

Beständighet hos lufttäthetslösningar

Peter Ylmén, Magnus Hansén, Jörgen Romild

Abstract

The aim of the project was to evaluate how the air tightness of buildings changes over time and which methods to achieve air tightness have long durability or deteriorate before the expected length of time, 50 years. The project was divided into two parts were one was laboratory test of different products with accelerated aging, and the other part were evaluation of older existing buildings. The laboratory test showed that most products still maintained their function after aging but some products considerably lost their ability to seal air through the building envelope. In the testing of existing buildings six single family houses that are between ten to twenty years old have been tested for air leakage. Test reports regarding air tightness from when the buildings where newly constructed were compared to new measurements. Three buildings had made changes to the building envelope while the other three had original structures. The results from the measurements showed that two of the tested buildings had considerably more air leakages than when they were new but that the rest had not changed .

Key words: Air tightness, leakage, durability.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2012:57

ISBN 978-91-87017-76-6

ISSN 0284-5172

Borås

Innehållsförteckning

Abstract	3
Förord	5
1 Inledning	6
2 Nedbrytningsprocesser	8
2.1 Känd materialåldring av täthetslösningar	14
3 Beständighetsprovningar	15
4 Kvalitetsmärkningar	16
5 Laboratiemätningar	18
5.1 Uppbyggnad av provningsrigg	18
5.2 Fristående prover i rummet	25
5.2.1 Tejp/band/massa	26
5.2.2 Fogar	27
5.3 Proving och mätning	27
5.4 Resultat från provningsriggen	28
5.5 Resultat från de fristående proverna	33
5.5.1 Skjuvprov vidhäftning mot LDPE-film	33
5.5.2 Draghållfasthet och brottöjning på använd luft- och ångspärr i testrummet	35
5.5.3 Dragprov vidhäftning fogmassa mot betong/trä	36
5.5.4 Sammanställning resultat från fristående prover	37
6 Fältmätningar i befintliga hus	39
6.1 Beskrivning av metod	39
6.2 Beskrivning av husen	40
6.2.1 Hus 1	40
6.2.2 Hus 2	41
6.2.3 Hus 3	42
6.2.4 Hus 4	44
6.2.5 Hus 5	45
6.2.6 Hus 6	46
6.3 Sammanfattande resultat från fältmätningar	48
7 Diskussion	49
8 Slutsatser	50
9 Fortsatta studier	51
10 Referenslista	52

Förord

Projektet ”Lufttätthet i byggprocessen, Etapp D: Beständighet hos lufttätthetslösningar” startade 2009 med medel från SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond) och CERBOF (Centrum för Energi- och Resurseffektivitet i Byggnader och Förvaltning). Rolf Jonsson, Wäst-Bygg AB stod som sökande, Pär Åhman från Sveriges Byggindustrier (BI) var projektsamordnare och representanter från FoU-Väst har varit med i projektgruppen. Projektorganisationen redovisas i bilaga 1.

I projektet har många personer deltagit med sin kompetens och sina erfarenheter, bl a kring praktiska lösningar och förutom projektgruppen vill jag även tacka:

Paula Wahlgren, Chalmers

Owe Svensson, SP

Mikael Bengtsson, SP

Thomas Henderson, SP

Förhoppningsvis kan projektet bidra till att ge ökad kunskap om hur man går tillväga för att få beständiga byggnader med bibehållen lufttätthet.

Borås 21 december 2012

Peter Ylmén

1 Inledning

Under 60- och 70-talet ändrades successivt sättet att bygga hus och byggnader i Sverige. Man började i stor skala använda glasull- mineralullsisolering i stället för exempelvis massiva träkonstruktioner.

Genom det ändrade byggnadssättet började man också använda tätningar och spärrskikt, för att hindra fukt- och luftgenomströmningar i olika konstruktioner. Olika flexibla spärrskikt och tätningar av plastmaterial introducerades och prövades på marknaden. Ett tidigt exempel på denna produktutveckling var att polyetenfilm, PE-film frekvent började användas som klimatskärm i väggar som luft- och ångspärr.

I samband med oljekrisen i början av 70-talet kom krav på att minska energiförbrukningen. Ett sätt att minska förbrukningen kunde vara att minska värmeförluster i hus, bl.a. genom att täta fönster och dörrar.

I början på 70-talet kunde man i större skala se att det nya byggnadssättet också medförde en del problem. Det kunde uppstå fuktproblem och som följd av detta olika skador på hus och byggnader. En del av dessa skador kunde man konstatera i hus tidigt efter nybyggnad. Man kunde i vissa fall se att nybyggda bestånd hade fått skador där "plasten" varit undermålig och fallit sönder, krackelerat, spruckit och orsakat skador.

Expertis fick tillfälle att närmare undersöka hus i samband med ett motorvägsbygge i Norrköping när den nya vägen skulle byggas genom staden. Flera hus skulle rivras. Man såg varierande kvalité och bristande kvalité på byggprodukter av plast här och på flera andra håll i landet. Man kunde t ex se att "plastfilmen" blivit spröd och gått sönder. Vid en rostig spik genom filmen såg man att filmen runt spiken helt hade brutits ner.

I allas intresse startades nu en omfattande utredning och vidare forskningsarbete. Statliga planverket (nu Boverket), Sveriges plastförbund SPF (plasttillverkare) och Statens Provningsanstalt (nu SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut) samarbetade. Målet med detta arbete var att få en mer jämn och varaktig kvalité på vissa utvalda byggprodukter (som första material luft- och ångspärr) och täthetslösningar. Ett resultat av detta arbete var exempelvis att Verksnormer (VN) utformades som underlag för frivillig kvalitetsmärkning och typgodkännande samt för jämnare högre kvalité på vissa byggprodukter av plast. Här hade man också som strävan och krav att material som byggs in, och inte lätt eller ekonomiskt försvarbart kunde bytas ut eller underhållas, skulle ha en livslängd på 50 år eller mer. Det man menar i Svensk bygghandel idag som åldersbeständig byggfilm och som blivit "norm" är därför en användningstid, livslängd på minst 50 år.

Ett exempel på Verksnorm var den för luft- och ångspärr av LD-polyetenfilm som också var den första [1]. Här fanns nedskrivna materialkrav och andra krav bl.a. hur spärrfilmen skulle projekteras och hur klämda skarvar, överlapp skulle utföras och krav på skarvhjälpmedel. "Skarv, inklusive skarvmaterial, ska uppfylla lägst samma krav som ställs i verksnormen på spärrskiktet speciellt vad gäller åldersbeständighet. Skarv och skarvmaterial får ej negativt påverka byggfilmens funktion och egenskaper." [2].

Ett vanligt problem idag, vid val av byggmaterial, är att man i materialspecifikationen inte har haft med sig frågan, " Hur länge är det tänkt att produkten skall fungera utan att underhålla den eller att byta ut den?".

Orsaken till att man inte haft med sig frågan kan vara flera. Det kan ha varit för dyrt, eller omöjligt att ta reda på hur länge den kan fungera. Det kan också ha saknats metoder eller kunskap för hur produkten kan utvärderas när det gäller livslängd.

En byggnads lufttätethet har mycket stor betydelse för energianvändningen i densamma. Det finns flera orsaker till detta. Den första är att en dålig lufttätethet kan medföra att det blåser in i isoleringen och minskar isolerförmågan. Den andra är att eventuell värmeåtervinning inte fungerar optimalt eftersom inte all luft kommer att gå den avsedda vägen genom värmeväxlaren utan istället genom klimatskalet. Ytterligare en anledning till att otäta byggnader har högre energianvändning är att ventilationsgraden hos byggnaden blir större för otäta byggnader, särskilt när det blåser. Dessutom höjer man ibland innetemperaturen för att kompensera för den försämrade termiska komforten.

Det finns ett antal undersökningar som visar på vikten av att bygga tätt och möjligheter till energibesparingar om byggnaden har god täthet [3]. Det har visat sig att infiltrationsförlusterna i vissa fall är större än förlusterna för den avsiktliga ventilationen och mycket större än transmissionsförlusterna. Detta kan ske när byggnaderna är mycket otäta och finns i vindutsatta lägen.

Lufttätetheten hos en byggnad skapas genom att ha lufttäta skikt med lufttäta skarvar och genomföringar. I många byggnader skapas lufttätetheten huvudsakligen genom ett flexibelt material, såsom plastfolie. Plastfolien skarvas antingen genom häftning, klämning, eller med hjälp av skarvmassa, skarvband eller tejp. Både plastfolien och skarvmaterialet åldras med tiden, vilket kan medföra att lufttätetheten hos byggnaden försämras. Detsamma gäller för skarvar och genomföringar i massiva konstruktioner. Åldringen hos materialen beror på olika faktorer såsom värme, kyla, fukt, sol (UV-strålning), syre, ozon, kemikalier och mekanisk påverkan. Dessutom kan de olika materialen som bildar det lufttäta skiktet påverka varandra, t.ex. genom vandring av mjukmedel. Kunskap om hur lufttätetheten hos en byggnad förändras med tiden är mycket efterfrågad.

2 Nedbrytningsprocesser

De flesta täthetslösningar består av polymera material. Hur det polymera materialet är uppbyggt, vad det består av, hur det är tillverkat och lagrat samt i vilken miljö den är omgiven av vid användning har avgörande betydelse för beständighet över tid. Olika typer av nedbrytningsfaktorer förekommer hos polymera material som påverkar beständighet över tid.

Exempel på nedbrytningsfaktorer:

- Temperatur
- Syre
- Fukt
- Solljus
- Luftföroreningar
- Aggressiva kemikalier
- Synergieffekter

Temperatur

Temperatur är en faktor som har både kemisk och fysikalisk effekt på polymera material. Den kemiska effekten är oftast i form av kedjebrott eller tvärbinding. Hos gummimaterialen leder nedbrytningen dels till en ökning av antalet tvärbindingar, dels till brott på molekyllängder. Den första processen orsakar en ökning av hårdheten och minskning av elasticiteten medan den senare leder till att materialet blir mjukare och förlorar sin mekaniska hållfasthet. En hög temperatur vid bearbetningen i kombination med stora skjuvkrafter leder till kedjebrott eller avspjälkning av sidogrupper. Material som har initialt varit utsatt för termisk nedbrytning har en kortare livslängd. Det förhållandet medför också att användning av recirkulerat material försämrar långtidsegenskaperna hos slutprodukten. PVC (polyvinylklorid) och PE (polyeten) är två exempel på polymerer som är särskild känsliga för bearbetningsbetingelserna.

De flesta material genomgår fasomvandlingar (mjukning, smältning) vid uppvärmning eller kylning. Vid snabba temperaturändringar (exempelvis kylning av termoplast i formen) hinner inte molekylerna att inta termodynamisk gynnsamma positioner. Följden är en långsam förändring av molekylernas anordning i materialet vilket leder bl. a. till minskad volym, högre styvhet, ändrade flytegenskaper, mm. Även måttliga temperaturer kan orsaka fysikaliska förändringar i materialet med stor betydelse för egenskaperna. Den fysikaliska åldringen är termoreversibel, vilket innebär att åldringseffekten kan elimineras genom uppvärmning tillräckligt nära glastemperaturen. En annan typ av fysikalisk åldring är avdunstning av lågmolekyllära tillsatser. Särskilt, avdunstning av mjukgörare från vissa gummityper samt från mjukgjord PVC har stor praktisk betydelse genom att göra materialen hårdare och sprödare.

En av de viktigaste fysikaliska effekterna är dimensionsändring. Allt material (med mycket få undantag) expanderar vid uppvärmning och krymper vid kylning. Vid lokala temperaturvariationer hos ett material eller pga. olika värmeutvidgningskoefficienter hos

sammansatta material uppstår inre spänningar som kan orsaka betydande mekanisk nedbrytning. Resultatet kan bli fassetparation, krackelering, delaminering eller utmattning. Ett termoplastiskt material som utsätts för belastning under lång tid deformeras genom krypning eller flytning. Processen sker med en hastighet som är proportionell mot belastningen och temperaturen.

För gummimaterial anser man rent generellt att vulkaniseringen sällan är helt avslutad då produkten lämnar bearbetningen och att man måste beakta detta faktum vid åldringsstudier. Ett gummimaterial som varit utsatt för konstant belastning under en längre tid undergår därför en irreversibel (kvarstående) deformation som sammanhänger med plastiska och viskoelastiska förändringar i materialet samt med brott på molekyllkedjor och bildning av nya tvärbindingar i det deformerade tillståndet. Effekten ökar med temperaturen, tiden och i någon mån med graden av deformation. I många fall fortsätter tvärbindningsprocessen genom hela livstiden. Materialet förlorar sin elasticitet och hårdnar tills det så småningom blir sprött.

