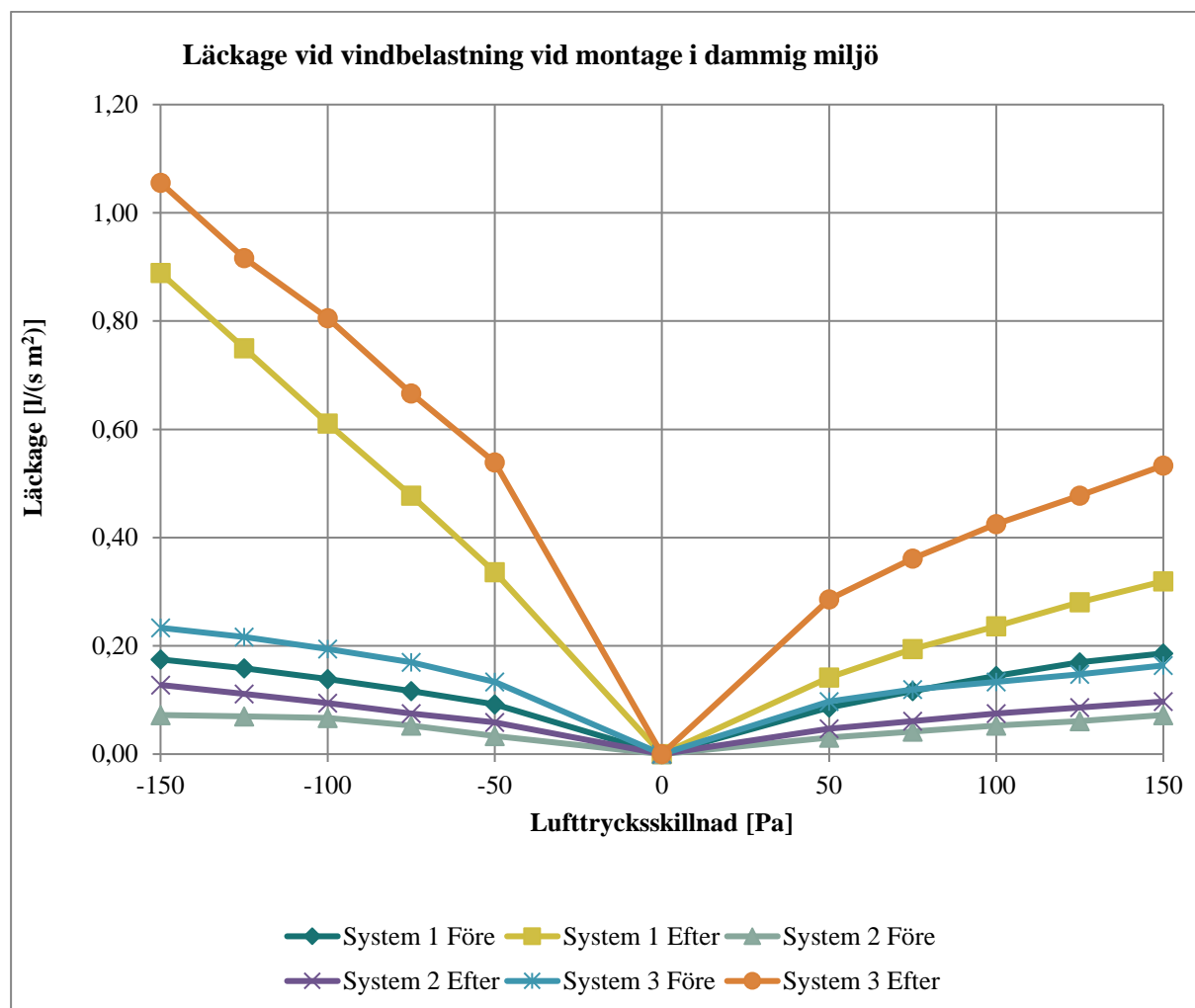


Diagram 12. Vid montage i dammig miljö uppvisar lufttätethetssystem 1 och 3 en relativt stor förändring, denna förändring syns även här dock först efter värmebehandling.



8.4 Långtidsåldring av lufttätethetssystem

Samtliga lufttätethetssystem monterades under ideala förhållanden, normalt labbklimat. Därefter följde av långtidsåldring vid 70°C eller 80°C och en luftfuktighet på 50 % RF för att försöka simulera en användningstid på 25 respektive 50 år.

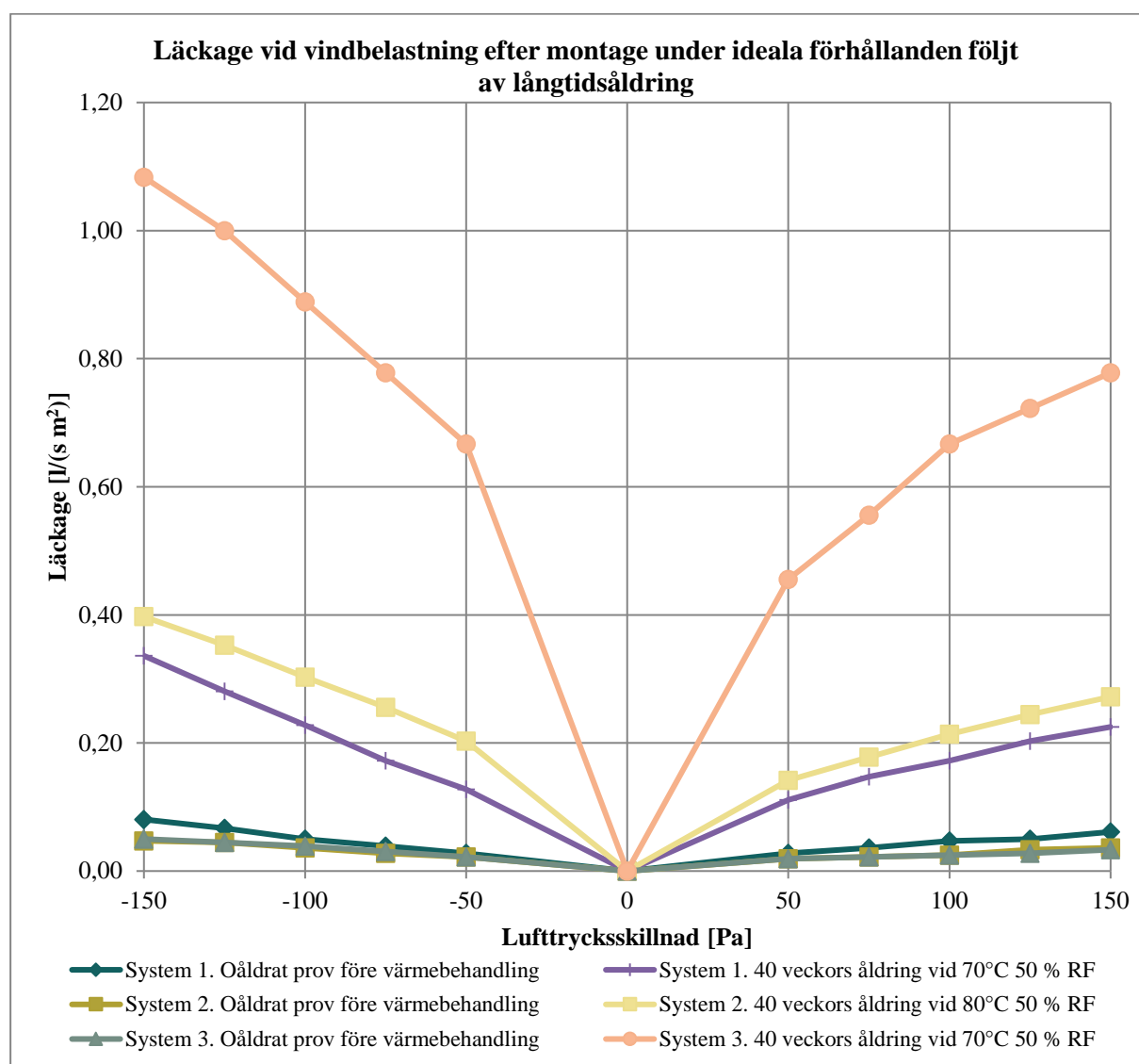


Diagram 13. Diagrammet visar på stor spridning i läckage mellan olika lufttätethetssystem. Notera att kurvorna för de oåldrade lufttätethetssystemen 2 och 3 ligger i varandra.



Resultaten från långtidsåldringarna visar på stor spridning i läckage mellan de olika lufttäthetssystemen. Observera att långtidåldringen har utförts vid 80°C 50 % RF för lufttäthetssystem 2 medan lufttäthetssystem 1 och 3 har åldrats vid 70°C 50 % RF. Detta innebär att den simulerade användningstiden är dubbelt så lång för lufttäthetssystem 2, ca 50 år. Den simulerade användningstiden för lufttäthetssystem 1 och 3 är ca 25 år.

Resultaten från de småskaliga exponeringarna utförda med komponenter från de olika lufttäthetssystemen stämmer visuellt väl överens med resultaten från exponeringarna i storskala. Om möjliga problem med komponenter uppstod vid de småskaliga exponeringarna ser man även en ökad förekomst av problem med läckage efter exponeringen i stor skala.

Resultaten från den mekaniska provningen av skarvar från provning i storskala är nivåmässigt relativt likvärdiga med värden för skarvprov exponerade i småskala, erfarenhetsmässigt. Den maximala kraften uppmätt under skjuvprovningarna ökar efter exponering, och de värden och öknings man kan se ligger i nivå med de man kan se för skarvtejper på marknaden.



8.5 Pilotprovning på isoleringsprodukter med lufttätande egenskaper (polyuretanskum)

Provningsmetoden har fungerat bra vid provning av isoleringsprodukter med lufttätande egenskaper (polyuretanskum). Inom projekts ram har två olika isoleringsprodukter med lufttätande egenskaper undersökt. Den ena materialet var applicerat i en provvägg som är prefabricerad på fabrik. Detta innebär att leverantören har till RISE levererat en färdig provvägg. Det andra materialet var applicerat i provvägg som är tillverkad på plats, in-situ. Detta innebär att leverantören har utförts applicering av polyuretanisoleringsmaterialet på plats hos RISE.

Efter långtidsåldring av provväggen som är tillverkad på plats, in-situ, upptäcktes att isoleringsmaterialet hade krympt kraftigt. Krympningen uppkommer mellan provramen av stål och väggkonstruktionens yttersta höjdlid gående regler. Träreglarna böjer sig. Denna krympning påverkade luftläckaget kraftigt. När dessa läckage tätades och förnyad mätning av luftläckage utfördes som var resultatet i paritet med den prefabricerad provväggen. Slutsatsen kan vara att man utför regelverket på ett sådant sätt att krympning av isoleringsmaterialet förhindras och reglarna förhindras att deformeras. Alternativt måste väggsektionerna förbindas med en lufttät, deformierbar konstruktionsdel. Detta görs för att minska inverkan av materialets krympning.

Resultaten visar på att denna typ av konstruktion är mycket lufttät, om man exkluderar den otäthet som uppkom av krympning i materialet vid undersökning av konstruktionen som in-situ applicerades.

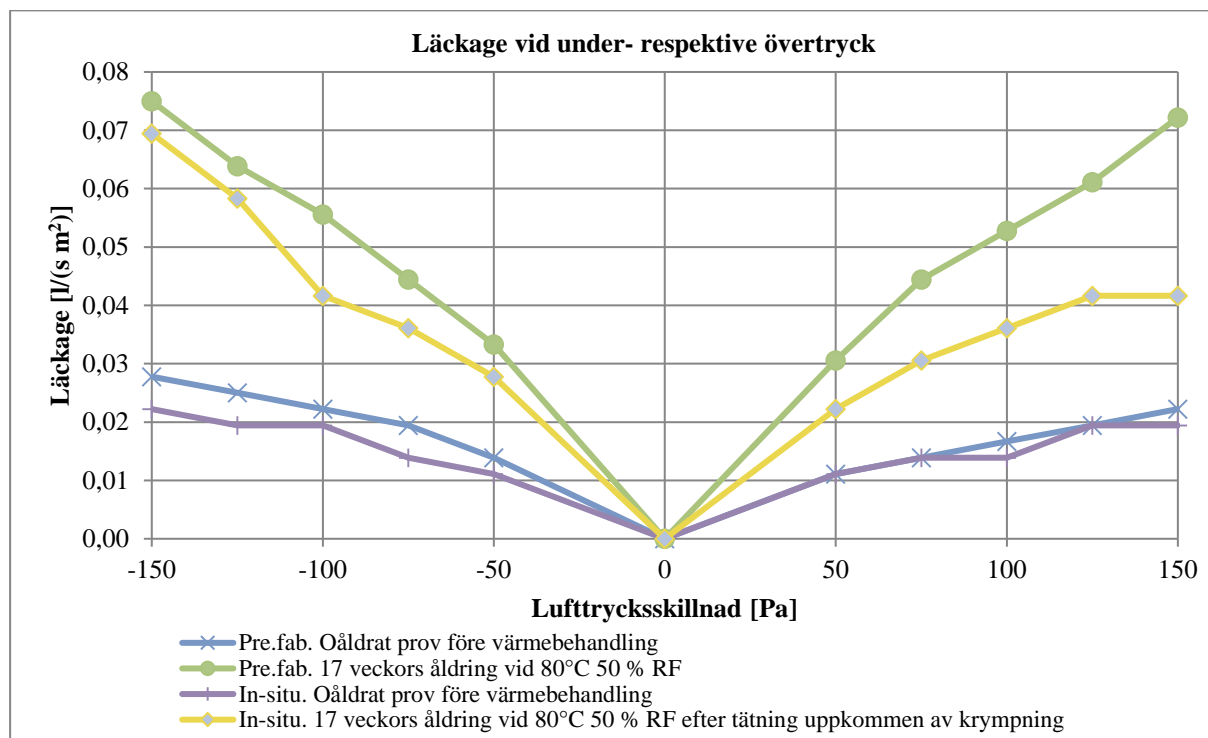


Diagram 14. Diagrammet visar att både prefabricerad och in-situ applicerad polyuretanisolerings är mycket lufttät både initialt och efter långtidsåldring under 17 veckor vid 80°C 50 % RF.



8.6 Slutsats

Provningsmetoden är noggrann och känslig på så sätt att förändring i lufttäteten kan registreras. Det märks tydligt vid de läckage som har upptäckts vid detaljer så som genomföringar vid pilotprovningarna. Som exempel kan nämnas att vid en av pilotprovningarna så upptäcktes ett litet läckage vid genomföringen för el. När tejpen runt röret klämdes till så kunde genast en ökning av provväggens lufttätet registreras. Vid en annan av pilotprovningarna så upptäcktes ett läckage vid den större genomföringen $\varnothing 110$ mm. När detta läckage tätades efter genomförda lufttätetsmätningar och vindbelastningar så noterades en ökning av väggens lufttätet på ca 50 %.