Syre

Inverkan av syre måste tas i beaktande i alla typer av kemisk nedbrytning. Oxidation som orsakas av syre är en reaktion med fria radikaler och accelereras därför av joniserande strålning, mekanisk och termisk nedbrytning, vissa kemiska miljöer, mm. Nedbrytningshastigheten ökar också med ökad temperatur och katalyseras genom närvaro av metalljoner som till exempel koppar och krom. Reaktionshastigheten är också en funktion av syrekoncentrationen upp till en viss nivå. Vid höga syrekoncentrationer är dock reaktionen oberoende av syrgashalten. Livslängden hos ett polymert material bestäms till största delen av materialets känslighet för syreangrepp och transportprocesser av syre. Känsligheten hos polymera material mot syreangrepp har man dock sedan länge kunna kontrollera med hjälp av antioxidanter. Polymerer innehållande olefiniska dubbelbindningar oxideras mycket snabbare än polymerer utan dubbelbindningar. Defekter i polymerstrukturen har en accelererande verkan. Små mängder peroxider, syreinnehållande ämnen och föroreningar i polymererna kan påtagligt öka oxidationshastigheten. I semikristallina material är endast de amorfa delarna utsatta för syre genom diffusion medan de kristallina delarna är diffusionstäta och endast angrips på ytan.

Oxidation resulterar i strukturförändringar och ändringar av fysikaliska egenskaper sådana som kristallinitet och molekylär rörlighet. Exempelvis vid oxidationen av polyolefiner sker nedbrytning av polymeren till kortare kedjor som sedan kan lätt kristallisera. Detta medför i sin tur en ökning i densitet hos materialet. Termooxidativ nedbrytning leder till sämre mekaniska egenskaper (lägre brottöjning eller slaghållfasthet), sämre lågtemperatursegenskaper, missfärgning, högre konduktivitet, sämre isolationsegenskaper, mm. Oxidationen leder oftast till kedjebrott eller tvärbinding mellan polymerkedjor.

Fukt

I jämvikt, innehåller alla material absorberat vatten vars mängd är proportionell mot relativa fuktigheten hos atmosfären och maximalt möjlig vattenabsorption i materialet. Fukten kan delta i nedbrytningsprocesser på flera olika sätt. I vissa material som exem-

pelvis polyamider, fungerar fukten som ett mjukningsmedel och sänker draghållfasthet, krypresistens och styvhet medan slaghållfastheten ökar. Även dimensioner och elektriska egenskaper påverkas starkt av fukttinnehållet. Vatten kan också förstöra bindningar mellan polymermatrisen och fyllmedel eller armering, vilket resulterar i sprickbildning, kritning eller resning av fiber. En annan skademekanism är genom mekanisk utmattning som orsakas av upprepad adsorption och desorption av vatten. I sammansatta system kan vatten penetrera till fasgränssytor och orsaka t.ex. delaminering. Vatten kan också orsaka frostsprängning när ett material som innehåller vatten utsätts för låga temperaturer. Fukt i form av H^+ , OH^- spelar en viktig roll vid nedbrytning av polymera material. Hydroxidjoner, som bildas i fotolytiska reaktioner, deltar aktivt i fotokemiska nedbrytningsprocesser och leder till nedbrytning som är beroende av fukthalten.

Nedbrytning av polymera material kan också ske genom en direkt reaktion av polymeren eller mjukgöraren med vatten. Processen kallas hydrolys och angriper i första hand estergrupper. Ett högt eller lågt pH accelererar nedbrytningsreaktioner. Nedbrytning till följd av hydrolys är därför särskilt betydelsefullt för sådana material som termoplastisk polyester och uretanelastomerer av estertyp. Även amider, acetal, nitriler och vissa ketoner bryts ned av vatten genom hydrolys.

Vatten kan också påskynda nedbrytning av plast och gummimaterial genom sin funktion som lösningsmedel och extrahera ut stabilisatorer och andra tillsatser. I tillräcklig mängd tvättar vatten bort lösliga nedbrytningsprodukter från ytan. Om sådana nedbrytningsprodukter kan katalysera nedbrytningsprocessen har vatten en stabiliserande inverkan.

Solljuset

Solen skickar ett kontinuerligt spektrum av energi till jorden i form av elektromagnetisk strålning. Jordens atmosfär släpper dock igenom endast våglängder inom 295-1400 nm av detta spektrum. För att en kemisk reaktion skall kunna inträffa måste ljuset absorberas av materialet. Detta sker i form av ljuskvanta vars energi är omvänt proportionell mot våglängden. Generellt gäller att ultraviolett ljus (UV-ljus) som når ner till jordytan dvs. ljus inom området 290-400 nm har den största nedbrytande effekt på polymera material. Dess andel utgör dock en liten del, omkring 4-6 % av det totala solljuset. Motsvarande andel synligt ljus, 400-800 nm, är 40-50 % medan infrarött ljus (IR-ljus), 800-1400 nm, utgör resten.

Problem med fotonedbrytningen kan till största delen liknas vid problem med termooxidativ nedbrytning som har initierats med joniserande strålning. Den så kallade fotooxidationen är den mest destruktiva processen för polymera material. Reaktionen startar med fotoinitierad radikalbildning och fortsätter via en radikal kedjereaktion. Reaktioner som uppstår vid ljusexponering kan anta olika former som dissociation, omlagringar, fotojonisation, avspjälkning av sidogrupper, tvärbinding, mm.

För att ett material skall kunna växelverka med UV-ljuset måste det innehålla så kallade kromofora grupper. Det handlar oftast om peroxid-, och karbonylgrupper samt dubbelbindningar som absorberar solljuset i ett material. I många kommersiella produkter är det felaktigheter i polymerkedjor och föroreningar som är orsaken till en mycket sämre ljusbeständighet än vad man skulle kunna vänta sig på grundval av den kemiska struktu-

ren. UV-ljusets påverkan på en produkt är starkt koncentrerad till ytskiktet, varför effekten blir starkare med avtagande godstjocklek. Synliga tecken på UV-nedbrytning är sprickor på exponerade ytor, erosion och färgändring.

Man kan med relativt enkla medel väsentligt förbättra ljusbeständigheten för polymera material genom tillsatts av UV-stabilisatorer. En vanlig typ av UV-stabilisering är genom tillsatts av metaller eller pigment vilka antingen reflekterar eller absorberar UV-strålning. Vanliga pigment är för plast titandioxid (ex. för PVC) och för gummi kimrök. Skyddseffekten förbättras med avtagande partikelstorlek hos stabilisator och ökad halt. Svarta gummimaterial med tillräcklig halt kimrök är därför relativt okänsliga för UV-ljus. Nedbrytning drabbar huvudsakligen färgade gummimaterial och i synnerhet lättoxiderbara typer som naturgummi. Av plastmaterial är det framförallt ABS, acetalplast (POM) och polypropen (PP) som är känsliga för UV. De två första utnyttjas dock med framgång av bilindustrin tack vare inblandning av additiver som skyddar effektivt mot UV-strålning. Den bästa UV-beständigheten uppvisar polymetylmetakrylat (PMMA) och polymerer innehållande hög halt fluor som polyvinylidenfluorid (PVDF) och polytetrafluoreten (PTFE) medan PVC kan utgöra ett bra exempel på vilka möjligheter som finns med bra stabilisatorer. PVC har en mycket begränsat utomhusbeständighet men stabiliserat på rätt sätt fungerar materialet i många år i visa dokumenterade fall i 30 år. Många polymera material, särskilt termoplast, kräver färglösa stabilisatorer. Därför har man utvecklat organiska UV-stabilisatorer som kan tillsättas i mindre mängder och som effektivt skyddar mot UV-nedbrytning genom absorption av strålning, genom deaktivering av aktiverade grupper och exciterade kromoforer eller genom överföring av labila grupper till mer stabila.

Luftföroreningar

Luftföroreningars nedbrytande effekt på polymera material är inte så väl utforskat. De i sammanhanget viktigaste föroreningarna är SO_2 , NO_2 och O_3 men även organiska föroreningar som t ex mättade och omättade alifatiska och aromatiska kolväten kan ha en stor betydelse. En låg halt av dessa gaser finns nästan alltid i luften, uppkomna genom spontana processer i naturen, men i industritäta områden mångfaldigas halten. Omättade polymerer är i allmänhet mycket mer utsatta för nedbrytning pga. luftföroreningar än mättade polymerer. Den vetenskapliga litteraturen i ämnet är dock ganska begränsad. Det är känt att svaveldioxid orsakar tvärbindningsreaktioner hos polyeten och polypropen när de utsätts samtidigt för UV-ljus. Det har också visats att PA 66 liksom PMMA bryts ner genom inverkan av kvävedioxid medan svavelsyra kan orsaka spänningssprickbildning hos polyamider. Polyacetaler är kända för att påverkas negativt av utspädda lösningar av H_2SO_3 och H_2SO_4 vilka kan bildas när svaveldioxid löser sig i vatten. Hos polymerer som är känsliga för hydrolytisk nedbrytning, som t ex polyestrar, kan luftföroreningar ha en katalytisk effekt. Även tillsatser i polymera material kan påverkas och då särskilt fyllmedel, t ex kalciumkarbonat som används som fyllmedel kan omvandlas till kalciumsulfat som ett resultat av svaveldioxidangreppet.

Ozon

Ozon produceras kontinuerligt i jordens atmosfär genom bl. a. reaktioner till följd av solens bestrålning av syre. Även elektriska urladdningar orsakar produktion av ozon. Till

skillnad från syre varierar därför ozonets halt med väderförhållande, årstid, närhet till högspänningsinstallationer, mm. På grund av ozonets stora reaktivitet är även den i vanliga fall låga koncentrationen tillräcklig för att orsaka oxidation och sprickbildning hos polymera material. Av plastmaterial är det i första hand polyolefiner, polystyren och PVC som kan angripas av ozon. Gummimaterial som innehåller dubbelbindningar är mycket utsatta om de samtidigt befinner sig under mekanisk belastning. I obelastat tillstånd bildas ett skinn som skyddar underliggande material mot fortsatt angrepp. Om materialet utsätts för töjning eller cyklisk belastning spricker ytskiktet och ozonangreppet fortsätter in i materialet. Det yttrar sig som sprickor som löper vinkelrätt mot töjningsriktningen. Nedbrytningshastigheten ökar med temperaturen, ozonkoncentrationen och graden av töjning. Gummimaterialen kan skyddas mot ozonangrepp genom tillsatts av så kallade antiozonanter. Ytterligare skydd skapas genom inblandning av vaxer, som pga. dålig löslighet i gummimaterial svettas ut och lägger sig på ytan som ett skyddande skikt. Det finns också gummityper som ej innehåller dubbelbindningar och därigenom är ozonbeständiga.

Aggressiva kemikalier

Polymera material kommer ofta i kontakt med flytande substanser som i vissa fall kan orsaka stora egenskapsförändringar. Exempel på vanligast förekommande oorganiska substanser är: alkali, saltsyra, svavelsyra, koksalt, vägsalter och lösningar innehållande metalljoner. Bland organiska substanser kan nämnas kolväten, mineraloljor, diverse smörjmedel, organiska lösningsmedel som alkoholer, aceton, bensen, toluen etc. Flytande substanser kan påverka polymera material på olika sätt.

Kemiskt angrepp på polymerkedjor leder oftast till oxidation, kedjebrott eller tvärbinding. Kemisk beständighet hos polymerer bestäms i hög grad av typ av bindingar och kristallinitetsgrad. Exempelvis, hög kristallinitetsgrad och mycket starka kovalenta bindingar mellan kol och fluoratomer gör polytetrafluoreten (PTFE) resistent mot nästan alla kemikalier medan polykarbonat (PC) som är amorf med intermediär polaritet är känslig för de flesta lösningsmedel. Ett vanligt fenomen som orsakas av flytande kemikalier är så kallade spänningssprickbildning (spänningskorrosion) som uppträder när provet samtidigt utsätts för mekanisk spänning. Med ökad spänning och kemikaliekoncentration förstärks sprickbildningstendensen. I många fall är de inre spänningar som finns infusna i materialet efter tillverkningen, fullt tillräckliga för att åstadkomma spänningssprickor. Exempel på material som kan drabbas av fenomenet är HDPE under inverkan av ytaktiva ämnen i vattenlösningar, karbonat- och akrylplast under inverkan av starka syror och vissa lösningsmedel samt hårdgummi (ex ebonit) under inverkan av hypokloritlösningar.

Kemiskt angrepp på additiver kan omfatta mjukgörare, stabilisatorer, fyllmedel, fiberarmering, mm. I polymera produkter finns det praktiskttaget alltid strukturella inhomogeniteter (anisotropi) som orsakas dels av polymerens morfologi och dels av additiver. Detta leder till en inhomogen verkan av diffusion och kemiskt angrepp som därför ofta drabbar fasgränssytor och förstör bindingar mellan exempelvis polymermatrisen och fyllmedel eller armering. Hydrolyskänsliga additiver bryts ner av starkt sura eller alkaliska lösningar. I mjukgjord PVC kan olämpliga mjukgörare snabbt brytas ner av en alkalisk

miljö med en kraftig förstyvnad som följd. Alkali kan också deaktivera vissa stabilisatorer som används exempelvis för stabilisering av polyolefiner och på det viset avsevärt förkorta deras livslängd.

Fysikaliskt angrepp sker oftast genom extraktion av lågmolekylära komponenter eller genom svällning. Extraktion drabbar mjukgörare i mjukgjorda material som PVC och vissa gummikvaliteter samt vissa stabilisatorer. Ökande koncentration och temperatur förstärker som regel effekten. Härdplaster och gummi kan inte lösas upp pga. förnätningen. Effekten av flyttande substanser blir därför istället en svällning. Ofta är det smörjmedel som kommer i kontakt med gummi eller plastdetaljer och orsakar svällning som följer regel "lika sväller lika". Undantag från regeln finns. De vanligaste effekterna av svällning är att hårdhet, dragbrottgräns, rivhållfasthet och nötningsbeständighet minskar medan brottöjning och friktionskoefficient ökar.

Synergieffekter

En produkts livslängd bestäms av de miljöfaktorerna som inverkar under brukstiden. Oftast är det fler än en faktor som bidrar till nedbrytningen. Nedbrytningsfaktorerna kan i många fall samverka på ett sådant sätt att den totala effekten blir större än summan av de effekter som varje parameter orsakar för sig. En sådan förstärkande effekt kallas synergieffekt. Det finns många exempel på faktorer som ger synergieffekter. Mekanisk belastning orsakar ofta sprickor under inverkan av lösnings- och svällningsmedel. Även motståndsförmåga mot ozon och syreangrepp minskar kraftigt. Vissa metaller som koppar och krom är kända för att katalysera nedbrytningen av polymera material. En blandning av olika vätskor kan kraftigt påverka ett material trots att de var för sig kanske åstadkommer en ringa effekt.

När gummitätningar utsätts för varierande sammanpressningar under en längre tid kan tätningens förmåga försvinna. Detta sker ofta till följd av kemiska nedbrytningsreaktioner som leder till att tvärbindingar och långa polymerkedjor bryts. Samtidigt bildas nya tvärbindingar men i annan position så att de inte längre bidrar till den motkraft som gummitätningen förväntas ha för att kunna uppfylla sin tätande funktion.

Tillsatsmedel

De flesta kommersiella polymera material innehåller tillsatser (additiver) för att förbättra vissa egenskaper. Exempel på sådana är: stabilisatorer, smörjmedel, fyllmedel, armeringsmaterial, mjukgörare, pigment, brandskyddsmedel, antistatmedel, jäsmedel, vulkmedel, mm. Stabilisatorer blandas i materialen för att motverka termisk eller kemisk nedbrytning i samband med bearbetning och användning. Deras form skall göra det möjligt att få en homogen inblandning, utan att negativt påverka materialets mekaniska egenskaper och inte migrera ut. Stabilisatorer som uppfyller alla dessa krav är svåra att hitta. Istället varierar stabilisatorernas effektivitet kraftigt, beroende på egenskaper hos den inre och yttre omgivningen. Olika stabilisatorer kan ha olika verknings sätt i samma polymer men också samma stabilisator kan ha olika verknings sätt i så lika polymerer som polyeten och polypropen. Man väljer därför det som passar bäst för den aktuella produkten. I många fall använder man stabilisatorsystem (två eller flera ämnen) för att,

genom synergieffekter, höja effektiviteten. De viktigaste stabilisator typerna är värme-stabilisatorer, UV- stabilisatorer och antioxidanter.

2.1 Känd materialåldring av täthetslösningar

Nedan följer några exempel på täthetslösningar där man har sett problem med beständigheten mot vad man förväntade och exempel på vad som kan hända med materialet:

- Skarvband, skarvtejp, fogmassa har påverkat stabilisatorer i PE-film som extra-herats ut/migrerats ut från filmen och gjort att den brutits ned i förtid.
- PE-film har påverkat stabilisatorer i skarvband, skarvtejp, fogmassa som extra-herats ut/migrerats ut från skarvband, skarvtejp, fogmassa och gjort att dessa brutits ned i förtid.
- Inneboende spänningar vid tillverkning av de polymera produkterna gör att de ändrar form och täthetslösningen inte längre blir tät.
- PE-film har under längre tid varit i kontakt med alkalisk våt betong och gjort att filmen brutits ned i förtid (accelererat nedbrytningen).
- PE-film har under längre tid varit i kontakt med koppar, rostigt järn, krom (impregnerat trä), asfaltprodukter och gjort att filmen brutits ned i förtid. (accelererar nedbrytningen), (häftklamrar skall vara av förzinkad eller galvad typ)
- Täthetslösningar som förlorat sin initiala häftande förmåga, fått försämrad flexibilitet, förlorat sin initiala täthet när material har relaxerat eller materialet blivit utmattat eller utnött.

3 Beständighetsprovningar

Man har ofta inte erfarenhet och dokumenterade bevis för beständighet under lång tid med fullgod funktion för produkten. För att kunna göra en snabb uppskattning om livslängd försöker man ibland accelerera "åldring" av produkten. Valet av metod beror på vilket eller vilka polymera material (materialrecept) man avser att utvärdera, hur omgivningen är som den skall fungera i och hur lång livslängd som förväntas. Flera olika metoder för utvärdering av accelererade åldring kan förekomma för olika fysiska egenskaper. Alla material och produkter kan inte accelereras eller utvärderas med kända metoder.

Nedan följer några exempel på metoder för att accelerera åldring:

- Öka temperaturen - Kemiska reaktioner/förlopp går oftast snabbare om man höjer temperaturen. Man kan även cykla förloppen och variera fuktigheten och temperaturen.
- Solexponering med förhöjd intensitet - solsimuleringsutrustningar med konstgjort ljus filter med olika cykler med regn och torka och värme, kyla (wetherometer)

Exempel på polymera tätningsmaterial som man idag mycket grovt delvis kan och försöker uppskatta livslängden på genom accelererad åldring är till exempel:

- Polyolefiner som polyeten och polypropen, polyestrar (inte tvärbundna)
- Styv PVC (inte mjukgjord)
- Utvulkad EPDM
- M.fl.

Exempel på polymera tätningsmaterial där man har mindre eller liten erfarenhet, eller möjligt val, av metod för accelererad åldring:

- Silikonmaterial
- Härdplaster
- Mjukgjord PVC
- PUR
- m.fl.

Varje produkt består av en blandning av flera ingående komponenter. Den ingående specifika blandningen, lagring samt tillverkningsbetingelser har betydelse för hur länge produkten håller. Man kan inte i förväg genom att granska tekniska datablad eller recept utvärdera beständigheten för en polymer täthetsprodukt utan man måste "åldra" den naturligt eller accelererat.

4 Kvalitetsmärkningar

Idag har man frångått de tidigare Verksnormerna. SPF slutade att uppdatera Verksnormerna eftersom system inom Europa för CE-märkning av byggprodukter införts. Inom Europa vill man harmonisera sättet att deklarerat prestanda på byggprodukter på likartat sätt för att kunna jämföra byggprodukter. I och med att Sverige gick med i EU och det nya byggdirektivet började gälla kom nu harmoniserade standarder för de olika produkterna att gälla. Produktens "prestanda" redovisas och tillverkaren/distributören CE-märker sin produkt.

Samma syn på 50 års beständighet kommer i fortsättningen inte vara given som tidigare beskrivet för till exempel luft- och ångspärr i "Verksnorm 2000/2001". Samma krav på minst 50 års beständighet finns inte när det gäller luft- och ångspärr och CE-märkning.

Det finns i Sverige och andra länder frivilliga produktmärkningar med krav utöver krav enligt CE-märkning. Ett exempel är det frivilliga privata P-märket som SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut äger. Där innefattas en tredjepartskontroll av att de P-märkta produkterna och att de fortlöpande uppfyller ställda minimikrav.

För produkter som inte har harmoniserad standard eller teknisk specifikation för CE-märkning kan man fortfarande använda Boverkets nationella frivilliga T-märke. För T-märkning ställs krav mot avsedd användning och typgodkännande utges av ackrediterat certifieringsorgan t ex (SITAC/SP).

Exempel på märkningar av produkter för täthetslösningar med beständighetskrav i Sverige:

Produkt	Möjliga märkningar för användning i byggnader
Sylltätning	T-märke, CE-märke
Skarvmaterial för luft- och ångspärrar (tejp, band, massa)	T-märke, P-märke
Fogmassor	-
Fogskum	-
Drevning (svällband)	CE-märke (ETAG), T-märke
Lister	-
Svällband övrigt	-
Kragar	-

Produkt	Möjliga märkningar för användning i byggnader
Stosar	-
Skarvband övrigt	-

I den harmoniserade standarden (tekniska specifikationen) eller i produktcertifieringsregeln finns beskrivna metoder för accelererad åldring och utvärdering (OBS! varierande krav på livslängd och funktion).

Gällande utgivna produktcertifikat kan bl.a. ses på länk www.sitac.se för godkända produkter för täthetslösningar med **T**-märke, **P**-märke utgivet av SITAC/SP.

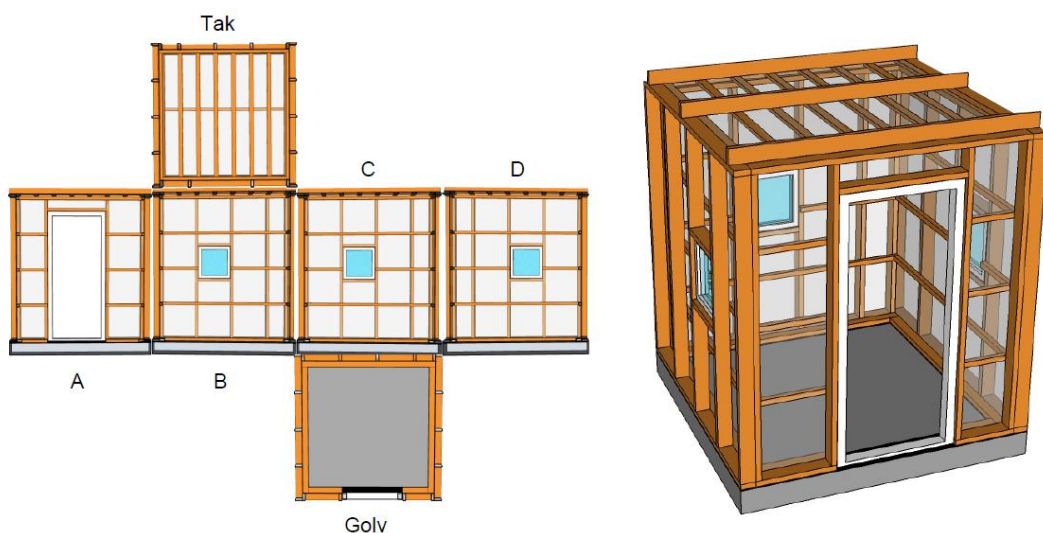
Många produkter för täthetslösningar saknar dokument som styrker livslängden med bibehållen funktion i dess avsedda användning.

5 Laboratoriemätningar

I projektet har det inte hittats litteratur som beskriver beständighetsprovningar för hur de olika byggnadsmaterialen påverkar varandra. Det har därför varit nödvändigt att ta fram en ny provningsmetod. Eftersom täthetsmaterial befinner sig inuti byggnadskonstruktionen är de förhållandevis skyddade mot luftföroreningar och solljus när byggnaden väl är färdig och dessa parametrar förväntas ha en försumbar inverkan på nedbrytningen av produkterna. Däremot kommer fukthalten att variera eftersom den relativa luftfuktigheten kommer att variera inomhus och utomhus över året. Som parametrar för den accelererade åldringen valdes därför att ha en ökad temperatur och en varierad luftfuktighet. För att få en skala som liknar verkliga byggnader samt kunna mäta så många materialkombinationer som möjligt valdes att bygga en provningsrigg som det gick att styra fukt och temperatur i.

5.1 Uppbyggnad av provningsrigg

Det är vanligt att man vid beständighetsprovningar testar mindre bitar av material och sedan utvärderar fysikaliska egenskaper som till exempel draghållfasthet. I den här provningen byggdes det upp ett rum som var 2,2 m långt och brett samt 2,4 m högt, se Figur 1, och de olika täthetslösningarna monterades därmed som de skulle i en verklig byggnad. Då har materialen en realistisk längd och mängd samt utsätts för rörelser som liknar de i riktiga byggnader.