I det här projektet har montage av lufttätetsystem gjorts i miljöer som valts för att efterlikna realistiska byggarbetsplatsförhållanden. Alla de undersökta lufttätetsystemen visar på förändringar i lufttäteten då montaget hade skett i kall och fuktig miljö och vid montage i dammig miljö. Variationen mellan de olika systemen var dock ganska stor.

Resultaten från långtidsåldringarna visar på stor spridning i läckage mellan de olika lufttätetsystemen. Spridningen i resultat kan bero på att de undersökta lufttätetsystemen motstår åldring i olika grad. Provningsmetoden är ett lämpligt verktyg för livslängsprediktering av lufttätetsystem.

Resultaten från de småskaliga exponeringarna utförda med komponenter från de olika lufttätetsystemen stämmer visuellt väl överens med resultaten från exponeringarna i storskala. Om möjliga problem med komponenter uppstod vid de småskaliga exponeringarna ser man även en ökad förekomst av problem med läckage efter exponeringen i stor skala. Detta antyder att småskaliga exponeringar kan användas som ett sållningsverktyg vid produktutveckling och systemoptimering inför en provning i storskala.

Resultaten från den mekaniska provningen av skarvar från provning i storskala är relativt likvärdiga med värden för skarvprov exponerade i småskala. Den maximala kraften uppmätt under skjuvprovningarna ökar efter exponering, och de värden och ökningarna man kan se ligger i nivå med de man kan se för skarvtejper på marknaden.

Metoden har också visat sig vara användbar vid provning av isoleringsprodukter med lufttätande egenskaper (polyuretanskum).

Provningsmetoden, SP-metod 5264, är ett verktyg för producenter av lufttätetsystem vid produktutveckling. Metoden kan också vara lämplig som hjälp vid utvärdering av lufttätetsystem för olika godkännandesystem och certifiering.

Om alla lufttätetsystem i framtiden undersöks, med hjälp av metoden, så kan man få en stark förbättring av lufttäteten och därmed lägre energianvändning. Som exempel kan nämnas att energiförbrukningen kan öka med 15 % om luftläckaget förändras från 0,3 till 0,9 l/(s·m²) (1).



9 Fortsatta studier

I skrivande stund har en ansökan sänts till E2B2 programmets utlysning under våren 2018.

Idén är att arbeta vidare med de erfarenheter som har kommit vid de tidigare i detta projekts båda etapper. Tanken är nu att studera skiktet som finns utanför isoleringen, det så kallade regn- och vindskyddet. Om detta skikt inte fungerar och isoleringsmaterialet blir vått eller vinden tillåts blåsa igenom isoleringsmaterialet förlorar det sin isolerande förmåga, med hög energianvändning som en av följderna.

Avsikten är att vidareutveckla provningsmetoden som togs fram vid de tidigare projekten. Nu måste dock även skiktens regn- och vindtäthet undersökas.

En annan idé, som i någon mån har diskuterats med branschföreträdare, är att i ett projekt arbeta fram en kravspecifikation för kompletta lufttäthetssystem. Detta saknas på den svenska byggmarknaden då vi idag har ett godkännandesystem för plastfolier och ett annat för tejper (skarvhjälpmedel). Att få byggbranschen att arbeta med kompletta lufttäthetssystem istället för som idag med separata produkter skulle sannolik höja lufttätheten och därmed minska energianvändningen och risken för fuktskador. I detta arbete skulle den i denna rapport redovisade provningsmetoden kunna spela en stor roll.



10 Litteraturförteckning

1. **Gar-Bo.** Täta hus - en rapport varför och hur vi skall bygga lufttätt. Stockholm : Gar-Bo, 2016.
2. **Sandberg, Per Ingvar och Sikander, Eva.** SP Rapport 2004:22 Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen - Kunskapsinventering, laboratiemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning. Borås : SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 2004.
3. **Ylmén, Peter, Hansén, Magnus och Romild, Jörgen.** SP Rapport 2012:57 Beständighet hos lufttäthetslösningar. Borås : SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2012.
4. **CEN European Committee for Standardization.** EN 13829 Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified). Bryssel : CEN European Committee for Standardization, 2000.
5. **Sveriges Centrum för Nollenergihus.** FEBY 12 Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus Bostäder. u.o. : Sveriges Centrum för Nollenergihus, 2012.



Bilaga 1

Redovisning av utförda mätningar

Lufttätthetssystem 1

Montage under ideala förhållanden

Tabell 5. Före värmebehandling

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,27	0,075	0,32	0,089
50 Pa undertryck	0,23	0,064	0,23	0,064

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,27	0,075	0,23	0,064
75	0,38	0,106	0,31	0,086
100	0,48	0,133	0,37	0,103
125	0,57	0,158	0,44	0,122
150	0,65	0,181	0,5	0,139

Tabell 6. Efter värmebehandling, 7 dygn vid 60°C 50 % RF

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,37	0,103	0,34	0,094
50 Pa undertryck	0,31	0,086	0,28	0,078

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,29	0,081	0,26	0,072
75	0,44	0,122	0,37	0,103
100	0,53	0,147	0,45	0,125
125	0,56	0,156	0,53	0,147
150	0,63	0,175	0,61	0,169



Tabell 7. Förändring av lufttäteten efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Förändring av läckage, före vindlast		Förändring av läckage, efter vindlast	
	[l/(s · m ²)]	[%]	[l/(s · m ²)]	[%]
50 Pa övertryck	0,028	37	0,006	6
50 Pa undertryck	0,022	35	0,014	22
Medelvärde vid 50 Pa över-undertryck	0,025		0,010	

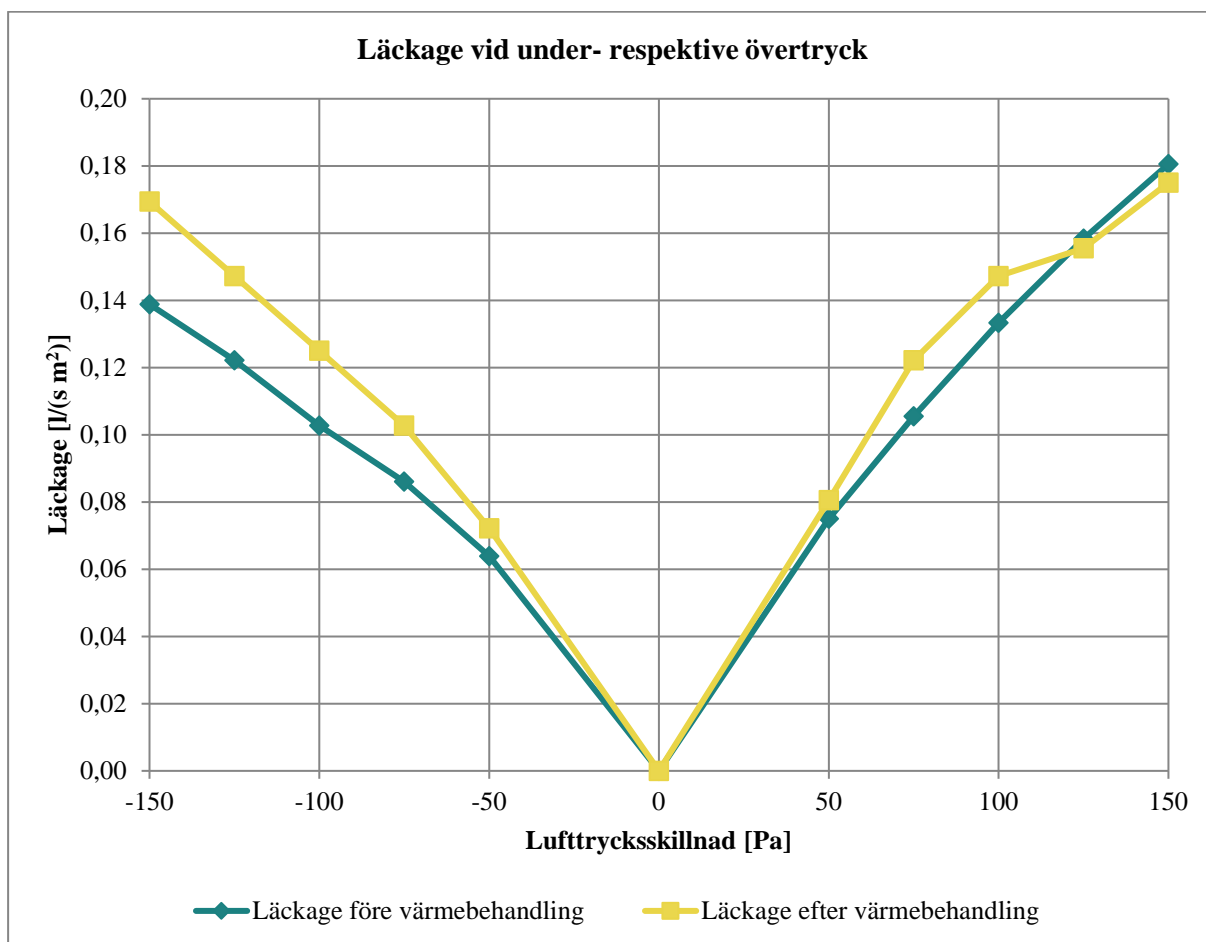


Diagram 15. Lufttätessystem 1 uppvisar en liten förändring i lufttäteten efter värmebehandlingen. Man kan också se i diagrammet att vid ett övertryck på 125 Pa så sker en viss självtätning.



Montage i kall och fuktig miljö

Tabell 8. Före värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,25	0,069	0,24	0,067
50 Pa undertryck	0,25	0,069	0,25	0,069

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,25	0,069	0,25	0,069
75	0,32	0,089	0,32	0,089
100	0,39	0,108	0,39	0,108
125	0,46	0,128	0,43	0,119
150	0,51	0,142	0,50	0,139

Tabell 9. Efter värmebehandling, 7 dygn vid 60°C 50 % RF

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	1,43	0,397	1,65	0,458
50 Pa undertryck	2,20	0,611	2,40	0,667

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	1,43	0,397	2,2	0,611
75	1,87	0,519	2,8	0,778
100	2,1	0,583	3,2	0,889
125	2,4	0,667	3,7	1,028
150	2,6	0,722	3,9	1,083



Tabell 10. Förändring av lufttäteten efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Förändring av läckage, före vindlast		Förändring av läckage, efter vindlast	
	[l/(s · m ²)]	[%]	[l/(s · m ²)]	[%]
50 Pa övertryck	0,328	472	0,392	588
50 Pa undertryck	0,542	780	0,597	860
Medelvärde 50 Pa över- undertryck	0,435		0,494	

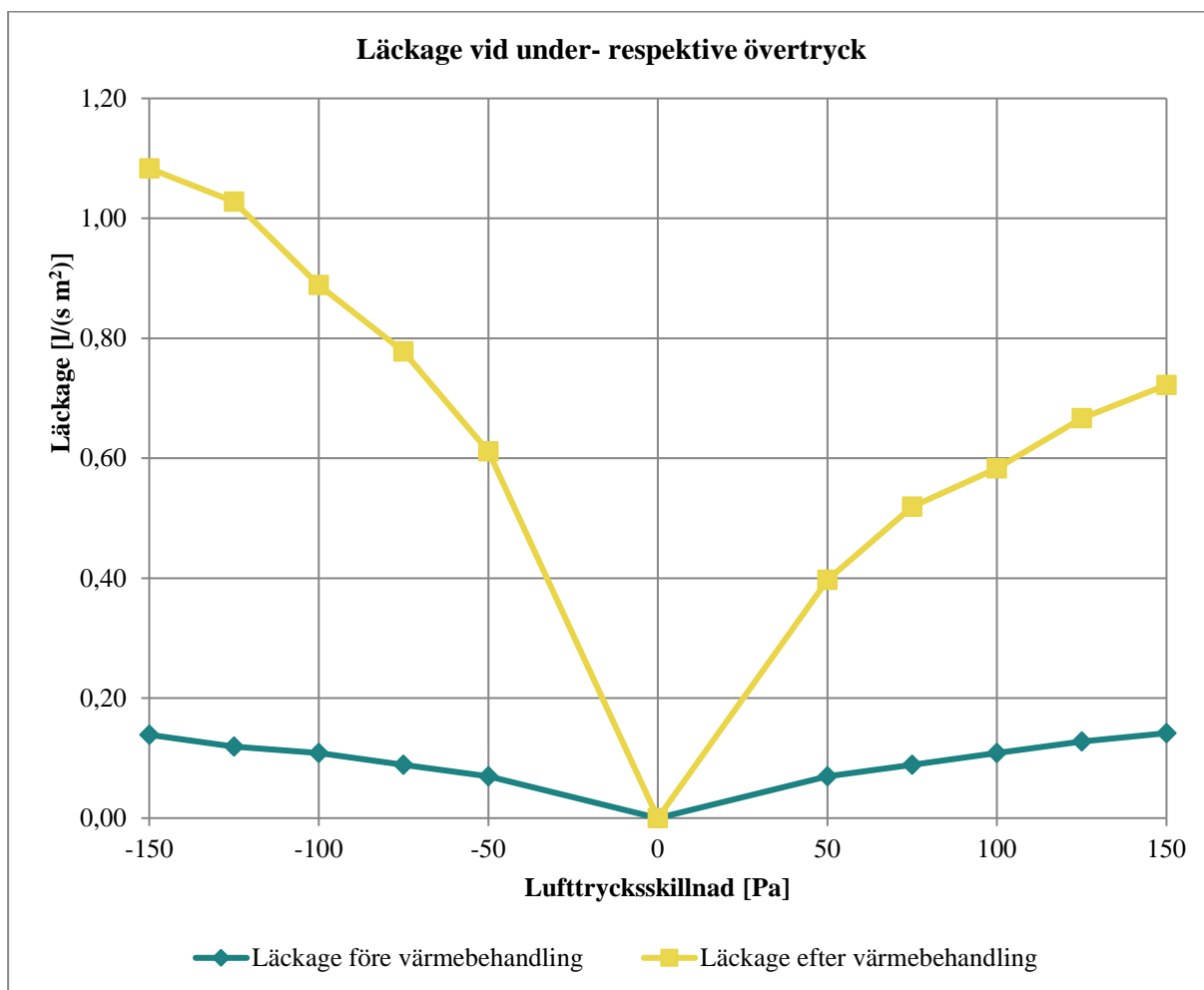


Diagram 16. Lufttätetssystem 1 visar en relativt stor förändring av lufttäteten efter montage i klimat. Denna förändring syns först efter värmebehandling.