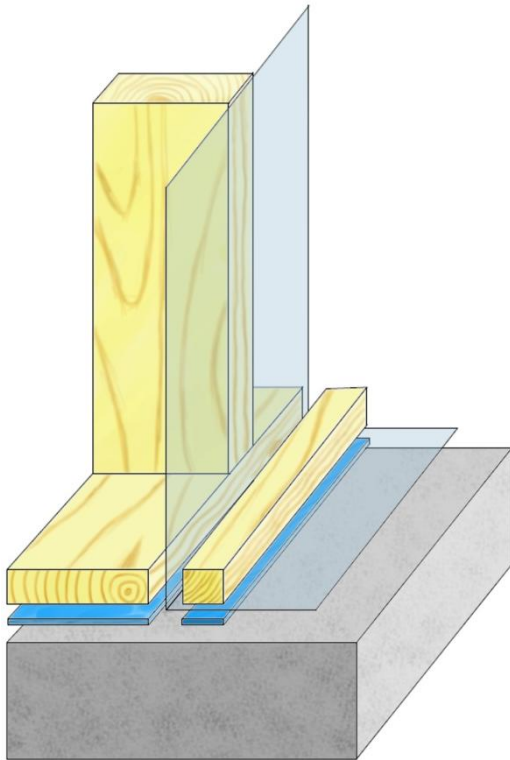


Figur 1. Principskiss för hur provningsriggen var uppbyggd.

Olika metoder för att skarva plastfolie, avsluta plastfolie mot betonggolv/betongkonstruktioner samt vid fönster/dörrar, dvs. olika varianter av tejpning, fogning, klämning, sylttätning är prioriterat att utvärdera eftersom dessa är frekvent förekommande lösningar och där generella brister i dessa tätningar i hög grad kan bidra

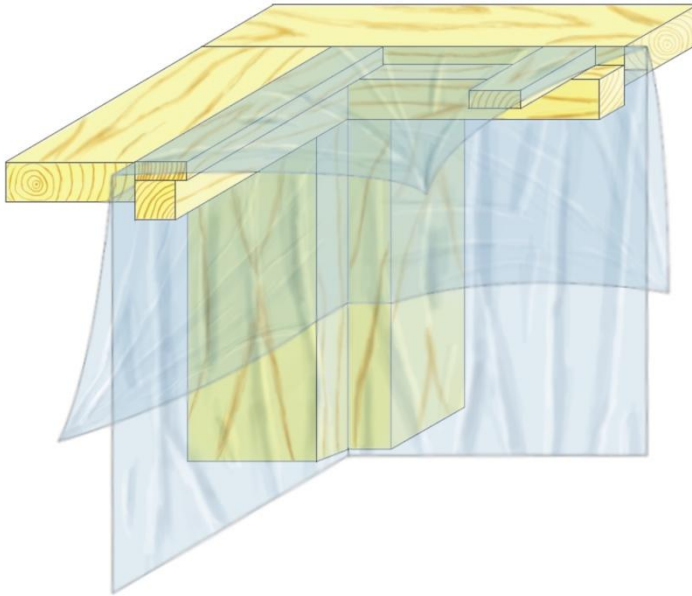
till en totalt sett dålig lufttätethet i en byggnad. Vid urvalet av tätningsprodukter gjordes en översiktlig undersökning av vilka olika produkter som finns tillgängliga i Sverige. Sedan utfördes intervjuer med täthetsprovare och representanter från Skanska, NCC och Wäst Bygg för att fråga vilka av lösningarna som de ansåg vara vanligast. Detta kompletterades med information från byggplatsbesök. Utifrån detta valdes material där tillverkarna någonstans i sin produktinformation angav att produktens användningsområde kan vara tätning på ett sådant sätt som utfördes i provningsriggen. Produktinformationen ska även ange att materialen är temperaturbeständiga vid den temperaturen som de utsattes för i provningen (80 °C).

Stommen bestod av träreglar som isolerades med glasull. Väggen tätades med en plastfolie av polyetylen. Skarvarna tejpades med tejp av polyetylen. Golvet består av platsgjuten betong som fick torka ut ca 2 dygn innan väggarna monterades. Vid syllen klämdes plasten mellan den inre och yttre syllen och veks in under den inre syllen. Mellan betongplattan och plasten lades en syllisolering eller fogmassa, se Figur 2.



Figur 2. Lufttätning vid syllen. I vägg A och B användes fogmassa istället för syllisolering under den inre syllen.

Vid takvinkel drogs takplasten ner bakom väggplasten med en halv meters överlapp. Folieskarven tejpades vid hammarbandet och klämdes sedan med gles och inre väggreglar, se Figur 3. På de olika väggarna A till D, se Figur 1, används därefter olika täthetslösningar.

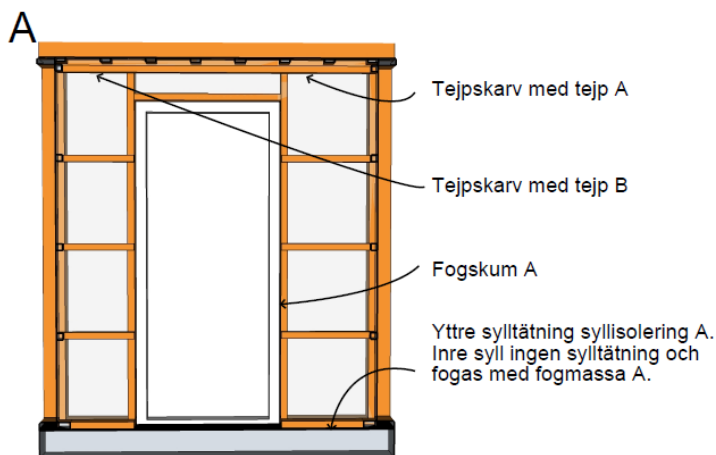


Figur 3. Tätning vid takvinkeln. Plastfolien i taket viks ner längs väggen och plastfolien i väggen monteras ovanpå. Foleskarven tejsas längs med hammarbandet och kläms sedan med glas och inre väggreglar.

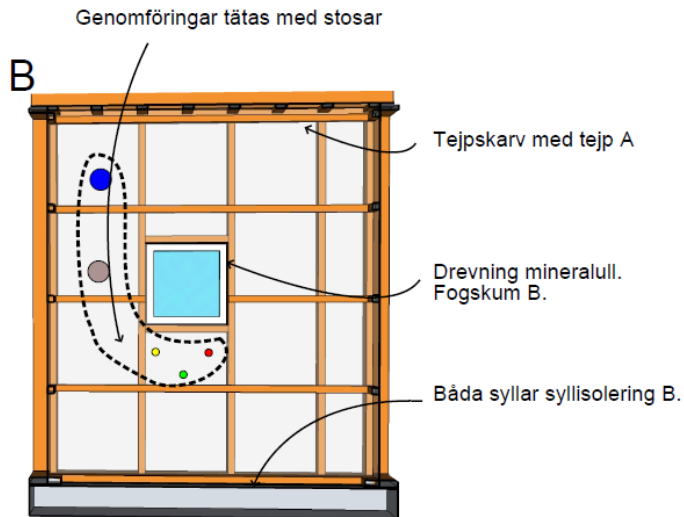
Tätthetslösningar som testats redovisas i Figur 4 till Figur 7. I Tabell 1 är de olika materialen beskrivna mer ingående.

I vägg B till D monterades rör för att testa tätthetslösningar för genomföringar. De rör som användes var:

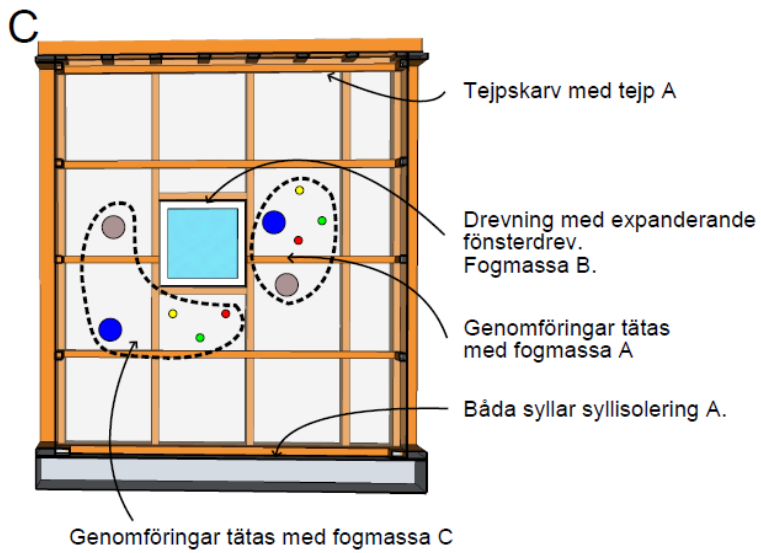
- förzinkad ventilationskanal, gråmarkerad i Figur 5 till Figur 7.
- PVC-fria tomrör för el, rödmarkerad i Figur 5 till Figur 7.
- PEX-rör, används bl.a. i värmesystem. Grönmarkerad i Figur 5 till Figur 7.
- PP-rör, används i värmesystem och avlopp. Blåmarkerad i Figur 5 till Figur 7.
- kopparrör, som är intressant rent kemiskt men som oftast kläs in med t ex isole-ring. Gulmarkerad i Figur 5 till Figur 7.



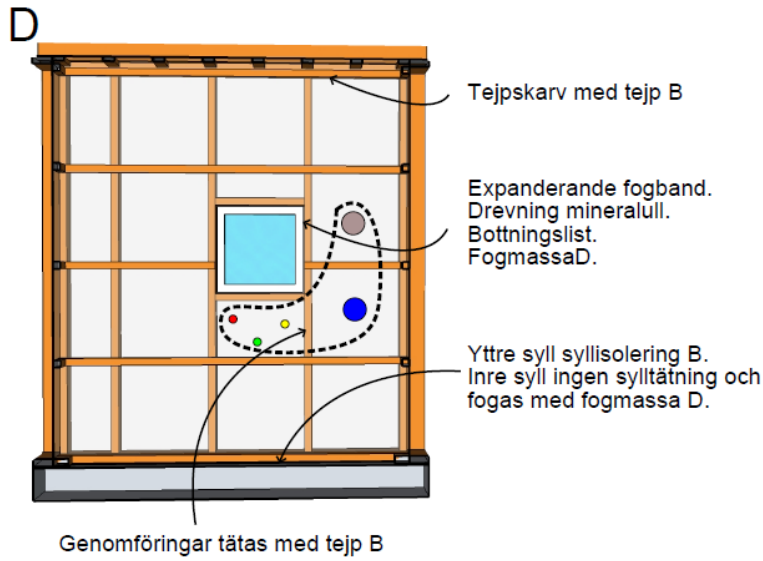
Figur 4. Tätthetslösningar för vägg A.



Figur 5. Täthetslösningar för vägg B.



Figur 6. Täthetslösning för vägg C.



Figur 7. Täthetslösningar för vägg D.

I provningsriggen fanns tre fönster och en dörr. Varje dörr eller fönster hade en unik lösning för lufttätet. Figur 8 visar hur en tätning kunde se ut, i detta fall för fönstret i vägg D.



Figur 8. Tätning mellan väggregel och fönsterkarm för vägg D. Utifrån och in (vänster till höger) är det expanderande fogband, drevning, bottningslist och fogmassa.

Det finns olika lösningar för hur man ansluter plastfolien kring fönstret. För provningen valdes att klistra fast folien i regeln kring fönstret med dubbelhäftande klisterremsa (butylband), se Figur 9. På så sätt skyddades inte tätningen mellan fönsterkarm och vägg av plastfolien.



Figur 9. Plastfolien fästes i reglarna kring fönstren med klisterremsa av butyl.

Tabell 1. De olika material som används i provningsriggen.

Beteckning rapport	Användningsområde	Innehåll
Betong	Golvplatta	Portland cement (EG/CASnr: 65997-15-1). Sand (EG/CASnr: 14808-60-7).
Bottningslist	Används vid fogning runt dörrar och fönster.	Skummad polyetylen med slutna celler.
Butylband	Starkt klistrande tätningsband för skarvning av luft- och ångspärrar samt tätning i anslutning till andra material i byggnaden (betong, trä och stål).	Butylgummi.
Expanderande drev	Tätning mellan karm och vägg vid montering av fönster och dörrar. Samt vid rörelsefogar och utfacknings väggar.	Skumplast av polyuretan. Bitumen (EG/CASnr: 8052-42-4). Vatten (EG/CASnr: 7732-18-5). Nafta (petroleum), väteavsvavlade tung (EG/CASnr: 64742-82-1) .
Expanderande fogband	Självhäftande, används vid tätning runt dörrar och fönster.	Polyuretanskum, impregnerat med akryldispersion.
Fogmassa A	Avsedd för skarvar i ångspärr av polyeten, genomföringar m.m. Avsedd för tätning av skarvar och anslutningar till eldosor, ventilationsdon och dyl. Har god vidhäftning mot plastfilmer, trä, betong och stål.	Butyl.

Beteckning rapport	Användningsområde	Innehåll
Fogmassa B	För anslutnings- och rörelsefogar mellan porösa och fasta material som anslutningar runt dörrar och fönster, balkongbalustrader, fasad- och takbeklädnader och många andra fogar där tätning med rörelsefog krävs. Lämplig till användning både inom- och utomhus.	Silanpolyuretanpolymer. Krita. Diisodecylftalat. Medeltung mineralolja.
Fogmassa C	Vidhäftning både mot betong och plast för lufttäta skarvar och genomföringar vid montering av byggfolie.	Nafta (petroleum), väteavsvavlade tung (EG/CASnr: 64742-82-1). Polyisobutylen (EG/CASnr: 9003-27-4).
Fogmassa D	Kan användas till betong, mursten, lättbetong, lättklinkerbetong, trä, kryssfäner, spånskivor, OSB-skivor, hård PVC och polyester. Vid lätta konstruktioner uppbyggda av träbaserat material utförs tätningen mellan de enskilda elementen som en limfog. Inte lämplig för betong, där det finns risk för fuktpåverkan.	Fukthärdande MS polymer
Fogskum A	För montering, drevning och isolering runt dörr- och fönsterkarmar, runt utfackningspartier, tätning under syll, mellan cellplast- och betongelement. Vidhäftning mot praktiskt taget alla material, även mot fuktiga ytor	4,4'-Metylendifenyl-diisocyanat (EG/CASnr: 202-966-0). Dimetyleter (EG/CASnr: 204-065-8). Isobutan (EG/CASnr: 200-857-2). Propan (EG/CASnr: 200-827-9).
Fogskum B	Expanderande fogskum som används bl. a. till utfackningspartier och isolering mellan syll och bottenplatta, omkring fönster och dörrar samt på ställen där isolerande utfyllning är nödvändig, dvs. ej för rörelseupptagande fogar.	Difenylmetandiisocyanat, isomerer och homologer (EG/CASnr: 9016-87-9). Dimetyleter (EG/CASnr: 115-10-6). Triklorpropylfosfat. Prepolymer.
Glasull	Isolering	Glasfiber (syntetiska oorganiska glasartade silikatfibrer). Bakelit – härdad ureamodifierat fenol-formaldehydharts. Mineralolja.
Kopparrör	Värmesystem	Koppar
PEX-rör	Värmesystem (vatten)	Polyeten. Antioxidant, UV-stabilisator. Färgpigment (ej kadmiumhaltiga).

Beteckning rapport	Användningsområde	Innehåll
Plastfolie	Luft- och diffusionsspärr	Polyeten (LD-PE). Stabilisatorer för UV- /åldringsbeständighet.
PP-rör	Avloppsrör	Polypropen copolymer. Antioxidant, UV-stabilisator. Färgpigment (ej kadmiumhaltiga).
Stos	Tätning av genomföringar	EPDM-duk med akryltejp.
Syllisolering A	Tätning mellan syll och grund	Extruderad polyetenremsa med längsgående kammar på en sida.
Syllisolering B	Tätning mellan syll och grund samt mellan blockelement	Cellgummilist med slutna celler, applicerad till polyetenfolie.
Tejp A	Har brett användningsområde och används ofta för att tejpa skarvar på LDPE-folier i konstruktioner och husbyggnader.	PE-film med akrylbaserat lim.
Tejp B	Enkelhäftande tejp för tätning av kanter och genomföringar men även skarvning och lagning av plastfolie och vindskydd. Klarar omlott tejping.	Tejp med akrylhäftämnet på en LDPE-film.
Trä	Konstruktionsmaterial	Trä
Ventilationskanal	Ventilation	Förzinkad plåtkanal
VP-rör	Tomrör för eldragningar	Polyphenylene oxid. Polystyren.

5.2 Fristående prover i rummet

Inuti provriggen placerades provbitar av de olika tätningsprodukterna för att kunna utföra drag- och skjuvprov efter åldringen. Provkroppar tillverkades som skarvar av samma typ och material med dimensioner om cirka 30x40 cm storlek samt fogar 12x12x50 mm.

Tabell 2. Produkter som testades med fristående prover i rummet.

Nr.	Produkt	Beskrivning	Testtyp	Utvärdering
1	Tejp A	Enkelhäftande tejp	Filmskarv	Skjuvprov

Nr.	Produkt	Beskrivning	Testtyp	Utvärdering
2	Tejp B	Enkelhäftande tejp	Filmskarv	Skjuvprov
3	Stos	Gummistos med enkelhäftande tejp	Filmskarv	Skjuvprov
4	Butylband	Dubbelhäftande band av butylgummi	Filmskarv	Skjuvprov
5	Fogmassa A	Butyltätmassa i tub	Filmskarv	Skjuvprov
6	Fogmassa B	Silanpolyuretanpolymer	Betong mot betongfog	Dragprov
7	Fogmassa D	Fukthärdande MS polymer	Trä mot träfog	Dragprov
8	Fogskum A	Fukthärdande polyuretan-skum	Trä mot träfog	Dragprov

För att tillverka tejp/filmskarvarna användes luft- och ångspärr, (som också användes monterad i testrummet), åldersbeständig byggfilm med nominell tjocklek 0,12 mm. Filmen är P-märkt.

Tillverkade skarvar har, i provbitar om cirka 30x40 cm storlek samt fogar 12x12x50 mm, placerats löst i testrummet (med ca 80°C) och exponerats för att kunna utvärderas i dragprovare och jämföras med referensprov (0-prov). Efter exponering drag- eller skjuvprovades skarvarna/fogarna. Konditioneringen innan drag/skjuvprov samt drag/skjuvprov utfördes i konstantrum 23±2°C och 50±5% RF. Drag/skjuvprov utfördes den 7-8 november 2012.

5.2.1 Tejp/band/massa

Utvärderingen av tejskarvar, tejp mot film utfördes enligt SP-metod 1380 utgåva 3 för materialen 1-5. Skjuvprov på skarv utfördes enligt punkt 5.5. Skarvarna tillverkades enligt 5.3.3 för materialen 1-3, enligt 5.3.1 för materialet 4 samt enligt 5.3.2 för materialet 5. Skjuvprovet utfördes i dragprovare med 20 mm breda remsor, 100 mm inspänning, 0,5 N förlast. Dragastigheten var 5 mm/min till 3 mm töjning. Efter 3 mm skjuvning stannades maskinen 1 minut för att kontrollera eventuellt brott/läckage. Motsvarande 3 mm rörelse vid 100 mm inspänning (3 %). Därefter fortsatte skjuvprovningen till brott i 50 mm/min, om brottet inte skett tidigare. Fem provkroppar av varje material användes.

5.2.2 Fogar

Utvärderingen av fogmassorna/fogskummet utfördes enligt SP-metod 4372 utgåva 2.3 för materialen 6-8. Fogarna tillverkades enligt SP-metod 4372. Dragprovet utfördes i dragprovare med draghastigheten 5 mm/min, 0,5 N förlast. Efter 3 mm skjuvning stannades maskinen 1 minut för att kontrollera eventuellt brott/läckage. Motsvarande 3 mm rörelse i fogen (25 %). Fogmått 12x12x50 mm. Därefter fortsatte dragprovningen med 50 mm/min till brott, om brottet inte skett tidigare. Fem provkroppar av varje material användes.

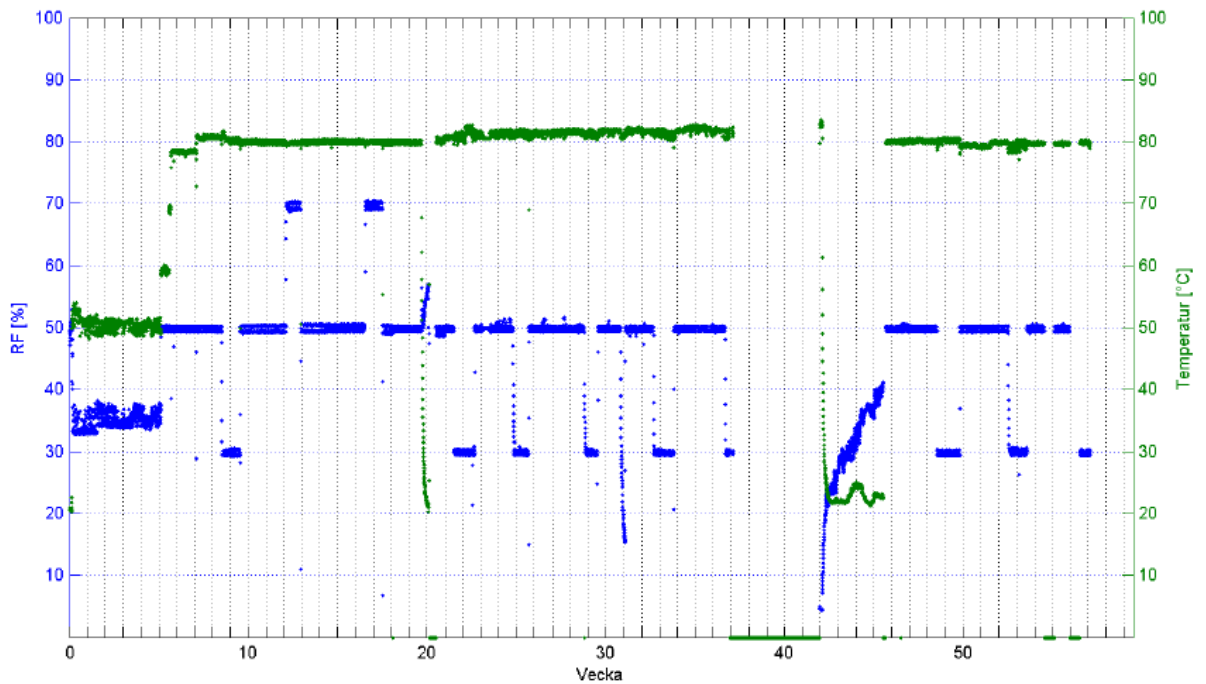
5.3 Provning och mätning

Som tidshorisont för beständighet valdes minimum 50 år. Det innebär 12 månader med en temperatur 80 °C vid ca 50 % RF. Med antagandet att 10°C i temperaturökning resulterar i en fördubbling av accelerationshastigheten ger att, 365 dagar i 80°C, grovt motsvarar en termooxidativ nedbrytning av materialet i 50 år vid en användningstemperatur på 20°C. En vecka i månaden sänktes fuktigheten till ca 30 % för att simulera fukthalt inomhus under vintern. Uppvärmning skedde med två bastuaggregat och det gjordes ett hål för svag ventilation av rummet så att emissioner från materialen kunde vädras bort. Temperatur och fuktighet loggades kontinuerligt med givare placerade mitt i rummet. För att få ordentlig blandning av luften och minska temperaturskiftningar i rummet monterades en fläkt invändigt. Innan den accelererade åldringen startades utfördes en provtryckning av rummet för att se vilket luftläckage det hade inuti. Vid uppstart av provningen höjdes temperaturen stegvis för att frigöra spänningar i material. Första veckan då test av utrustning och inställningar utfördes var det 50 °C. Sedan höjdes den enligt Figur 10.

Under provningens gång utfördes okulära undersökningar för att få en uppfattning om hur materialen påverkades över tiden.

Det skedde provtryckning efter åldringen för att se hur lufttäteten påverkats. I samband med provtryckningarna skedde läckagesökning med lufthastighetsgivare för att se var de olika läckagen fanns.

Under den accelererade åldringen hölls ett klimat enligt Figur 10. Där värdena är noll saknas loggningsvärden på grund av loggningssystemet var trasigt. Dock erhöles ett klimat liknande de föregående veckorna. Vecka 42-45 var utrustningen för befuktning trasig och provningsriggen hade då normalt inomhusklimat. Vecka 12 och 16 höjdes den relativa fuktigheten till 70 % istället för att sänkas till 30 % på grund av den mänskliga faktorn. Dessa avvikelser antas dock ha försumbar inverkan på slutresultatet.