Montage i dammig miljö

Tabell 11. Före värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,33	0,092	0,19	0,053
50 Pa undertryck	0,32	0,089	0,18	0,050

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,31	0,086	0,33	0,092
75	0,42	0,117	0,42	0,117
100	0,52	0,144	0,5	0,139
125	0,61	0,169	0,57	0,158
150	0,67	0,186	0,63	0,175

Tabell 12. Efter värmebehandling, 7 dygn vid 60°C 50 % RF

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,51	0,142	0,59	0,164
50 Pa undertryck	1,21	0,336	1,48	0,411

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,51	0,142	1,21	0,336
75	0,7	0,194	1,72	0,478
100	0,85	0,236	2,20	0,611
125	1,01	0,281	2,70	0,750
150	1,15	0,319	3,20	0,889



Tabell 13. Förändring av lufttäteten efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Förändring av läckage, före vindlast		Förändring av läckage, efter vindlast	
	[l/(s · m ²)]	[%]	[l/(s · m ²)]	[%]
50 Pa övertryck	0,050	55	0,111	211
50 Pa undertryck	0,247	278	0,361	722
Medelvärde 50 Pa över- undertryck	0,149		0,236	

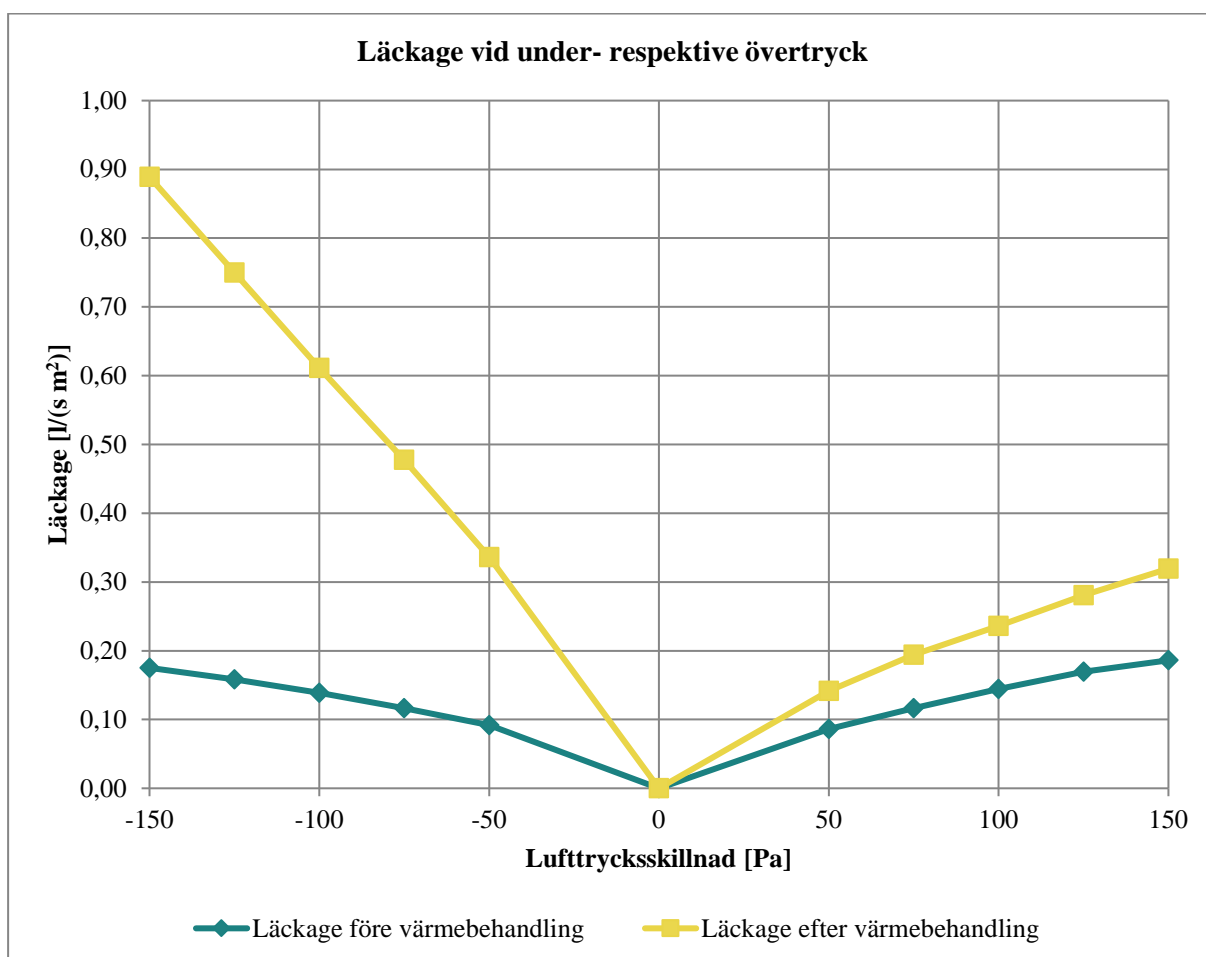


Diagram 17. Lufttätthetssystem 1 visar en relativt stor förändring av lufttäteten efter montage i dammig miljö. Denna förändring syns först efter värmebehandling. Noterbart är att förändringen är betydligt större på undertryckssidan än på övertryckssidan.



Långtidsåldring

Tabell 14. Före värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,10	0,028	0,10	0,028
50 Pa undertryck	0,10	0,028	0,11	0,031

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,10	0,028	0,10	0,028
75	0,13	0,036	0,14	0,039
100	0,17	0,047	0,18	0,050
125	0,18	0,050	0,24	0,067
150	0,22	0,061	0,29	0,081

Tabell 15. Efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,10	0,028	0,10	0,028
50 Pa undertryck	0,11	0,031	0,11	0,031

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,10	0,03	0,11	0,031
75	0,13	0,04	0,15	0,042
100	0,16	0,04	0,16	0,044
125	0,19	0,05	0,19	0,053
150	0,24	0,07	0,22	0,061



Tabell 16. Efter 20 veckor åldring vid 70°C 50 % RF

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,15	0,042	0,15	0,042
50 Pa undertryck	0,20	0,056	0,20	0,056

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,15	0,042	0,20	0,056
75	0,21	0,058	0,31	0,086
100	0,24	0,067	0,34	0,094
125	0,29	0,081	0,40	0,111
150	0,31	0,086	0,44	0,122

Tabell 17. Efter 40 veckor åldring vid 70°C 50 % RF

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,40	0,111	0,40	0,111
50 Pa undertryck	0,46	0,128	0,48	0,133

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,40	0,111	0,46	0,128
75	0,53	0,147	0,62	0,172
100	0,62	0,172	0,82	0,228
125	0,73	0,203	1,01	0,281
150	0,81	0,225	1,21	0,336

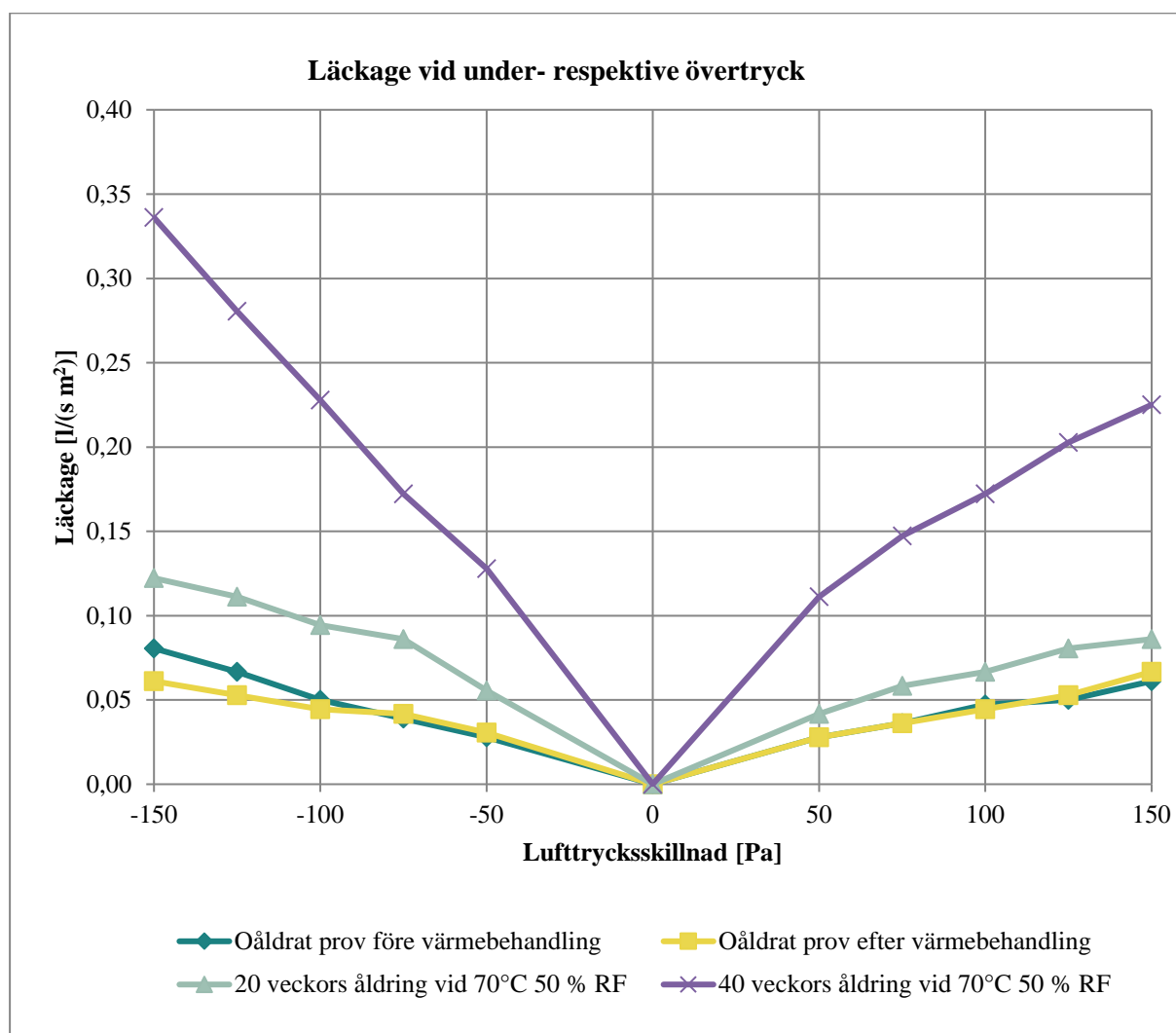


Diagram 18. Man ser att den inledande värmebehandlingen inte påverkar lufttätethetsystemet något nämnvärt. Långtidsåldringen påverkar dock systemet negativt vid 20 veckors åldring i ganska ringa grad för att sedan påverka i större grad vid 40 veckors åldring. Vid den, av leverantören av lufttätethetsystemet, valda åldringstemperaturen på 70°C kan genom att använda den så kallade Arrheniusekvationen göra ett antagande om att en användningstid om 25 år simulerats.



Lufttätthetssystem 2

Montage under ideala förhållanden

Tabell 18. Före värmebehandling

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,09	0,025	0,09	0,025
50 Pa undertryck	0,04	0,011	0,04	0,011

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,09	0,025	0,04	0,011
75	0,12	0,033	0,05	0,014
100	0,15	0,042	0,08	0,022
125	0,17	0,047	0,09	0,025
150	0,20	0,056	0,12	0,033

Tabell 19. Efter värmebehandling, 7 dygn vid 60°C 50 % RF

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,26	0,072	0,16	0,044
50 Pa undertryck	0,10	0,028	0,09	0,025

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$
50	0,26	0,072	0,1	0,028
75	0,28	0,078	0,14	0,039
100	0,32	0,089	0,16	0,044
125	0,48	0,133	0,2	0,056
150	0,32 *1	0,089 *1	0,23	0,064

*1 Vid visuell inspektion vid övertryck på 125 Pa så noterades ett läckage vid en av skruvarna för installationskittet. Detta läckage tätades av sig själv när trycket ökades till 150 Pa.



Tabell 20. Förändring av lufttäteten efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Förändring av läckage, före vindlast		Förändring av läckage, efter vindlast	
	[l/(s · m ²)]	[%]	[l/(s · m ²)]	[%]
50 Pa övertryck	0,047	189	0,019	78
50 Pa undertryck	0,017	150	0,014	125
Medelvärde vid 50 Pa över- undertryck	0,032		0,017	