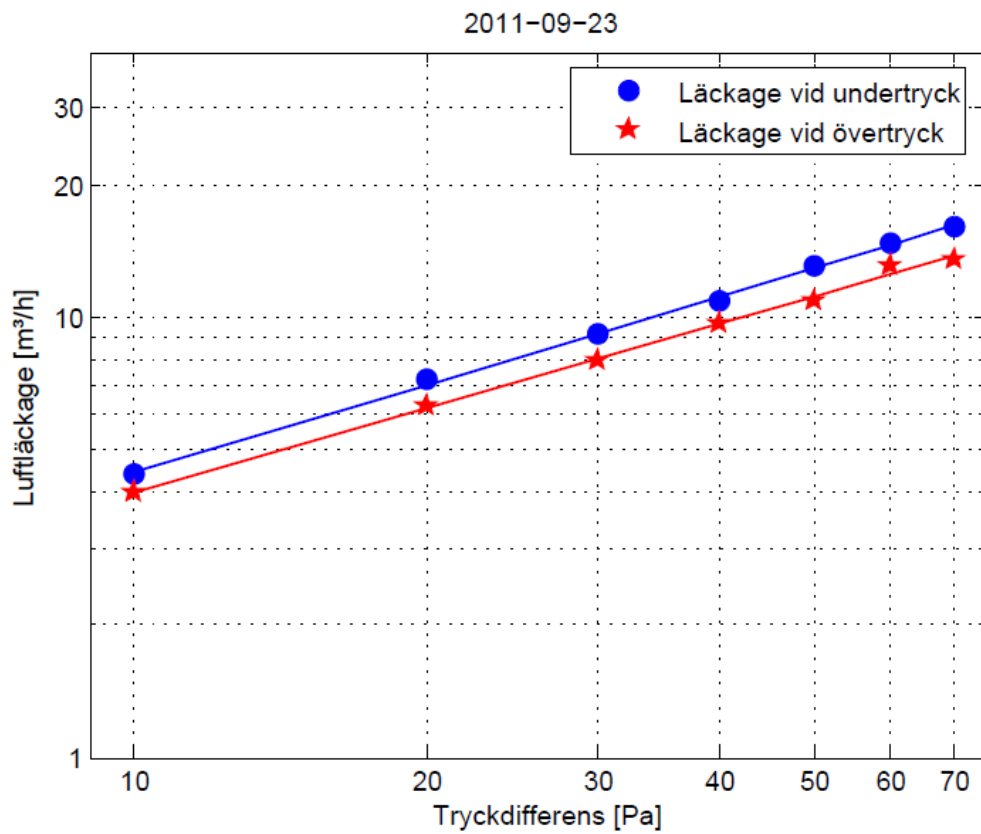
Figur 10. Temperatur och relativ fuktighet i provningsriggen under den accelererade åldringen. Blåa punkter är den relativa luftfuktigheten och de gröna punkterna är lufttemperaturen.

Vid avslutad provning av provningsriggen plockades den isär så att mindre prover av de olika täthetslösningarna kunde skäras ut och utvärderas okulärt huruvida materialen är opåverkade efter provningen motsvarande 50 år, dvs. att materialen inte brutits ner/brutit ner varandra samt att de fortfarande sitter kvar och ej med lätthet kan lossas från varandra och från underlaget. Det man kan utvärdera är:

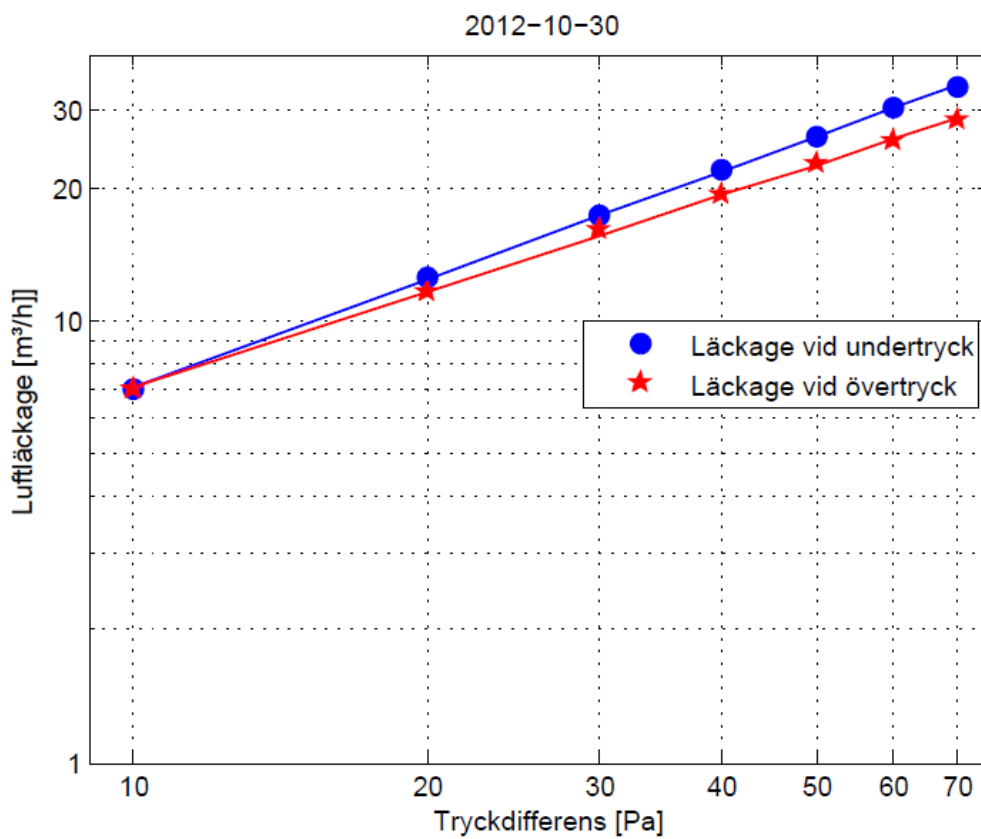
- Materialet sitter kvar, dvs. det har inte lösts upp.
- Har elasticitet kraftigt försämrats så att materialet spruckit och/eller släppt från kringliggande material.
- Har det krympt så att det bildats otätheter.

5.4 Resultat från provningsriggen

Vid provtryckning före och efter åldringen erhöles luftläckage enligt Figur 11 och Figur 12. Luftläckaget över klimatskalet vid 50 Pa tryckskillnad beräknades enligt standard EN 13829 och var 0,11 l/(sm²) före åldring och 0,22 l/(sm²) efter åldringen.

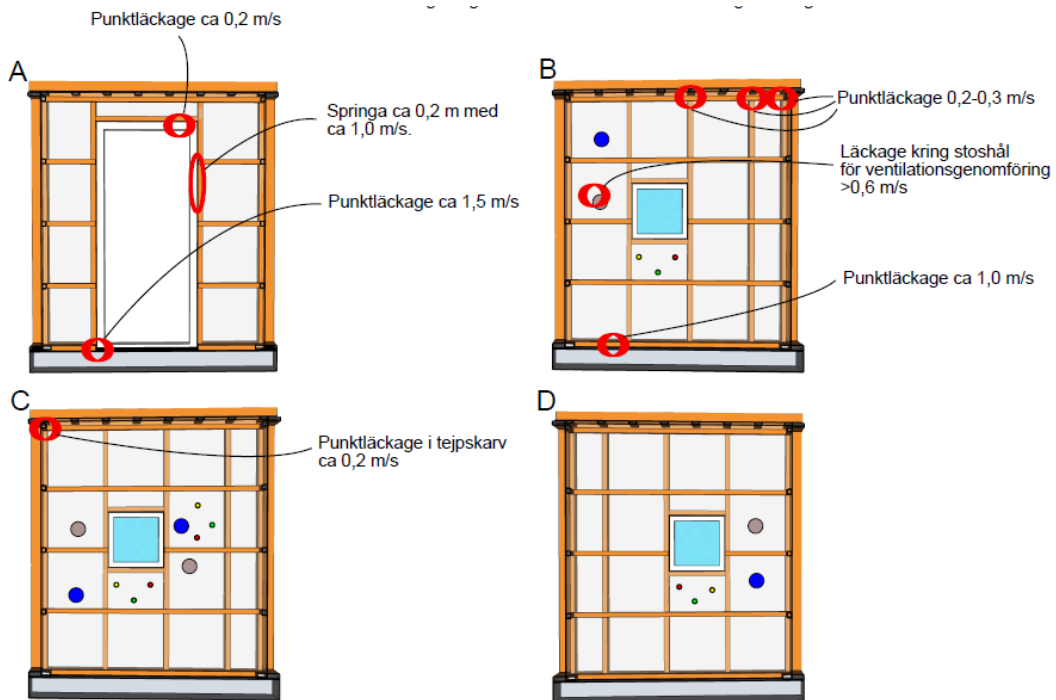


Figur 11. Mätvärden vid provtryckning innan accelererad åldring genomförts.

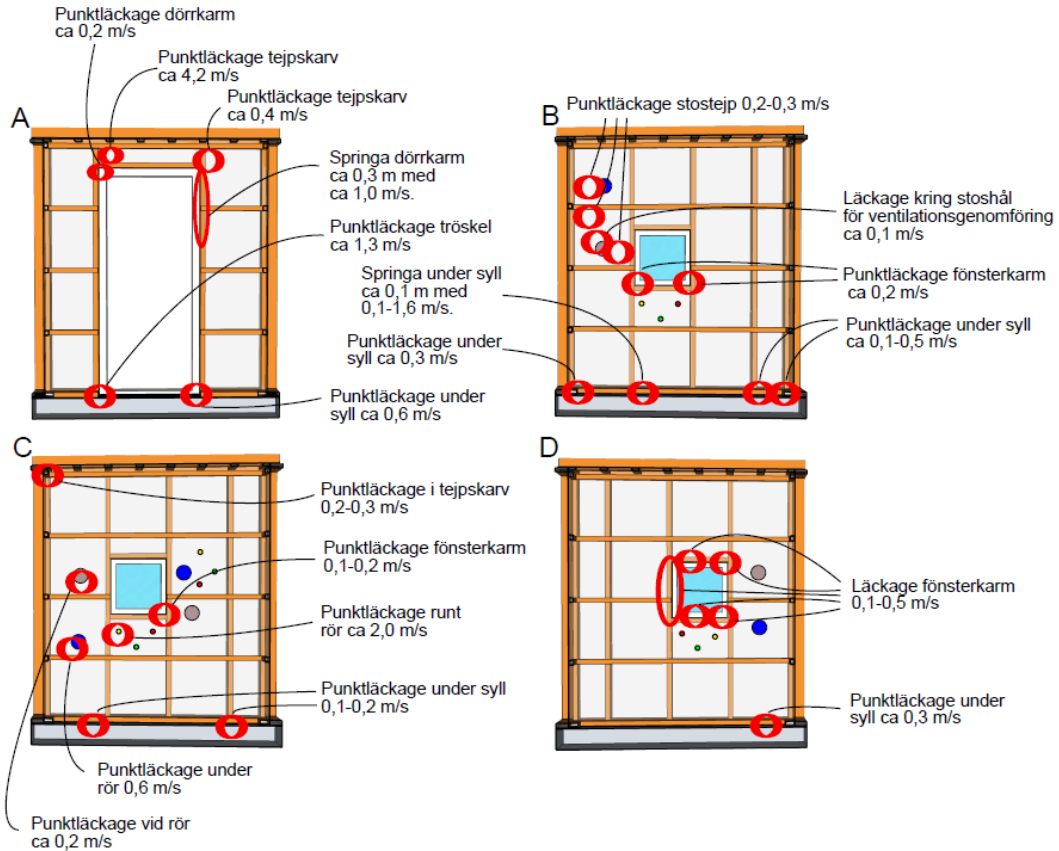


Figur 12. Mätvärden vid provtryckning efter att accelererad åldring utförts.

De luftläckage som observerades finns redovisade i Figur 13 och Figur 14.



Figur 13. Luftläckage innan den accelererade åldringen.



Figur 14. Luftläckage efter den accelererade åldringen.

Merparten av lösningarna har bibehållit sin lufttätethet efter åldringen motsvarande 50 år. Lösningar som främst medfört att tätheten försämrats är tejp A, tejp B, stostejp, syllisolering B samt fogmassor C och D. Att lösningar med de aktuella tejperna på plast blir otäta beror på att det bildats kanaler i tejpens som troligtvis uppkommer då tejpens och plasten drar ihop sig olika mycket, se Figur 15 och Figur 16. Liknade fenomen sker med den ena syllisoleringen som består av gummilister som är limmade på en plastremsa, se Figur 16. Tejpskarvarna i takvinkeln hade liknande kanaler som tejpens på övriga ställen men det blev inte samma läckage eftersom skarven i takvinkeln klämdes med träreglar.

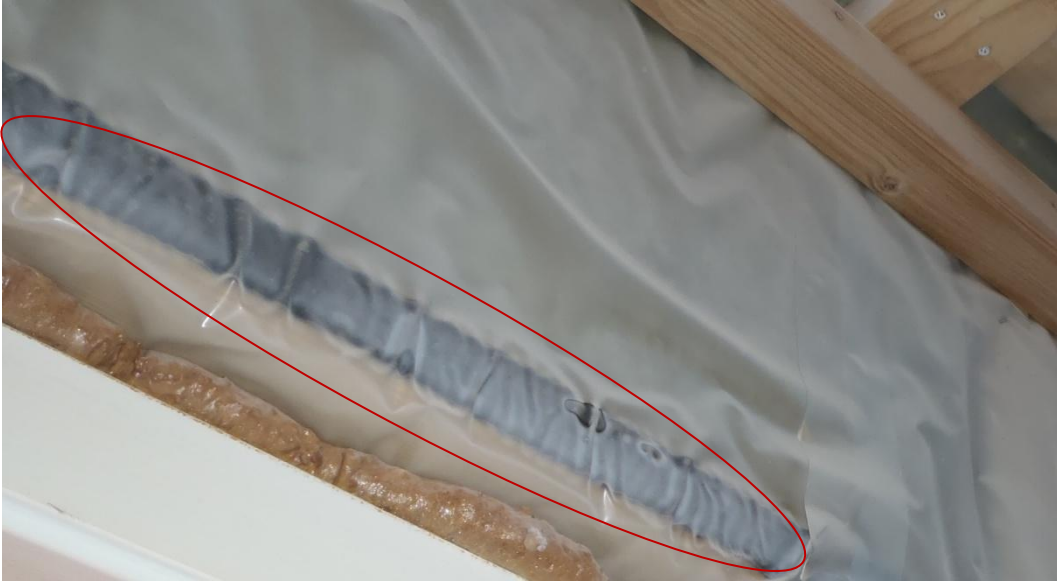


Figur 15. I tejskarven bildas luftkanaler



Figur 16. Luftkanaler i stostejp (t.v.) och syllisolering (t.h.).