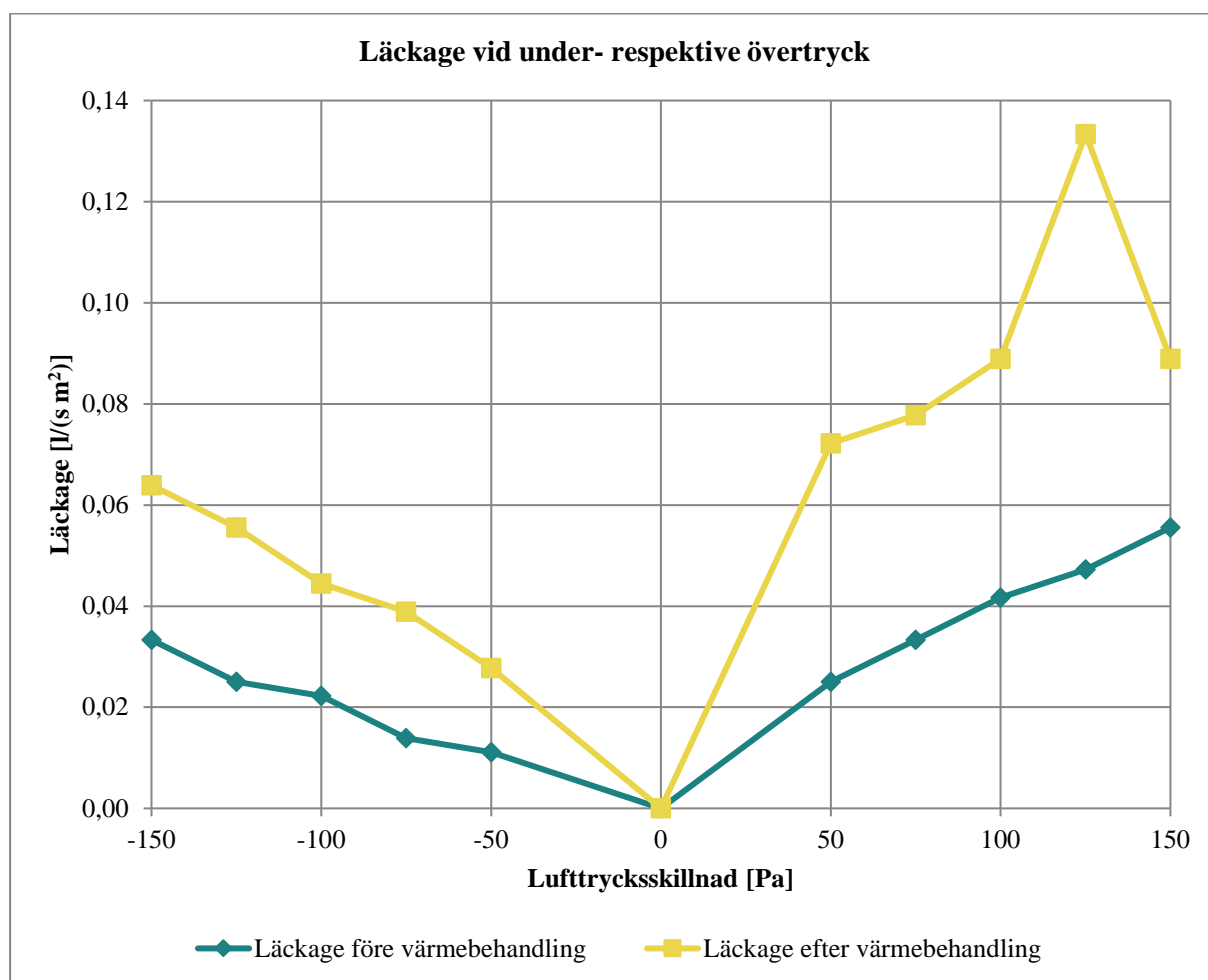


Diagram 19. Lufttätessystem 2 uppvisar förändring i lufttäteten efter värmebehandlingen. Vid visuell inspektion vid övertryck på 125 Pa så noterades ett läckage vid en av skruvarna för installationskiktet. Detta läckage tätades av sig själv när trycket ökades.



Montage i kall och fuktig miljö

Tabell 21. Före värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,73	0,203	0,68	0,189
50 Pa undertryck	0,74	0,206	0,69	0,192

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$
50	0,73	0,203	0,72	0,200
75	0,97	0,269	0,89	0,247
100	1,12	0,311	1,07	0,297
125	1,19	0,331	1,18	0,328
150	1,29	0,358	1,29	0,358

Tabell 22. Efter värmebehandling, 7 dygn vid 60°C 50 % RF

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,57	0,158	0,57	0,158
50 Pa undertryck	0,64	0,178	0,64	0,178

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$
50	0,59	0,164	0,65	0,181
75	0,77	0,214	0,85	0,236
100	0,93	0,258	1,04	0,289
125	1,05	0,292	1,18	0,328
150	1,19	0,331	1,30	0,361



Tabell 23. Förändring av lufttätheten efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Före vindlast		Efter vindlast	
	[l/s m ²]	[%]	[l/s m ²]	[%]
50 Pa övertryck	-0,044	-22	-0,031	-16
50 Pa undertryck	-0,028	-14	-0,014	-7
Medelvärde 50 Pa över- undertryck	-0,036		-0,022	

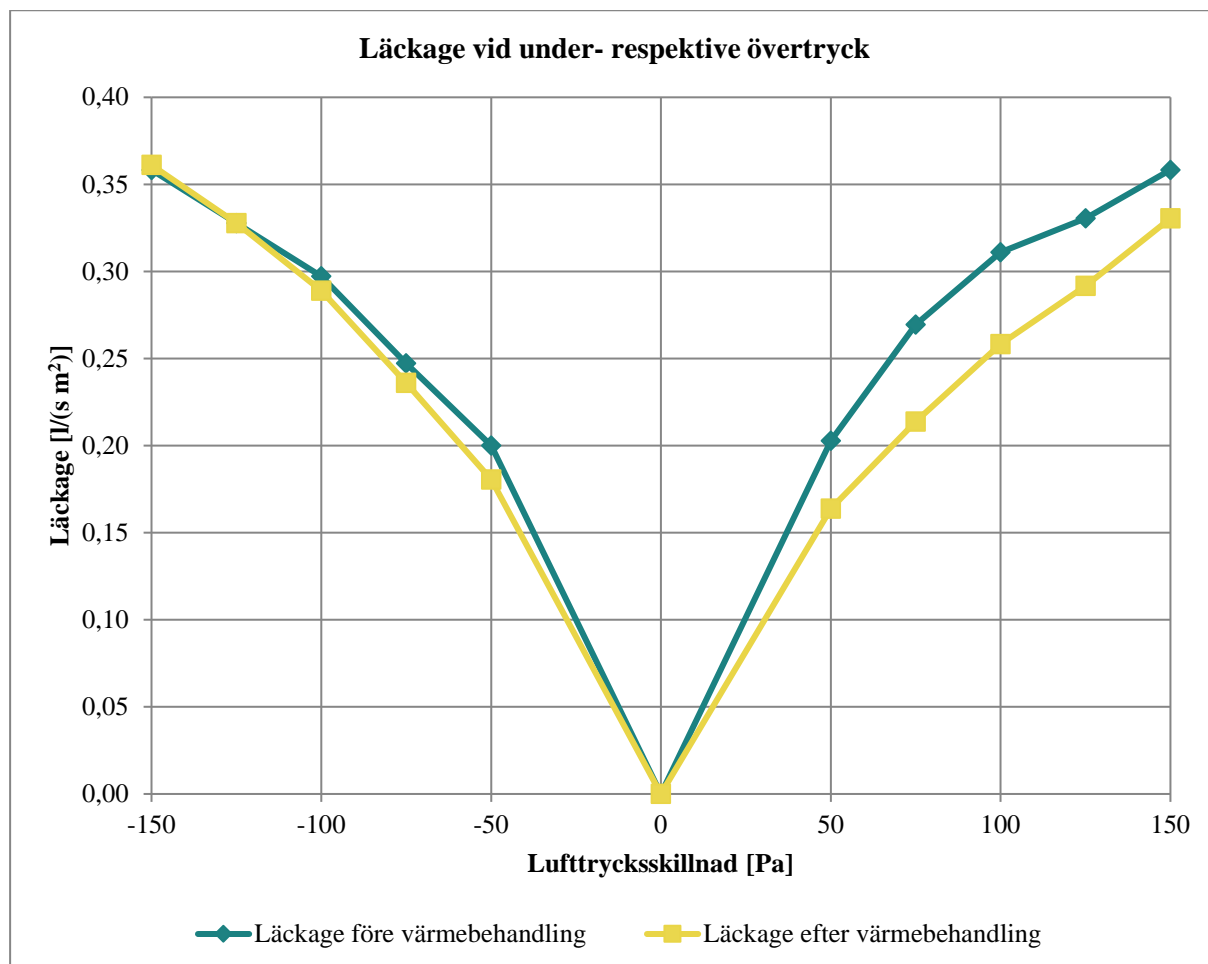


Diagram 20. Lufttäthetssystem 2 visar på förändring vid montage i kallt och fuktigt klimat. Värmebehandlingen påverkade inte lufttäthetssystem 2 i någon negativ riktning. Förändringen är mindre än hos lufttäthetssystem 1 och 3.



Montage i dammig miljö

Tabell 24. Före värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,12	0,033	0,11	0,031
50 Pa undertryck	0,12	0,033	0,12	0,033

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$
50	0,11	0,031	0,12	0,033
75	0,15	0,042	0,19	0,053
100	0,19	0,053	0,24	0,067
125	0,22	0,061	0,25	0,069
150	0,26	0,072	0,26	0,072

Tabell 25. Efter värmebehandling, 7 dygn vid 60°C 50 % RF

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,17	0,047	0,17	0,047
50 Pa undertryck	0,21	0,058	0,21	0,058

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$
50	0,17	0,047	0,21	0,058
75	0,22	0,061	0,27	0,075
100	0,27	0,075	0,34	0,094
125	0,31	0,086	0,40	0,111
150	0,35	0,097	0,46	0,128



Tabell 26. Förändring av lufttäteten efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Före vindlast		Efter vindlast	
	[l/s m ²]	[%]	[l/s m ²]	[%]
50 Pa övertryck	0,014	42	0,017	55
50 Pa undertryck	0,025	75	0,025	75
Medelvärde 50 Pa över- undertryck	0,019		0,021	

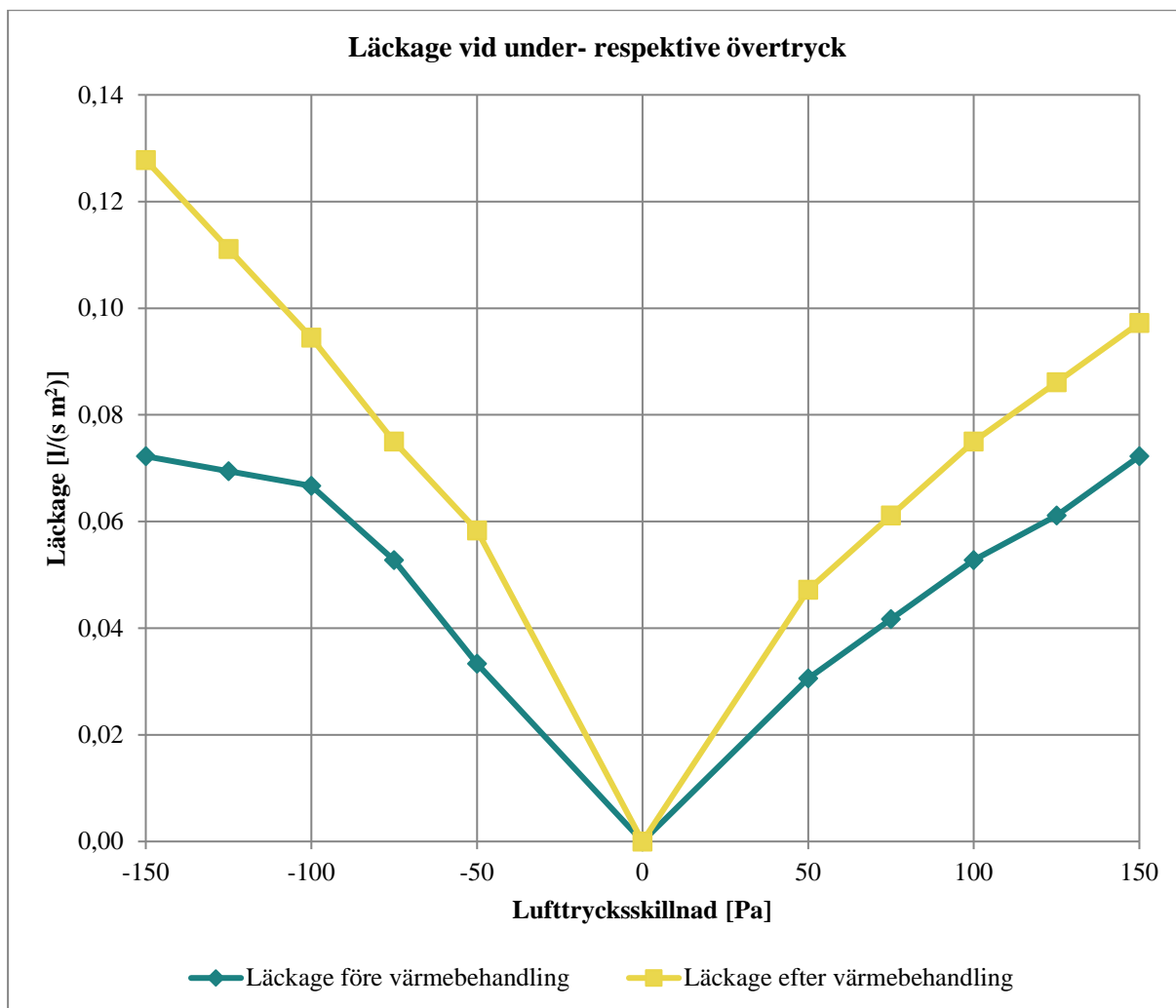


Diagram 21. Lufttätessystem 2 uppvisar endast ringa förändring vid montage i dammig miljö jämfört med montage under ideala förhållanden. Endast ringa förändring vid värmebehandlingen



Långtidsåldring

Tabell 27. Före värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,07	0,019	0,06	0,017
50 Pa undertryck	0,07	0,019	0,07	0,019

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,07	0,019	0,08	0,022
75	0,08	0,022	0,1	0,028
100	0,09	0,025	0,13	0,036
125	0,12	0,033	0,16	0,044
150	0,13	0,036	0,17	0,047

Tabell 28. Efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,15	0,042	0,16	0,044
50 Pa undertryck	0,20	0,056	0,22	0,061

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,14	0,039	0,22	0,061
75	0,19	0,053	0,27	0,075
100	0,26	0,072	0,31	0,086
125	0,31	0,086	0,37	0,103
150	0,36	0,100	0,40	0,111



Tabell 29. Efter 20 veckor åldring vid 70°C 50 % RF

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,23	0,064	0,26	0,072
50 Pa undertryck	0,44	0,122	0,47	0,131

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,22	0,061	0,45	0,125
75	0,31	0,086	0,57	0,158
100	0,39	0,108	0,69	0,192
125	0,45	0,125	0,77	0,214
150	0,51	0,142	0,85	0,236

Tabell 30. Efter 40 veckor åldring vid 70°C 50 % RF

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,51	0,142	0,65	0,181
50 Pa undertryck	0,72	0,200	0,73	0,203

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,51	0,142	0,73	0,203
75	0,64	0,178	0,92	0,256
100	0,77	0,214	1,09	0,303
125	0,88	0,244	1,27	0,353
150	0,98	0,272	1,43	0,397