Det är värt att nämna att den butylremsan som användes i detta försök också veckade sig ihop med plasten men den fäster starkt mot plasten och det bildas inga luftkanaler, se Figur 17.



Figur 17. Butylremsan har dragit ihop sig likt tejpna men är fortfarande lufttät.

Avseende fogmassorna som användes i detta försök hade de som förblev täta härdat homogent och var fasta medan de otäta fogmassorna hade härdat ojämnt med en del hårdare partier medan andra delar var mjuka. Det kan vara så att de otäta fogmassorna inte härdat tillräckligt snabbt och därmed inte blir tillräckligt hårda så när byggnadsdelarna rör på sig spricker fogmassorna, se Figur 18. Utifrån proverna verkar det inte visuellt som att täthetslösningarna har påverkats kemiskt av de olika byggnadsmaterialen som trä, betong, karmfärg och genomföringarna utan att de otätheter som uppstår beror på kemin i produkterna själva eller mekaniska faktorer som materialrörelse och olika förmåga till krympning (dimensionsstabilitet). Resultatet från av samtliga prover finns redovisat i bilaga 2.



Figur 18. Fogmassa kring fönster.

Under provningen kontrollerades vad som skedde med materialen ca 1 gång i månaden. Där kunde man se de kanaler och sprickor som bildats redan efter en till tre månader. Dock inte syllisoleringen eftersom den var dold i konstruktionen. Bland de testade produkterna skedde alltså en försämring av lufttäteten innan en åldring motsvarande 50 år eller inte alls. En till tre månader med den aktuella accelererade provningen motsvara ca 4-13 år. Däremot observerades att kanaler och sprickor blev gradvis större ju längre åldringen pågick.

5.5 Resultat från de fristående proverna

5.5.1 Skjuvprov vidhäftning mot LDPE-film

I Tabell 3 till Tabell 7 redovisas resultaten från provning av material 1-5 (se Tabell 2) enligt standardiserad provningsmetod.

Tabell 3 . Provresultat för Tejp A.

Tejp A	[N/m]		[mm]	Brottyp	Tät vid 3 mm töjning
Skjuvkraft före åldring	1310 (22)	Töjning vid max skjuvkraft	37 (4,9)	Adhesion 100 %	Tät
Skjuvkraft efter åldring	1590 (52)	Töjning vid max skjuvkraft	106 (49)	Adhesion 100 %	Tät

(Standardavvikelse inom parantes), 3 mm töjning motsvarar 3 % töjning från inspänningslängd 100mm.

Tabell 4. Provresultat för Tejp B.

Tejp B	[N/m]		[mm]	Brotttyp	Tät vid 3 mm töjning
Skjuvkraft före åldring	1200 (19)	Töjning vid max skjuvkraft	10 (0,5)	Adhesion 60 %, brott i tejp 40 %	Tät
Skjuvkraft efter åldring	1370 (22)	Töjning vid max skjuvkraft	15 (3,8)	Adhesion 90 %, brott i tejp 10 %	Tät

Efter åldring har tejpens gulnat.

Tabell 5. Provresultat för Gummistos.

Gummistos med tejp	[N/m]		[mm]	Brotttyp	Tät vid 3 mm töjning
Skjuvkraft före åldring	1350* (58)	Töjning vid max skjuvkraft	30* (5,3)	Brott i tejp 80 %, adhesion mot film 20 %	Tät*
Skjuvkraft efter åldring	1410* (58)	Töjning vid max skjuvkraft	11* (1,8)	Adhesion 60 % mot film, brott i tejp 40 %	Tät*

*Prover uttagna endast på de ställen där inte kanaler bildats.

Vid åldring av stosen bildades flera luftkanaler mellan plastfilm och tejpens. Det förekom även mindre luftkanaler mellan tejpens och gummiduken. Efter åldring kan man känna för hand att tejpens förlorat sin flexibilitet. Töjningsegenskapen har försämrats betydligt i bärmaterialet. Detta ses också i nedgången på töjning vid max skjuvkraft efter åldring. Gummiduken känns för hand ha kvar sin flexibilitet, töjningsförmåga med tillbakagång (gummi) efter åldring. Tejpens har gulnat efter åldring, mest på klistersidan.

Tabell 6. Provresultat för Butylband.

Butylband	[N/m]		[mm]	Brotttyp	Tät vid 3 mm töjning
Skjuvkraft före åldring	1050 (24)	Töjning vid max skjuvkraft	16 (1,4)	Kombinerat adhesion/kohesionsbrott, massan töjer sig	Tät
Skjuvkraft efter åldring	1250 (67)	Töjning vid max skjuvkraft	31 (5,3)	Kombinerat adhesion/kohesionsbrott, massan töjer sig	Tät

Massan i butylbandet fortfarande flexibel efter åldring men har blivit något "stummar".

Tabell 7. Fogmassa A.

Fogmassa A	[N/m]		[mm]	Brotttyp	Tät vid 3 mm töjning
Skjuvkraft före åldring (200mm/min)	1830 (40)	Töjning vid max skjuvkraft	384 (24)	Kombinerat adhesion/kohesionsbrott, massan töjer sig	Tät
Skjuvkraft efter åldring (200mm/min)	1810 (49)	Töjning vid max skjuvkraft	395 (34)	Kombinerat adhesion/kohesionsbrott, massan töjer sig	Tät

Tätmassan är fortfarande flexibel efter åldring.

5.5.2 Draghållfasthet och brottöjning på använd luft- och ångspärr i testrummet

Draghållfasthet och brottöjning bestämdes enligt standard ISO 527-3:1995 *Plastics – Determination of tensile properties – Part: 3 Test conditions for films and sheets*. Universalprovningstrustning Zwick Z100, Inv. nr. 300874 användes med kraftklass 0,5 ISO 7500-1:2004 och töjning klass 0,5 enligt standard ISO 9513:1999. Provkroppens bredd var 15 mm. Tjockleken mättes på tre ställen, endast medeltjockleken anges. Töjningen mättes mellan klämmorna.

Draghastighet: 500 mm/min
 Inspänningslängd: 100 mm
 Förlast: 2 N

Tabell 8. 0,12 mm film Maskinriktningen

5 Provkroppar	Draghållfasthet [Mpa]	Brottöjning [%]
Medelvärde	28,8	755
Standardavvikelse	1,4	33

Tabell 9. 0,12 mm film Tvärriktningen

5 Provkroppar	Draghållfasthet [Mpa]	Brottöjning [%]
Medelvärde	25,1	694
Standardavvikelse	0,9	31

Den använda filmen i testrummet har kvar det mesta av styrkan och flexibiliteten efter exponeringen.

5.5.3 Dragprov vidhäftning fogmassa mot betong/trä

Tabell 10. Fogmassa B.

Fogmassa B	[MPa]		[mm]	Brottyp	Tät vid 3 mm töjning
Draghållfasthet före åldring	0,58 (0,06)	Töjning vid max kraft	16 (4,0)	Adhesion 100 %	Tät
Draghållfasthet efter åldring	0,31 (0,02)	Töjning vid max kraft	6,1 (0,7)	Adhesion 100 %	Tät

(standardavvikelse inom parentes), 3 mm töjning motsvarar 25 % töjning från inspänningslängd 12mm.

Fogmassan har gulnat något efter åldring. På fogmassans ytskikt ligger ett lager gult pulver. Kommer pulvret från massan efter åldring eller något annat i testrummet? Draghållfastheten men mest töjning vid maxkraft har reducerats efter åldring.

Tabell 11. Fogmassa D.

Fogmassa D	[MPa]		[mm]	Brottyp	Tät vid 3 mm töjning
Draghållfasthet före åldring	0,52 (0,03)	Töjning vid max kraft	14 (3)	Adhesion 10 %, kohe- sion 90 %	Tät
Draghållfasthet efter åldring	-	Töjning vid max kraft	-	Adhesion/kohe- sion 100 %	Ej tät

Efter åldring har fogmassan krackelerat och delaminerat. Ingen av provkropparna efter åldring gick att dragprova.

Tabell 12. Fogskum A.

Fogskum A	[MPa]		[mm]	Brottyp	Tät vid 3 mm töjning
Draghållfasthet före åldring	0,12 (0,01)	Töjning vid max kraft	1,3 (0,2)	Kohesion 100 %	Ej tät
Draghållfasthet efter åldring	0,16 (0,01)	Töjning vid max kraft	0,8 (0,1)	Kohesion 100 %	Ej tät

Fogskummet har gulnat efter åldring. Alla prover har maxkraft och brott innan 3 mm töjning (Ej tät).

5.5.4 Sammanställning resultat från fristående prover

I Tabell 13 är resultaten från de fristående proverna sammanfattade. Kraven som produkterna jämförts mot i detta fall, beskrivs i rapporten. Resultaten måste viktas mot de visuella resultaten för de infästa produkterna i testrummet samt mot de uppmätta resultaten från lufttäthetsmätningarna som utförts i testrummet för att få en samlad bild. Resultatet och kravet måste också viktas mot monterings sättet i rummet jämfört mot provbitarnas utformning och monterings sätt. Resultaten avser endast de provade egenskaperna för de provade materialen. Rådata från drag- och skjuvproven finns redovisat i bilaga 3.

Tabell 13. Kortfattad sammanfattning resultat från de standardiserade provningarna av mindre provbitar.

Produkt	Klarar kraven enligt SP-metod 1380/SP-metod 4372
Tejp A	Ja
Tejp B	Ja
Gummistos med tejp	Nej
Butylband	Ja
Fogmassa A	Ja
Fogmassa B	Nej
Fogmassa D	Nej
Fogskum A	Nej

Utvärderingen av tejskarvar, tejp mot film utfördes enligt SP-metod 1380 utgåva 3 för materialen 1-5. Skjuvprov på skarv utfördes enligt punkt 5.5.

1. *Krav enligt SP-metod 1380: Skjuvhållfastheten före och efter åldring får ej understiga 500 N/m.*
2. *Krav enligt SP-metod 1380: Ånggenomgångsmotståndet skall vara minst det som krävs för det oskarvade materialet dvs. $\geq 1,5 \cdot 10^6$ s/m (ekvivalent med $\geq 2,0 \cdot 10^{11}$ m²sPa/kg eller ≥ 40 m (s_d -värde) före och efter åldring). Det får inte förekomma för ögat synliga sprickor eller skador.*

Materialen 1-2 och 4-5 klarar krav på skjuvhållfasthet och verkar vara "synligt ångtäta" inga kanaler, sprickor eller skador kunde observeras. Material 3 klarar inte detta krav då det uppvisar synliga skador samt luftkanaler.

Utvärderingen av fogmassorna/fogskummet utfördes enligt SP-metod 4372 utgåva 2.3 för materialen 6-8. Dragprov utfördes enligt SP-metod 4372.

1. *Krav enligt SP-metod 4372: Tät efter 3 mm töjning*
2. *Max dragspänning efter åldring >0,3 MPa.*
3. *Töjning vid maxkraft skall vara minst 50 % av oexponerad fog.*

Materialen 6-8 klarar inte dessa krav. Fogmassa D var "sönder" efter exponeringen innan utvärderingen med dragprov. Fogskum A klarar inte kravet på täthet efter 3 mm töjning och inte kravet på max dragspänning >0,3MPa efter exponering. Fogmassa B har nedgång av töjning vid maxkraft till 38 % av oexponerad massas töjning.

6 Fältmätningar i befintliga hus

För att se hur tätheten påverkas över tiden i verkliga byggnader utfördes provningar på äldre hus. Kravet för vilka hus som skulle provas var att de har provats avseende lufttät-
het när de var nybyggda och har kvar dokumentation som beskriver hur provningen gick
till och var man hade hittat läckage. För att klara dessa kriterier valde man att gå igenom
dokumentation från mätningar som SP utfört på framför allt småhus. För flerbostadshus
är det svårare rent praktiskt att utföra mätning på hela byggnaden eftersom dörrarna till
alla lägenheter behöver stå öppna under provningen. Det var heller inte möjligt att hitta
tillräckligt bra dokumentation från tidigare mätningar för något flerbostadshus. Det
innebär att endast småhus har undersökts.

Det skickades ut en förfrågan till husägare som hade lämpliga provningsobjekt och sex
ägare gick med på att utföra en provning.