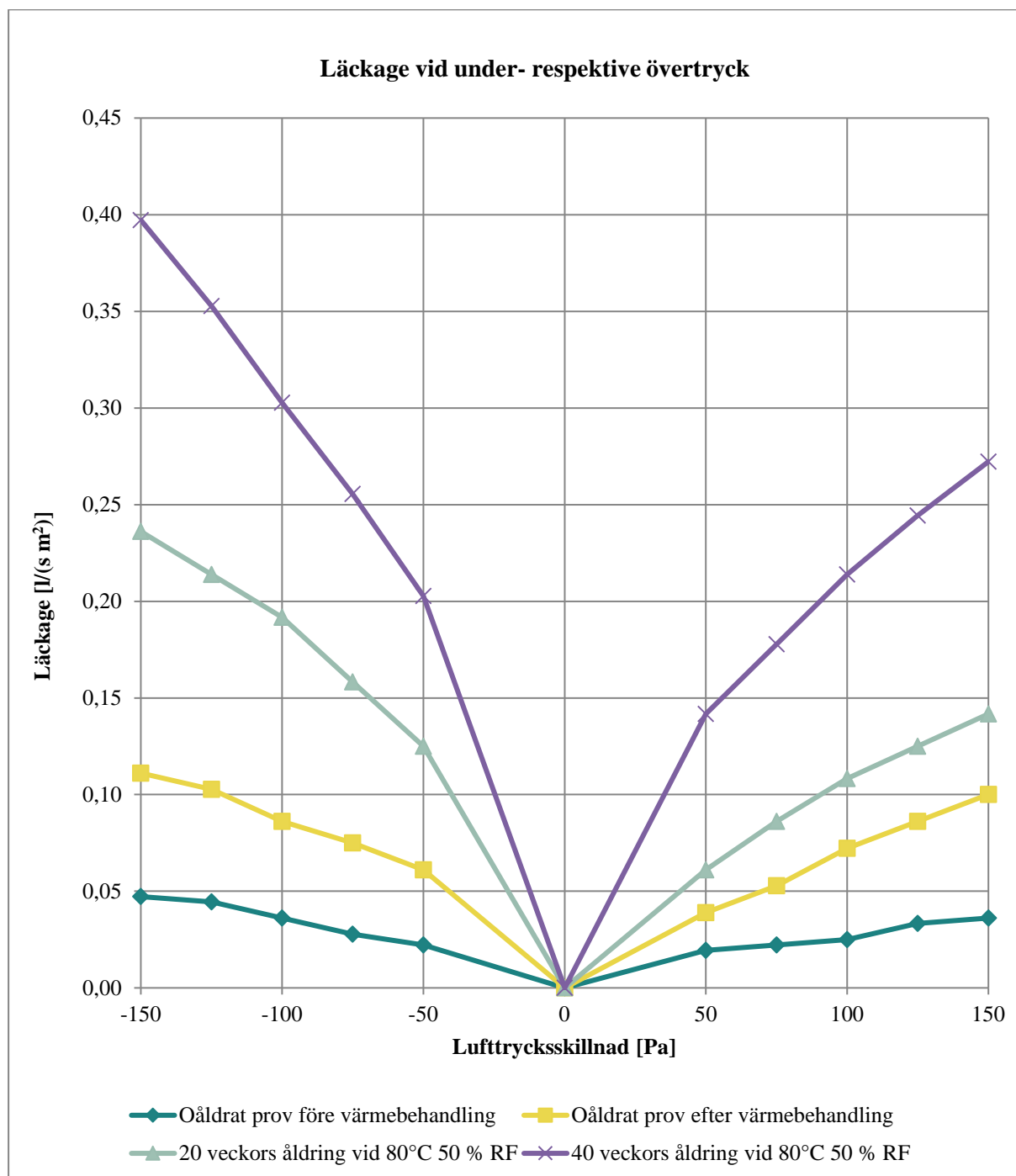


Diagram 22. Resultat från långtidsåldring



Lufttätthetssystem 3

Montage under ideala förhållanden

Tabell 31. Före värmebehandling

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,26	0,072	0,25	0,069
50 Pa undertryck	0,19	0,053	0,18	0,050

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,26	0,072	0,19	0,053
75	0,34	0,094	0,25	0,069
100	0,42	0,117	0,32	0,089
125	0,46	0,128	0,35	0,097
150	0,52	0,144	0,42	0,117

Tabell 32. Före värmebehandling

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	1,13	0,314	1,01	0,281
50 Pa undertryck	0,88	0,244	0,81	0,225

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	1,13	0,314	0,88	0,244
75	1,39	0,386	1,07	0,297
100	1,60	0,444	1,22	0,339
125	1,82	0,506	1,43	0,397
150	1,97	0,547	1,63	0,453

Vid den visuella inspektionen upptäcktes ett läckage vid den större genomföringen \varnothing 110 mm. När detta läckage tätades efter genomförda lufttätetsmätningar och vindbelastningar så noterades en ökning av väggens lufttätthet på ca 50 %.



Tabell 33. Förändring av lufttäteten efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Förändring av läckage, före vindlast		Förändring av läckage, efter vindlast	
	[l/(s · m ²)]	[%]	[l/(s · m ²)]	[%]
50 Pa övertryck	0,242	335	0,211	304
50 Pa undertryck	0,192	363	0,175	350
Medelvärde vid 50 Pa över- undertryck	0,217		0,193	

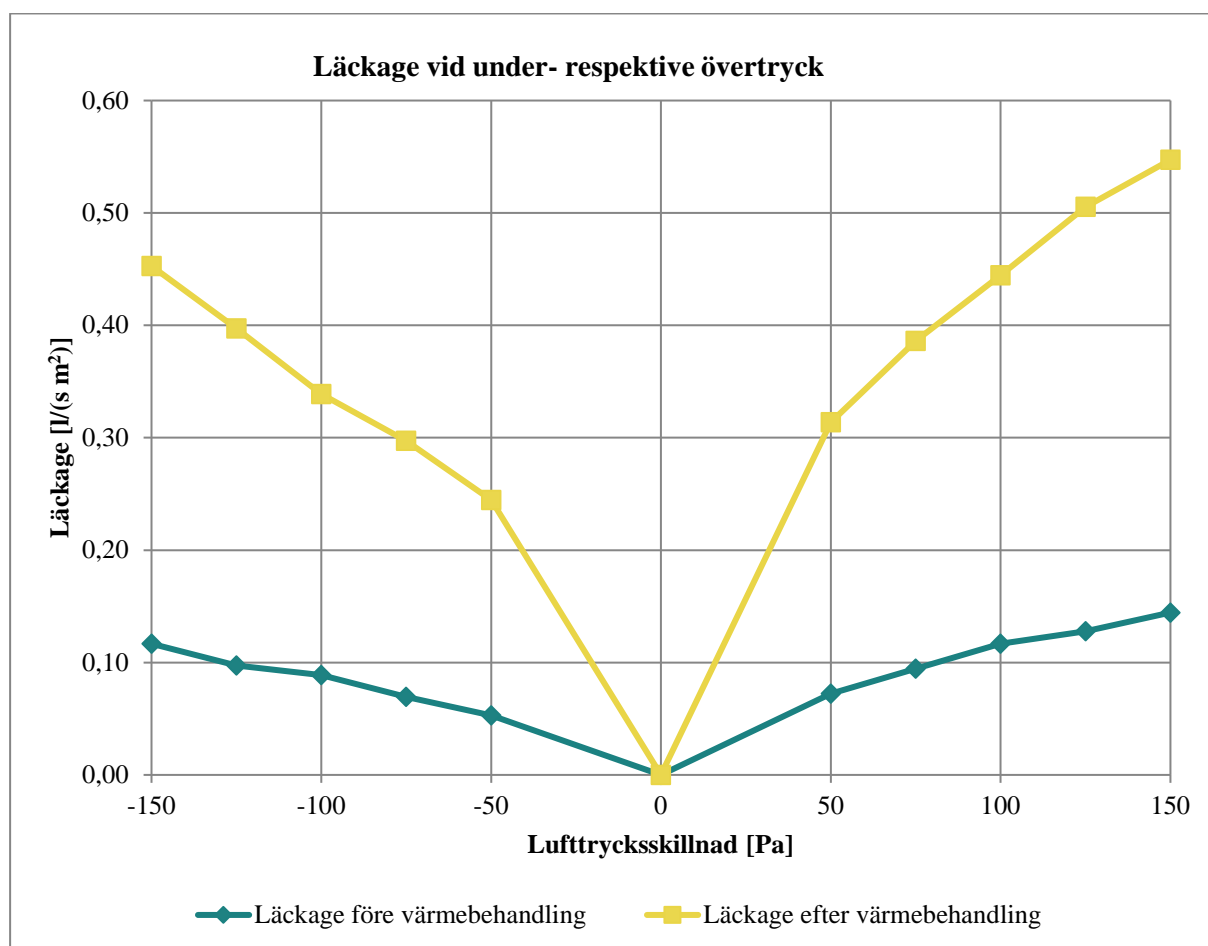


Diagram 21. Lufttätetssystem 3 uppvisar ganska stor förändring i lufttäteten efter värmebehandlingen. Det skall dock sägas att vid den visuella inspektionen upptäcktes ett läckage vid den större genomföringen Ø110 mm. När detta läckage tätades efter genomförda lufttätetsmätningar och vindbelastningar så noterades en ökning av väggens lufttätet på ca 50 %.



Montage i kall och fuktig miljö

Tabell 34. Före värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	1,22	0,339	1,10	0,306
50 Pa undertryck	1,53	0,425	1,63	0,453

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	1,22	0,339	1,53	0,425
75	1,53	0,425	1,84	0,511
100	1,75	0,486	2,2	0,611
125	1,99	0,553	2,5	0,694
150	2,10	0,583	2,8	0,778

Tabell 35. Efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	4,2	1,167	4,9	1,361
50 Pa undertryck	5,10	1,417	5,7	1,583

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	4,20	1,167	5,10	1,417
75	5,10	1,417	6,40	1,778
100	5,80	1,611	7,60	2,111
125	6,50	1,806	8,90	2,472
150	7,20	2,000	10,50	2,917



Tabell 36. Förändring av lufttäteten efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Före vindlast		Efter vindlast	
	[l/s m ²]	[%]	[l/s m ²]	[%]
50 Pa övertryck	0,828	244	1,056	345
50 Pa undertryck	0,992	233	1,131	250
Medelvärde 50 Pa över- undertryck	0,910		1,093	

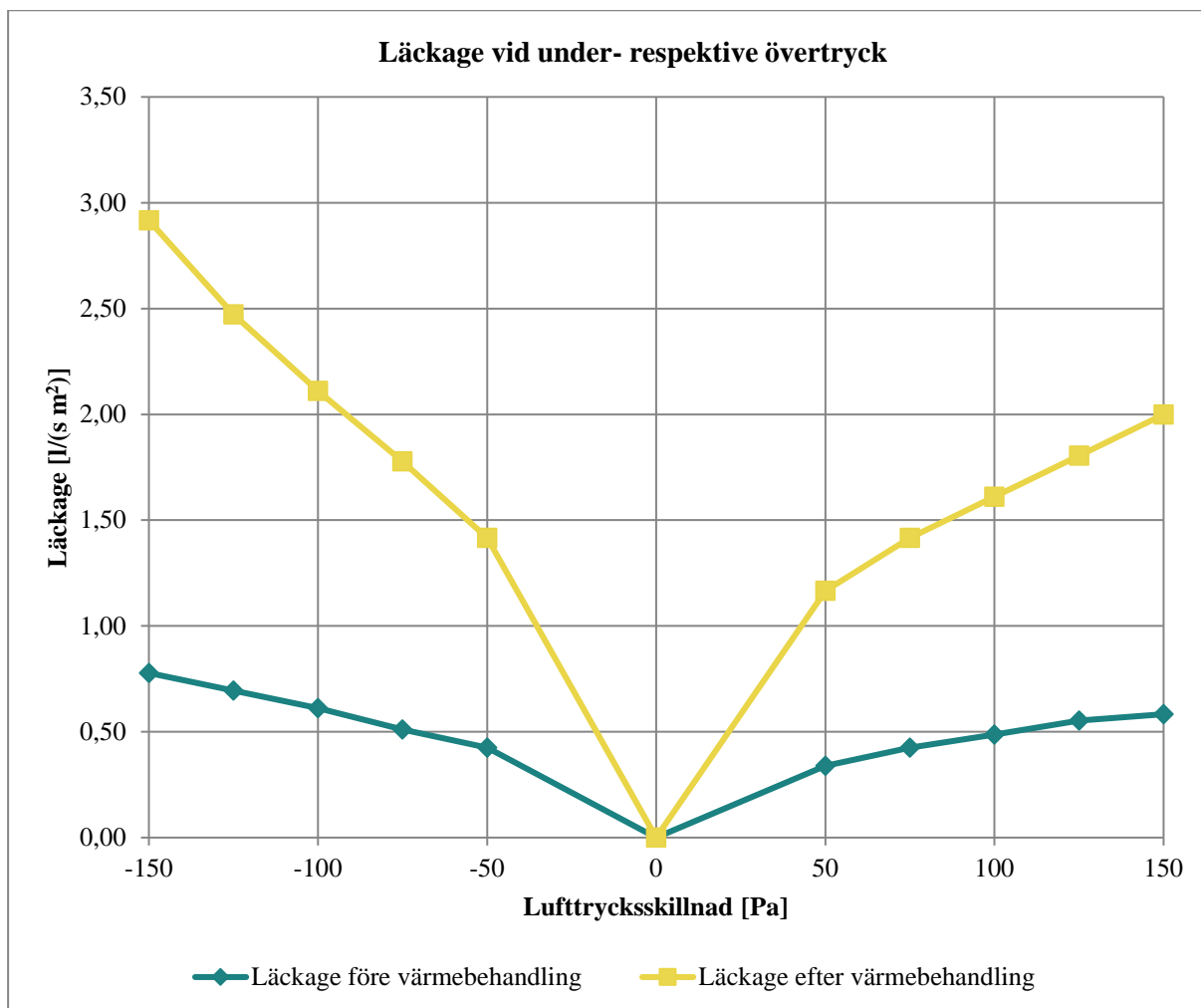


Diagram 22. Lufttätetssystem 3 visar en relativt stor förändring av lufttäteten efter montage i klimat, denna förändring syns dock först efter värmebehandling.



Montage i dammig miljö

Tabell 37. Före värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	[m ³ /h m ²]	[l/s m ²]	[m ³ /h m ²]	[l/s m ²]
50 Pa övertryck	0,35	0,097	0,35	0,097
50 Pa undertryck	0,48	0,133	0,5	0,139

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	[m ³ /h m ²]	[l/s m ²]	[m ³ /h m ²]	[l/s m ²]
50	0,35	0,097	0,48	0,133
75	0,43	0,119	0,61	0,169
100	0,48	0,133	0,7	0,194
125	0,53	0,147	0,78	0,217
150	0,59	0,164	0,84	0,233

Tabell 38. Efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	[m ³ /h m ²]	[l/s m ²]	[m ³ /h m ²]	[l/s m ²]
50 Pa övertryck	0,95	0,264	1,14	0,317
50 Pa undertryck	1,92	0,533	2,4	0,667

Luftrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	[m ³ /h m ²]	[l/s m ²]	[m ³ /h m ²]	[l/s m ²]
50	1,03	0,286	1,94	0,539
75	1,30	0,361	2,40	0,667
100	1,53	0,425	2,90	0,806
125	1,72	0,478	3,30	0,917
150	1,92	0,533	3,80	1,056



Tabell 39. Förändring av lufttäteten efter värmebehandling

Luftrycksskillnad [Pa]	Före vindlast		Efter vindlast	
	[l/s m ²]	[%]	[l/s m ²]	[%]
50 Pa övertryck	0,167	171	0,219	226
50 Pa undertryck	0,400	300	0,528	380
Medelvärde 50 Pa över- undertryck	0,283		0,374	

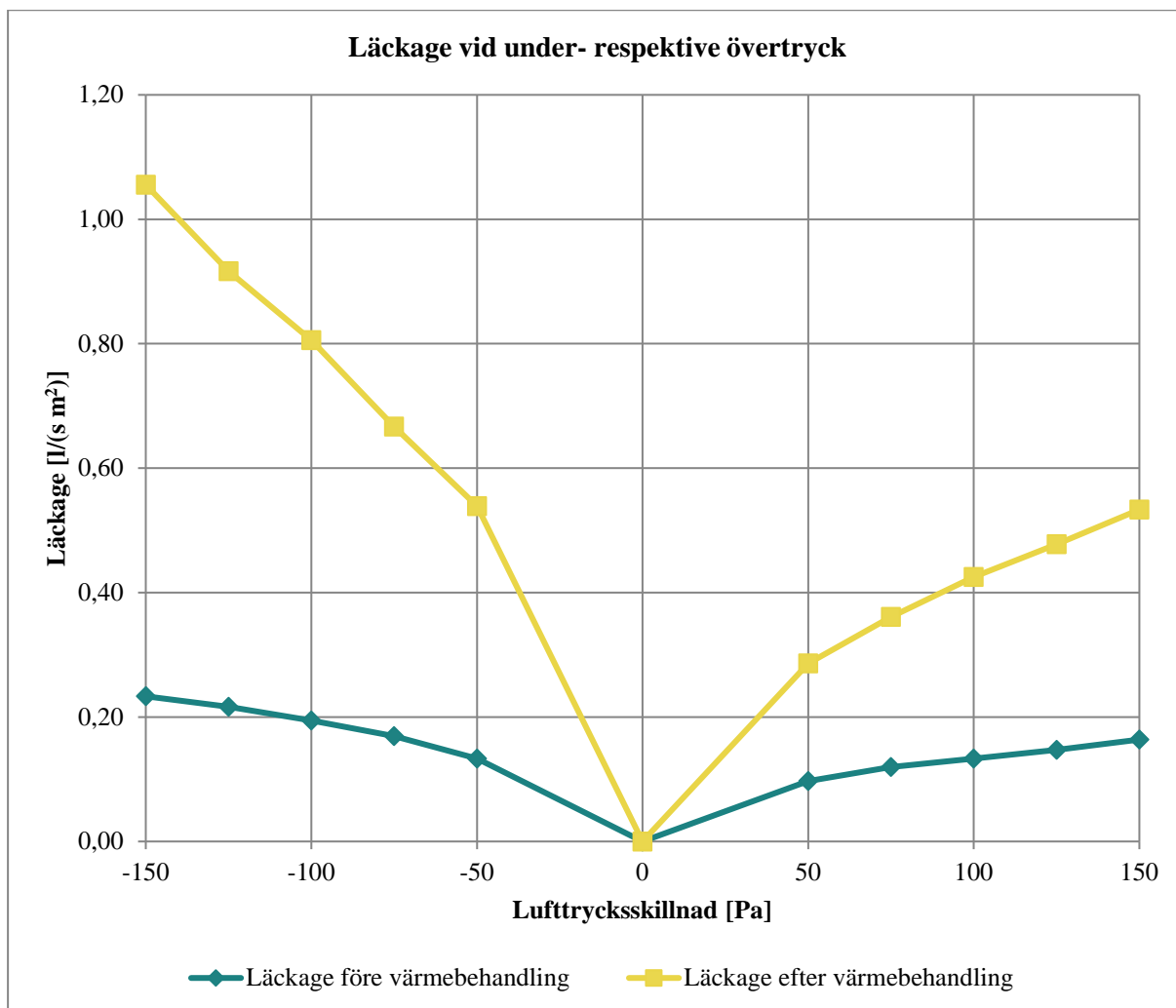


Diagram 23. Lufttätethetssystem 3 visar förändring av lufttäteten efter montage i dammig miljö, denna förändring syns dock först efter värmebehandling.



Långtidsåldring

Tabell 40. Före värmebehandling

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,06	0,017	0,06	0,017
50 Pa undertryck	0,09	0,025	0,08	0,022

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,07	0,019	0,08	0,022
75	0,08	0,022	0,11	0,031
100	0,09	0,025	0,14	0,039
125	0,10	0,028	0,16	0,044
150	0,12	0,033	0,18	0,050

Tabell 41. Efter värmebehandling

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	1,05	0,292	0,94	0,261
50 Pa undertryck	1,48	0,411	1,34	0,372

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	1,00	0,278	1,39	0,386
75	1,22	0,339	1,72	0,478
100	1,40	0,389	1,96	0,544
125	1,55	0,431	2,20	0,611
150	1,72	0,478	2,30	0,639



Tabell 42. Efter 20 veckor åldring vid 70°C 50 % RF

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	1,60	0,444	1,60	0,444
50 Pa undertryck	2,30	0,639	2,30	0,639

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	1,63	0,453	2,10	0,583
75	1,96	0,544	2,80	0,778
100	2,20	0,611	3,20	0,889
125	2,50	0,694	3,50	0,972
150	2,70	0,750	3,80	1,056

Tabell 43. Efter 40 veckor åldring vid 70°C 50 % RF

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	1,74	0,483	1,69	0,469
50 Pa undertryck	2,60	0,722	2,30	0,639

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	1,64	0,456	2,40	0,456
75	2,00	0,556	2,80	0,556
100	2,40	0,667	3,20	0,667
125	2,60	0,722	3,60	0,722
150	2,80	0,778	3,90	0,778

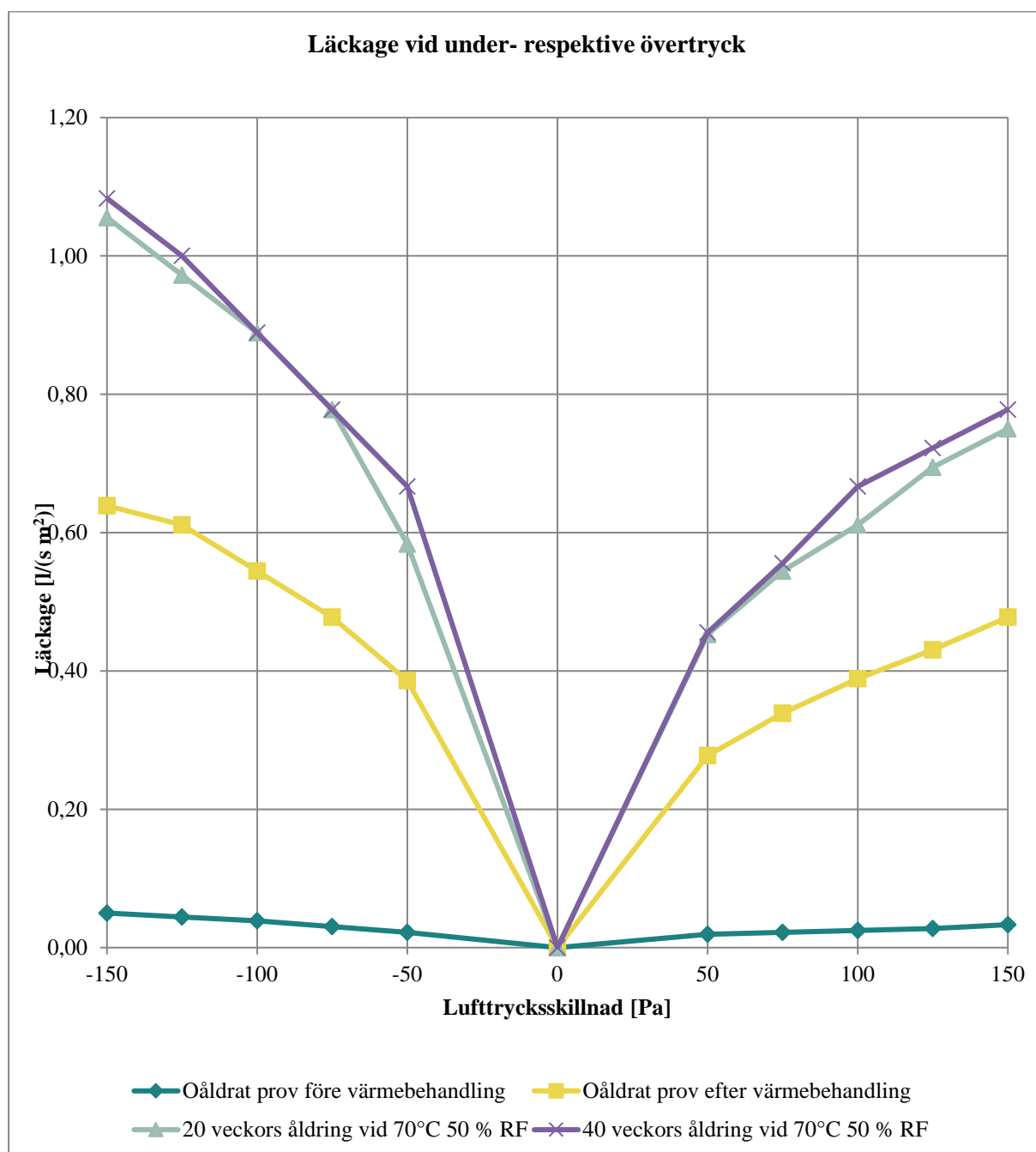


Diagram 24. Man ser att den inledande värmebehandlingen påverkar lufttätthetssystemet ganska kraftigt. Långtidsåldringen påverkar också systemet negativt, vi ser dock ingen större förändring mellan 20 veckors åldring och 40 veckors åldring.



Pilotprovning på isoleringsprodukter med lufttätande egenskaper (polyuretanskum)

Prefabricerad provvägg med polyuretanisolering

Tabell 44. Före värmebehandling

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,04	0,011	0,05	0,014
50 Pa undertryck	0,05	0,014	0,05	0,014

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,04	0,011	0,05	0,014
75	0,05	0,014	0,07	0,019
100	0,06	0,017	0,08	0,022
125	0,07	0,019	0,09	0,025
150	0,08	0,022	0,10	0,028

Tabell 45. Efter värmebehandling

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,10	0,028	0,09	0,025
50 Pa undertryck	0,10	0,028	0,10	0,028

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,09	0,025	0,10	0,028
75	0,11	0,031	0,13	0,036
100	0,14	0,039	0,17	0,047
125	0,18	0,050	0,20	0,056
150	0,22	0,061	0,22	0,061



Tabell 46. Efter 17 veckor åldring vid 80°C 50 % RF

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	[m ³ /(h · m ²)]	[l/(s · m ²)]	[m ³ /(h · m ²)]	[l/(s · m ²)]
50 Pa övertryck	0,11	0,031	0,11	0,031
50 Pa undertryck	0,12	0,33	0,12	0,33

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	[m ³ /(h · m ²)]	[l/(s · m ²)]	[m ³ /(h · m ²)]	[l/(s · m ²)]
50	0,11	0,031	0,12	0,033
75	0,16	0,044	0,16	0,044
100	0,19	0,053	0,20	0,056
125	0,22	0,061	0,23	0,064
150	0,26	0,072	0,27	0,075

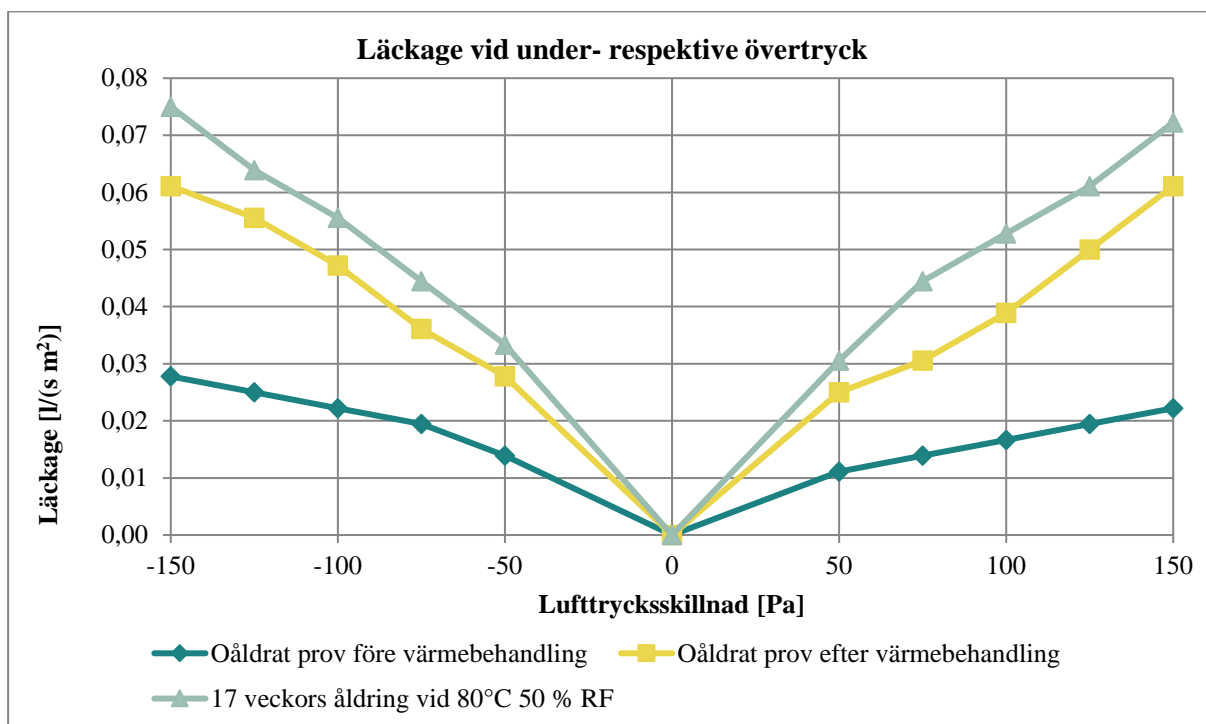


Diagram 25. Resultat från långtidsåldring av prefabricerad provvägg med polyuretanisolering.



In-situ tillverkad provvägg med polyuretanisolering

Tabell 47. Före värmebehandling

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,03	0,008	0,04	0,011
50 Pa undertryck	0,04	0,011	0,04	0,011

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,04	0,011	0,04	0,011
75	0,05	0,014	0,05	0,014
100	0,05	0,014	0,07	0,019
125	0,07	0,019	0,07	0,019
150	0,07	0,019	0,08	0,022

Tabell 48. Efter värmebehandling

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50 Pa övertryck	0,03	0,008	0,03	0,008
50 Pa undertryck	0,03	0,008	0,03	0,008

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$	$[m^3/(h \cdot m^2)]$	$[l/(s \cdot m^2)]$
50	0,03	0,008	0,03	0,008
75	0,04	0,011	0,05	0,014
100	0,04	0,011	0,06	0,017
125	0,05	0,014	0,06	0,017
150	0,06	0,017	0,07	0,019



Tabell 49. Efter 17 veckor åldring vid 80°C 50 % RF

Lufttrycksskillnad [Pa]	Läckage före vindlast		Läckage efter vindlast	
	[m ³ /(h · m ²)]	[l/(s · m ²)]	[m ³ /(h · m ²)]	[l/(s · m ²)]
50 Pa övertryck	0,08	0,022	0,08	0,022
50 Pa undertryck	0,10	0,028	0,10	0,028

Lufttrycksskillnad, vindbelastning [Pa]	Läckage vid övertryck		Läckage vid undertryck	
	[m ³ /(h · m ²)]	[l/(s · m ²)]	[m ³ /(h · m ²)]	[l/(s · m ²)]
50	0,08	0,022	0,10	0,028
75	0,11	0,031	0,13	0,036
100	0,13	0,036	0,15	0,042
125	0,15	0,042	0,21	0,058
150	0,15	0,042	0,25	0,069

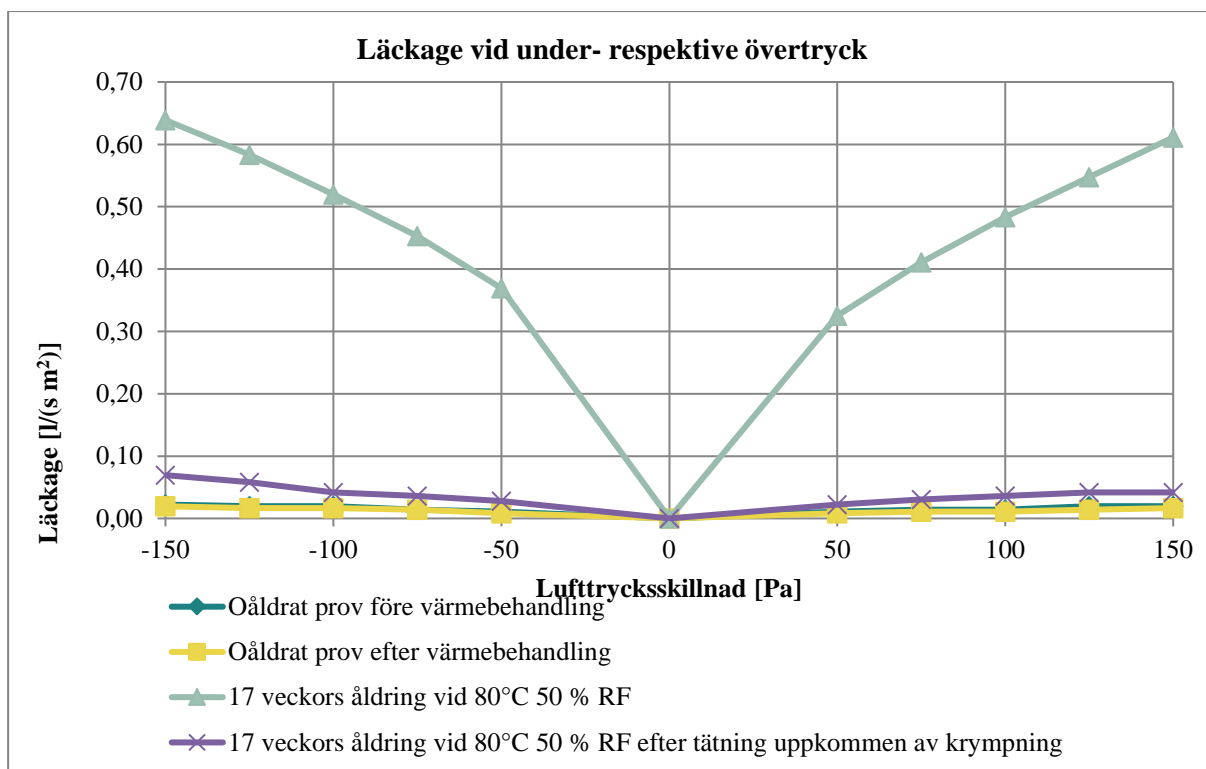


Diagram 26. Resultat från långtidsåldring av in-situ tillverkad provvägg med polyuretanisolering.



Resultat småskalig provning

Lufttätthetssystem 1

Tabell 50. Skarv mellan tejp och luft- och ångspärr

Temperatur_prov	Material	Före (cm)	Efter (cm)	Skillnad (%)	Medelskillnad (%)	Kommentar
60_A	Film	56,15	56,10	-0,1%	0,2%	Vågigt prov
	Film	55,90	56,15	0,4%		
	Tejp	56,00	55,70	-0,5%	-0,5%	
	Tejp	56,00	55,70	-0,5%		
60_B	Film	56,10	56,15	0,1%	0,1%	Vågigt prov
	Film	56,15	56,20	0,1%		
	Tejp	56,05	55,80	-0,4%	-0,5%	
	Tejp	56,10	55,80	-0,5%		
70_A	Film	56,20	56,25	0,1%	0,2%	Kanal
	Film	55,75	55,90	0,3%		
	Tejp	56,00	-	-	-	
	Tejp	55,95	-	-		
70_B	Film	56,10	56,20	0,2%	0,2%	Vågigt prov
	Film	55,90	56,05	0,3%		
	Tejp	55,95	55,70	-0,4%	-0,5%	
	Tejp	55,95	55,65	-0,5%		
80_A	Film	55,95	56,00	0,1%	0,2%	Vågigt prov
	Film	56,35	56,50	0,3%		
	Tejp	56,15	55,60	-1,0%	-1,0%	
	Tejp	56,20	55,60	-1,1%		
80_B	Film	56,30	56,45	0,3%	0,2%	Vågigt prov
	Film	55,95	56,05	0,2%		
	Tejp	56,10	55,60	-0,9%	-0,9%	
	Tejp	56,05	55,50	-1,0%		



En kanal på ett av proven körda vid 70 °C, men inga vid 60 °C eller 80 °C. Dock någon kanaltendens vid 80 °C. Tejpens dimensionsförändringar var likvärdiga vid 60 och 70 °C men ökade till det dubbla vid 80 °C. Luft och ångspärrens dimensionsförändring var i samma nivå för alla tre temperaturerna.

Stor genomföring

Monterades mot luft- och ångspärr. Efter exponeringen fanns det veck/kanaler på flera av proven där det var minst häftämne (i mitten på varje sida). Filmen blir längre i båda riktningarna under exponering, men det verkar som att det sker mer i en riktning än den andra. Det verkar vara ökad risk för veck/kanaler med ökande temperatur.

Tabell 51. Stor genomföring

Temperatur_prov	Efter exponering
60_A	Veckbildning på byggfilmen där minst häftämne finns.
60_B	OK
70_A	OK
70_B	Veckbildning på byggfilmen där minst häftämne finns.
80_A	Veckbildning på byggfilmen där minst häftämne finns.
80_B	Veckbildning på byggfilmen där minst häftämne finns.

Fönsterisolering

Applicerades mot målad trälist. Alla exponerade prov såg ok ut efter exponeringen, det verkar inte som att isoleringen har släppt från den målade ytan. En komponent i isoleringen har dragit ihop sig lite.

Syllisolering

Blåsor bildades mellan film och syllmaterialet, blåsornas antal och totala yta verkar öka med ökande temperatur. I övrigt inget att anmärka på.

Skarv mellan syllisolering och luft- och ångspärr

Filmen på syllisoleringen skarvades med en luft- och ångspärr med hjälp av systemets tejp. Längdförändring på den tunna filmen mättes, och skarven granskades visuellt efter möjliga orsaker till läckage.

Syllisoleringens film krymper mer och mer med ökande temperatur, och tejpens har glidit på provet (även det mer och mer med ökande temperatur, ca 2-3 mm vid 60 och 70 °C men ca 7 mm vid 80 °C). Inga kanaler kunde ses.



Tabell 52. Skarv mellan syllisolering och luft- och ångspärr

Temperatur_prov	Före (cm)	Efter (cm)	Ändring (%)	Medeländring (%)
60_A	15,75	15,75	0,0%	-0,2%
	15,85	15,80	-0,3%	
60_B	15,85	15,85	0,0%	-0,2%
	15,90	15,85	-0,3%	
70_A	15,75	15,70	-0,3%	-0,3%
	15,80	15,75	-0,3%	
70_B	16,05	16,00	-0,3%	-0,3%
	16,05	16,00	-0,3%	
80_A	15,45	15,35	-0,6%	-0,6%
	15,45	15,35	-0,6%	
80_B	15,95	15,85	-0,6%	-0,6%
	16,00	15,90	-0,6%	

Tejp på målad träyta

När proven togs ut från klimatskåpen så var det fullt med veck på tejp. Dessa har dock dragit ihop sig, men det finns små veck kvar som skulle kunna ge upphov till småläckage. Huruvida det verkligen sker läckage har dock inte kunnat mätas.



Lufttätthetssystem 2

Tabell 53. Skarv mellan enkelhäftande tejp och byggfilm

Temperatur_prov	Material	Före (cm)	Efter (cm)	Skillnad (%)	Medelskillnad (%)	Kommentar
60_A	Film	55,25	55,35	0,2%	0,2%	Lite blåsor men inga kanaler
	Film	54,85	54,95	0,2%		
	Tejp	55,10	54,95	-0,3%	-0,3%	
	Tejp	55,00	54,85	-0,3%		
60_B	Film	55,15	55,25	0,2%	0,2%	Lite blåsor men inga kanaler
	Film	55,00	55,10	0,2%		
	Tejp	55,10	54,95	-0,3%	-0,3%	
	Tejp	55,10	54,90	-0,4%		
70_A	Film	55,25	55,40	0,3%	0,3%	Lite blåsor men inga kanaler
	Film	55,10	55,30	0,4%		
	Tejp	55,15	55,10	-0,1%	0,0%	
	Tejp	55,10	55,10	0,0%		
70_B	Film	55,00	55,15	0,3%	0,3%	Lite blåsor men inga kanaler
	Film	55,10	55,30	0,4%		
	Tejp	55,05	55,00	-0,1%	-0,1%	
	Tejp	55,05	55,00	-0,1%		
80_A	Film	54,85	55,05	0,4%	0,4%	Lite blåsor men inga kanaler
	Film	55,25	55,50	0,5%		
	Tejp	55,00	55,00	0,0%	0,0%	
	Tejp	55,05	55,05	0,0%		
80_B	Film	55,25	55,45	0,4%	0,4%	Lite blåsor men inga kanaler
	Film	54,85	55,05	0,4%		
	Tejp	55,10	55,05	-0,1%	-0,1%	
	Tejp	55,00	54,95	-0,1%		

Inga kanaler kunde upptäckas efter någon av exponeringarna och maximal uppmätt längdförändring för tejpens var -0,3%, vilket inträffade vid 60 °C. Tejpens krympning minskar med ökande temperatur, men det kan ha att göra med att luft- och ångspärren ökar i längd med ökande temperatur, vilket möjligen kan ha motverkat tejpens krymp.



Byggfilm tejpad med dubbelhäftande tejp på trä

Efter exponeringarna hade byggfilmen kanalliknande släpp mellan byggfilmen och tejp, och det verkar vara en skillnad i dimensionsstabiliteten hos tejp respektive luft- och ångspärr, antagligen är det luft- och ångspärren som blir längre.



Lufttätthetssystem 3

Tabell 54. Skarv mellan enkelhäftande tejp och byggfilm

Temperatur_prov	Material	Före (cm)	Efter (cm)	Skillnad (%)	Medelskillnad (%)	Kommentar
60_A	Film	56,00	56,15	0,3%	0,2%	3 st kanaler
	Film	56,00	56,10	0,2%		
	Tejp	56,00	-	-	-	
	Tejp	56,00	-	-		
60_B	Film	55,95	56,05	0,2%	0,2%	3 st kanaler
	Film	56,20	56,30	0,2%		
	Tejp	56,00	-	-	-	
	Tejp	56,10	-	-		
70_A	Film	56,10	56,20	0,2%	0,4%	Väldigt vågigt prov, många kanaltendenser, dock antagligen inget läckage.
	Film	55,95	56,30	0,6%		
	Tejp	56,00	-	-	-	
	Tejp	55,95	-	-		
70_B	Film	56,15	56,35	0,4%	0,4%	1 kanal
	Film	55,80	56,05	0,4%		
	Tejp	56,00	-	-	-	
	Tejp	55,90	-	-		
80_A	Film	55,85	55,95	0,2%	0,3%	2 st kanaler
	Film	56,05	56,25	0,4%		
	Tejp	55,90	-	-	-	
	Tejp	55,95	-	-		
80_B	Film	55,75	56,05	0,5%	0,4%	4 st kanaler
	Film	56,00	56,15	0,3%		
	Tejp	55,85	-	-	-	
	Tejp	55,90	-	-		



Stor genomföring

Sattes fast mot luft- och ångspärr. Kanalbildning på alla prov efter alla exponeringarna. Kanalerna har oftast bildats från mittendelen av genomföringens ytterkant och rakt in mot mittdelen på genomföringen. Byggfilmen verkar ha blivit större, i alla fall i en riktning. På grund av kanalbildning och provets vågighet efter exponeringen är det svårt att avgöra om genomföringens material har ändrat storlek.

Liten genomföring

Sattes fast mot luft- och ångspärr. Kanalbildning efter alla exponeringarna på ett av proven i varje dubbelprov. Kanalerna har oftast bildats från mittendelen av genomföringens ytterkant och rakt in mot mittdelen på genomföringen. Byggfilmen verkar ha blivit större, i alla fall i en riktning. På grund av provets vågighet efter exponeringen är det svårt att avgöra om genomföringens material har ändrat storlek.

Fönstertätning

Provkroppar tillverkades med tejp, fönstertätning och luft- och ångspärr. Tejpen som användes på provet släppte från byggfilmen under exponeringarna. Fönstertätningen satt ovanpå tejpen, men vad som har orsakat släppet mellan tejp och byggfilm är svårt att säga. Själva fönstertätningen verkar inte ha påverkats särskilt mycket under exponeringen, det är bara på den sida där fönstertätningen sitter på tejpen som den har lossnat, på den andra sidan av provet där den satt mot byggfilm uppvisar den inte samma beteende. Det ser ut som att det finns kanaler eller kanaltendenser på flera av proven där tejpen har lossnat. Det verkar även som att byggfilmen har blivit längre.

Sylltätning

Efter exponering kunde inga otätheter ses mellan sylltätningen och materialet som det sitter fast på. Materialet som sylltätningen sitter fast på hade gulnat efter exponeringarna, och vid det verkar som att sylltätningen eventuellt har mjuknat lite vid 80 °C eftersom det såg ut som att den hade flutit ut lite.

Skarv mellan sylltätning och ångspärr

En skarv gjordes mellan en luft- och ångspärr och sylltätningens film med en 20 cm lång tejpbit. Efter exponeringarna fanns det en kanal på provet som exponerats vid 80 °C, och många kanaltendenser vid alla provade temperaturer. Kanalen och tendenserna var mellan byggfilm och tejp på alla proven, inga problem kunde ses mellan tejp och filmen som sylltätningen sitter på. Inget läckagetest har utförts så det är okänt om det skulle ha uppstått läckage. Byggfilmen verkar ha blivit större. Möjligen att tejpen har krympt lite jämfört med sylltätningens film.



Resultat från mekanisk provning av skarvar

Tabell 55. Lufttätthetssystem 1

Material	Provrnr.	Max skjuvkraft (N/m)	Töjning vid max skjuvkraft (%)	Brottyp
Oexponerat	1	941	77	Adhesion 40%, kohesion 60%
	2	1012	9	Adhesion 40%, kohesion 60%
	3	968	9	Adhesion 40%, kohesion 60%
	4	952	45	Adhesion 25%, kohesion 75%
	5	934	73	Adhesion 15%, kohesion 85%
	Medel	962	43	
	Std.av.	31	33	
Exponerat	1	1146	5	Tejpbrott
	2	1153	5	Tejpbrott
	3	1128	5	Tejpbrott
	4	1150	5	Tejpbrott
	5	1120	4	Tejpbrott
	Medel	1139	5	
	Std.av.	14	0	



Tabell 56. Lufttätetssystem 2

Material	Provnr.	Max skjuvkraft (N/m)	Töjning vid max skjuvkraft (%)	Brottyp
Oexponerat	1	667	15	Adhesion 50%, kohesion 50%
	2	721	85	Adhesion 50%, kohesion 50%
	3	669	16	Adhesion 50%, kohesion 50%
	4	702	41	Adhesion 50%, kohesion 50%
	5	658	15	Adhesion 25%, kohesion 25%
	Medel	683	34	
	Std.av.	27	30	
Exponerat	1	1579	131	Adhesion 80%, kohesion 20%
	2	896	12	Adhesion 100%
	3	829	11	Adhesion 100%
	4	1050	47	Adhesion 100%
	5	865	9	Adhesion 100%
	6	876	36	Adhesion 100%
	7	1105	174	Adhesion 100%
	8	1056	74	Adhesion 100%
	Medel	1032	62	
	Std.av.	244	61	



Tabell 57. Lufttätthetssystem 3; Enkelhäftande tejp

Material	Prov nr.	Max skjuvkraft (N/m)	Töjning vid max skjuvkraft (%)	Brottyp
Oexponerat	1	970	10	Kohesion 100%
	2	1098	106	Kohesion 100%
	3	1146	11	Kohesion 95%, adhesion 5%
	4	1116	98	Kohesion 95%, adhesion 5%
	5	1147	10	Kohesion 95%, adhesion 5%
	Medel	1095	47	
	Std.av.	73	50	
Exponerat	1	1495	7	Tejpbrott
	2	1259	6	Tejpbrott
	3	1516	8	Tejpbrott
	4	1481	6	Tejpbrott
	5	1528	6	Tejpbrott
	Medel	1456	6	
	Std.av.	112	1	

Tabell 58. Lufttätthetssystem 3; Dubbelhäftande tejp

Material	Prov nr.	Max skjuvkraft (N/m)	Töjning vid max skjuvkraft (%)	Brottyp
Oexponerat	1	1322	20	Kohesion 100%
	2	1418	19	Kohesion 100%
	3	1369	20	Kohesion 100%
	4	1342	20	Kohesion 100%
	5	1348	19	Kohesion 100%
	Medel	1360	20	
	Std.av.	37	1	
Exponerat	1	2282	50	Kohesion 100%
	2	2272	47	Kohesion 100%
	3	2295	16	Kohesion 100%
	4	2320	16	Kohesion 100%
	5	2284	15	Kohesion 100%
	Medel	2290	29	
	Std.av.	18	18	



Bilaga 2

SP-metod 5264, utgåva 3

Provning av lufttätet hos lufttätetssystem



Innehåll

1.	OMFATTNING	3
2.	ANVÄNDNINGSSOMRÅDE	3
3.	REFERENSER	3
4.	PROVUPPSTÄLLNING	3
4.1	MONTERING AV LUFTTÄTHETSSYSTEM	4
4.1.1	Montage under ideala förhållanden	5
4.1.2	Montage i kall och fuktig miljö	5
4.1.3	Montage i dammig miljö	5
5.	PROVNING	6
5.1	PROVNING	6
5.1.1	Värmebehandling	6
5.1.2	Åldring	7
5.2	REDOVISNING AV RESULTATEN	7
6.	PROVNINGSRAPPORT	8

1. Omfattning

Syftet med denna provningsmetod är att utvärdera dimensionsstabiliteten hos luttäthetssystem genom mätning av lufttätheten hos systemet. Metoden är tänkt för luttäthetssystem avsedda för byggnader med normalt tillhörande detaljer, såsom folie, tejp, prefabricerade genomföringar m m.

Provningsförfarandet är avsett att simulera de vindbelastningar som systemet kan utsättas för under byggskedet samt risker med dimensionsförändringar som kan förväntas uppstå.

2. Användningsområde

Metoden är avsedd för luttäthetssystem avsedda för byggnader med normalt tillhörande detaljer, såsom folie, tejp, prefabricerade genomföringar m m.

Provningsmetoden är avsedd för luttäthetssystem men är inte begränsad till dem. Man kan även tänka sig att metoden t ex är tillämplig på väggar med vindskyddsfolier och likande produkter.

3. Referenser

SP Rapport 2015:39 "Utveckling av metodik för verifiering av beständighet hos system för lufttäthet, etapp 1"

4. Provuppställning

Ytterväggen är uppbyggd i en stålram med måtten ca 3 x 3 m. Denna stålram gör det möjligt att i ett senare skede mäta lufttätheten. I stålramens botten finns en platsgjuten betongsula som fungerar som golv. På betongsulan monteras en träregelstomme med eventuell sylltätning från respektive systemleverantör.



Väggen består av träreglar i dimensionen 45 x 170 mm med 170 mm mineralull.

Provväggen skall minst innehålla:

- Sylltätning
- En horisontell skarv som skall ha hela provvuppställnings bredd
- En vertikal skarv som är placerad över en regel och tejpas.
- Ett fast fönster 600 x 600 mm.
- En genomföring för ventilation $\text{Ø}100\text{-}110$ mm plaströr.
- En genomföring för el $\text{Ø}16$ mm plaströr
- Anslutning av plastfolien till betongytan
- Anslutning till annat material t ex plywoodskiva eller spånskiva

Läkt (dim. 15 x 45 mm) som ersätter regler för ett installationsskikt monteras horisontellt.

4.1 Montering av lufttäthetssystem

Provning av luttätthetssystem kan utföras efter montage av luttätthetssystemet i olika miljöer.

- Montage under ideala förhållanden, normalt labbklimat.
- Montage i kall och fuktig miljö, ca 5°C 90-95 % RF
- Montage i dammig miljö



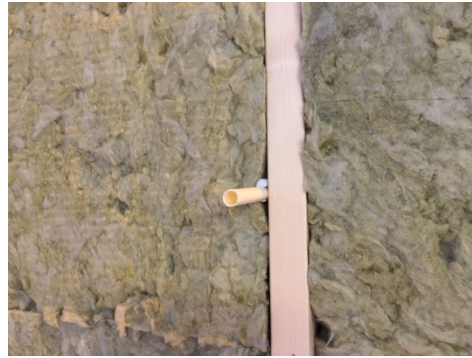
Provvuppställningen sedd från insidan före montage av läkt som ersätter regler för ett installationsskikt, endast en del av lufttätthetssystemet är monterat.



Montage av läkt som ersätter regler för ett installationsskikt, hela lufttätthetssystemet är monterat.



Montering av fönster och rör för ventilation



Montering av rör för el

4.1.1 Montage under ideala förhållanden

Vid montage under ideala förhållanden, normalt labbklimat, utförs montaget enligt tillverkarens monteringsanvisningar. Därefter utförs provningen enligt punkt 5.

4.1.2 Montage i kall och fuktig miljö

Den kalla och fuktiga miljön skapas genom att stålramen med provväggen placerats i en klimatkammare där klimatet är ca 5°C och 90-95 % RF på båda sidor om provväggen i detta klimat utförs montaget av lufttätningssystemet. Montaget utförs enligt tillverkarens monteringsanvisningar. Därefter utförs provningen enligt punkt 5.

4.1.3 Montage i dammig miljö

Montaget utförs enligt tillverkarens monteringsanvisningar. Konstgjort damm sprutats mot plastfolien direkt i anslutning till att plastfolien vikts upp.

Flertalet plastfolier på marknaden levereras dubbelvika, detta gör att folien är laddad med statiskelektricitet vid uppvikandet. Denna laddning med statiskelektricitet gör att damm mycket lätt fastnar på plastfoliens yta

Konstgjort damm tillverkats av:

- Betong som har krossats och malts samt därefter siktats till en kornstorlek av max 0,063 mm,
- Gips som har framställts genom filning på en normal gipsskiva för inomhus bruk.
- Sågspån av trä.

Dessa ingredienser blandas, 15 ml av varje ingrediens. Blandningen hålls över en tratt, se foto nedan. Tratten ansluts till en tryckluftpistol.



Tratt ansluten till tryckluftpistol och fylld med konstgjort damm



Konstgjort damm "sprutats" mot plastfolien

5. Provning

5.1 Provning

Efter montage av lufttätethetsystemets olika delar monteras en lufttät kammare mot väggens utsida. Denna kammare ansluts mot stålramen. Kammaren ansluts till en utrustning där man kan variera luftrycket för att skapa dynamisk belastning, simulering av vindlaster, av lufttätethetsystemet och mätning av lufttäthet hos provväggen.

5.1.1 Värmebehandling

Därefter sker värmebehandling av lufttätethetsystemet. Värmebehandlingen (fysikaliskåldring) utförs i syfte att få bort de från tillverkningen kvarvarande inbyggda spänningar som finns i folier och tejper.

Efter värmebehandlingen utförs på nytt mätning av lufttäthet och simulering av vindlaster samt visuell kontroll av lufttätethetsystemets olika delar.

Värmebehandlingen ska ske vid lämplig temperatur och luftfuktighet. Lämplig temperatur är den temperatur där materialens inre spänningar frigörs.

Temperatur mellan 60 till 90°C bör användas. En luftfuktighet på 50 % RF bör användas. Lämpliga toleranser är: Temperatur: $\pm 3^{\circ}\text{C}$ Luftfuktighet: $\pm 5\%$ RF

Temperaturen måste väljas med omsorg så att den är tillräckligt hög för att frigöra inre spänningar i materialen men samtidigt inte vara för hög så icke realistisk nedbrytning uppkommer.

Provningstiden bör vara minst 7 dygn.

5.1.2 Åldring

Efter inledande värmebehandlingen kan artificiell åldring av lufttätthetssystemen utföras. Detta är en kemiskåldring där termo-oxidativ nedbrytning plastmaterialen sker.

Temperatur mellan 60 till 90°C bör användas. En luftfuktighet på 50 % RF bör användas. Lämpliga toleranser är: Temperatur: $\pm 3^\circ\text{C}$ Luftfuktighet: $\pm 5\%$ RF

Temperaturen måste väljas med omsorg så att den är tillräckligt hög för att frigöra inre spänningar i materialen men samtidigt inte vara för hög så icke realistisk nedbrytning uppkommer.

5.2 Redovisning av resultaten

Som resultat av provningen anges läckage enligt tabellerna (exempel nedan) före och efter värmebehandling.

Lufttätthet vid 50 Pa

Lufttryck [Pa]	Läckage före vindlast [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]	Läckage efter vindlast [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]
50 Pa övertryck		
50 Pa undertryck		

Vindbelastning

Lufttryck [Pa]	Läckage övertryck [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]	Läckage undertryck [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]
50		
75		
100		
125		
150		

Som resultat från pilotprovningarna anges läckage enligt tabellerna ovan före och efter värmebehandling. Resultat anges i det standardiserade formatet $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. I Sverige är dock formatet $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ mera vedertaget.

Läckage vid vindbelastning kan även med fördel redovisas i diagramform.

Även eventuella synbara läckage vid visuell kontroll vid vindbelastning skall redovisas.

6. Provningsrapport

Provningsrapporten ska innehålla följande uppgifter:

- Namn och adress till laboratoriet
- Identifiering av provningsrapporten
- Namn och adress på den organisation eller den person som beställde provningen
- Syftet med provningen
- Metod för provtagning och andra omständigheter (datum och ansvarig person för provtagning)
- Namn och adress till tillverkaren eller leverantören av det provade materialet eller systemet.
- Namn hos det provade lufttätthetsystemet och ingående delkomponenter
- Beskrivning av provningsobjektet
- Datum för leverans av provningsobjektet
- Datum för provning
- Identifiering av provningsutrustning och använda instrument
- Alternativ för montage av lufttätthetsystemet
- Använd temperatur för värmebehandling
- Använd temperatur för artificiell åldring
- Eventuella avvikelser från provningsmetoden
- Provningsresultat
- Datum och signatur



Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

E2B2 genomförs i samverkan mellan IQ Samhällsbyggnad och Energimyndigheten åren 2013–2017. Läs mer på www.E2B2.se.