6.1 Beskrivning av metod

Provningen av byggnadernas klimatskärm utfördes enligt Europastandard EN
13829:2000. Öppningar avsedda för ventilation och eventuellt eldstäder tätades. Vatten-
lås i rökrökar till t ex handfat och golvbrunnar kontrollerades vara vattenfyllda innan
mätning. Samhörande värden på tryckskillnad mellan inne och ute samt över mätrör för
luftflöde fastställdes för både över- och undertryck.

Övertryck = lufttrycket i byggnaden är större än atmosfärens tryck.

Undertryck = lufttrycket i byggnaden är mindre än atmosfärens tryck.

För mätning av byggnadens lufttäthet användes Minneapolis fläktutrustning BlowerDoor
med tillhörande mikromanometer DG-700 för mätning av tryckskillnad mellan inne och
ute samt över mätrör till fläkt. Mätning av temperatur inne och ute samt lufttrycket
utfördes med instrument från Testo.

Översiktlig spårning av luftläckage utfördes vid ca 50 Pa undertryck inne i förhållande till
uteluften. Undertrycket åstadkoms med hjälp av fläkten för mätning av byggnadens
lufttäthet. Luftläckagen spårades med hjälp av lufthastighetsgivare från Comfort-Control
samt med värmekamera från Flir. Resultaten från spårning av luftläckage noterades på
planritningar av undersökta byggnader.

Provning av byggnadens lufttäthet utfördes huvudsakligen med fem trycksteg på under-
tryck respektive övertryck. Vid varje trycksteg programmerades utrustningen att göra
minst 500 avläsningar på luftflödet (beroende på väderförhållanden som rådde utomhus
d v s om det var blåsig behövdes fler avläsningar göras). Resultatet som redovisas vid 50
Pa är ett beräknat värde från kurvpassningen av luftflödena från de olika tryckstegen
som dataprogrammet för utrustningen utför.

Mätosäkerheten i slutresultatet för det uppmätta luftflödet genom byggnadskonstruktionen uppskattas ligga inom $\pm 5\%$ ($k=2$). Uppmätta luftflöden har fördelats på byggnadens invändiga omslutningsyta. Med detta avses yta som begränsar uppvärmd byggnad mot det fria, mot mark eller mot delvis uppvärmda utrymmen. För den provade byggnaden består invändig omslutningsyta av ytterväggar, tak och golv mot mark och denna yta har beräknats från erhållna ritningar. Onoggrannheten i beräkningen av omslutningsytan har vi uppskattat till $\pm 2\%$.

Tillbyggnationer har tagits med vid provning av lufttätheten vilket har inneburit att i tre fall har omslutningsytan korrigerats. Detta medför också att förändringar gjorts i ursprungliga klimatskalet som kan ge ytterligare felkällor i en slutsats. Det optimala hade varit att inga förändringar har utförts i klimatskalet i undersökta hus. Men på grund av att det var dessa sex hus som vi hade att tillgå fick mätningar utföras även i hus med utförda tillbyggnationer.

6.2 Beskrivning av husen

6.2.1 Hus 1



Figur 19. Utsidan av hus 1.

Huset är byggt 1990 och är ett enplanshus med platta på mark och med från- och tillluftsventilation (FT). Tillbyggnation har gjorts på huset då garaget har byggts ihop med huvudbyggnaden, dock finns det kvar ett utrymme för förvaring i garaget som inte är boyta. I ursprunglig byggnad hade klimatskalet en omslutningsyta på ca 300 m² vilket gav en lufttäthet på 0,14 l/(sm²).

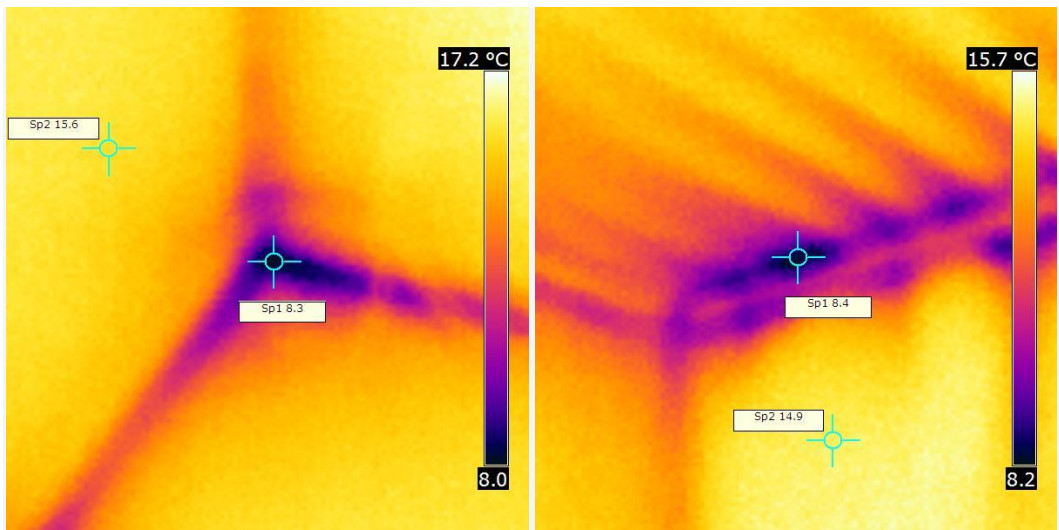
Efter tillbyggnationen 2003-2004 är ny omslutningsyta på klimatskalet ca 393 m². Mätning av byggnadens lufttäthet vid ± 50 Pa utfördes åter i november 2011 och uppmättes till 0,95 l/(sm²), se Tabell 14.

I Tabell 14 nedan redovisas omslutningsyta, luftläckageflöde vid 50 Pa under- och övertryck samt framräknat medelvärde för ± 50 Pa.

Tabell 14. Sammanställning av resultat från täthetsmätning.

Omslutningsyta, m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryck, l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck, l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/(sm ²)
393	351	398	375	0,95

Generella otätheter fanns i tak- och golvvinkeln utmed ytterväggarna och i tillbyggnationen fanns stora nedkylda ytor och luftläckage, se Figur 20 nedan.

**Figur 20.** Luftläckage i vegghörnet vid golvvinkeln till vänster samt vid takvinkeln till höger.

Sammantaget har lufttätheten försämrats väsentligt efter tillbyggnationen av huvudbyggnaden. Orsaken till den stora skillnaden i lufttäthet mellan 1990 och 2011 kan vi inte svara på. Bidragande orsaker kan bl.a. vara, föråldrande täthetslösningar eller brister vid utförandet av tillbyggnationen.

6.2.2 Hus 2

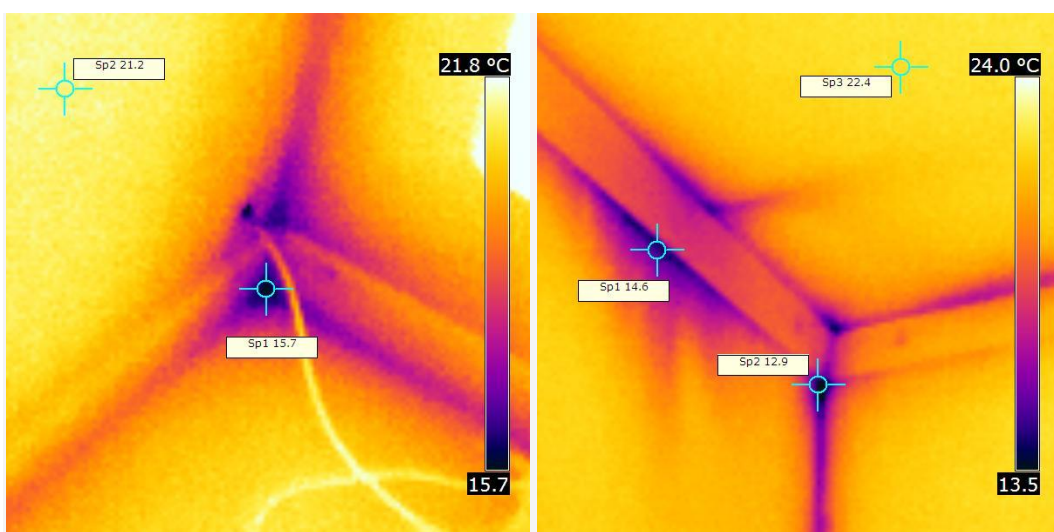
Huset är byggt 1990 och är ett enplanshus med kryppgrund och med frånluftsventilation och självdrag i byggnaden. Inga tillbyggnationer har gjorts som har förändrat klimatskalet. Omslutningsytan på klimatskalet är ca 370 m² och uppmätt lufttäthet 1990 var 0,17 l/(sm²). Mätning av byggnadens lufttäthet vid ± 50 Pa utfördes åter i december 2011 och uppmättes till 0,21 l/(sm²), se Tabell 15.

I Tabell 15 nedan redovisas omslutningsyta, luftläckageflöde vid 50 Pa under- och övertryck samt framräknat medelvärde för ± 50 Pa.

Tabell 15. Sammanställning av resultat från täthetsmätning.

Omslutningsyta, m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryck, l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck, l/s	Luftflöde vid \pm 50 Pa l/s	Lufttäthet vid \pm 50 Pa l/(sm ²)
370	74	84	79	0,21

Generellt noterades otätheter i tak- och golvvinkeln utmed ytterväggarna men även i takvinkeln mot takbjälklaget vid innerväggar. Vidare noterades nedkylda ytor och otätheter i samtliga vegg hörn i byggnaden, se Figur 21 nedan.

**Figur 21.** Luftläckage i vegg hörnet vid golvvinkeln till vänster samt vid takvinkeln till höger.

6.2.3 Hus 3

**Figur 22.** Utsidan av hus 3.

Huset är byggt 1993 och är ett 1 1/2-planshus med platta på mark och frånluftsventilation och självdrag i byggnaden. Ursprungliga omslutningsytan på klimatskalet är ca 378 m² och uppmätt lufttäthet 1993 var 0,92 l/(sm²).

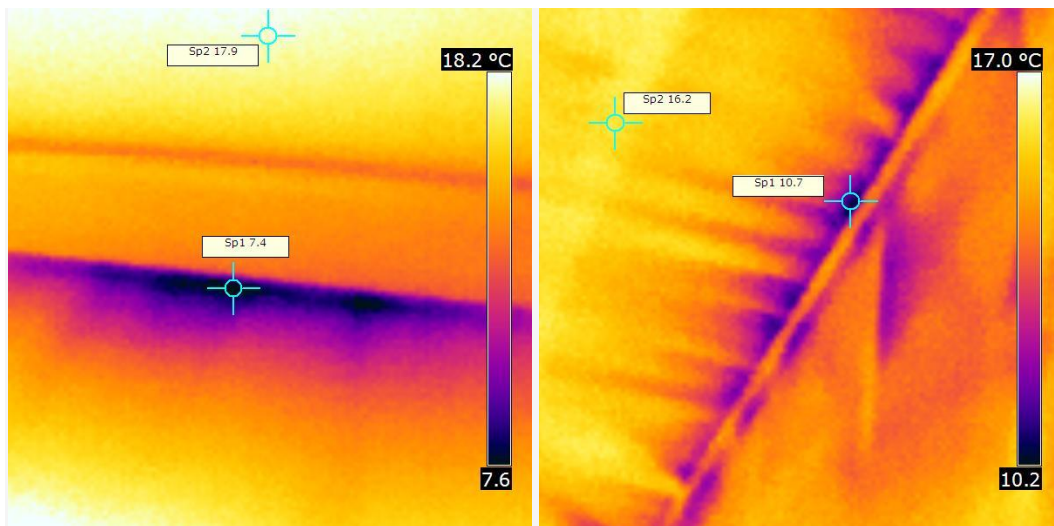
Under 2009 beviljades ett bygglov för byggnaden och huset byggdes ut 3,6 m vilket medförde att ny omslutningsyta är ca 474 m². I samband med detta installerades en ny värmepump samt en luft/luft värmepump. Mätning av byggnadens lufttäthet vid ± 50 Pa utfördes åter i december 2011 och uppmättes till 1,54 l/(sm²), se Tabell 16 nedan.

I Tabell 16 nedan redovisas omslutningsyta, luftläckageflöde vid 50 Pa under- och övertryck samt framräknat medelvärde för ± 50 Pa.

Tabell 16. Sammanställning av resultat från täthetsmätning.

Omslutningsyta, m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryckl/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck, l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/(sm ²)
474	702	760	731	1,54

Generellt noterades luftläckage längs med ytterväggen i både tak- och golvvinkeln där det också fanns stora nedkylda konstruktionspartier, se Figur 23 nedan.



Figur 23. Luftläckage vid golvvinkeln till vänster samt vid takvinkeln till höger.

Otättheter noterades vid ljusspottar i taket samt vid elinstallation i ett förråd. På plan 2 noterades luftläckage i takvinkeln utmed större delen av ytterväggen och även utmed tvärgående takbjälkar.

Sammantaget har lufttätheten försämrats väsentligt efter tillbyggnationen av huvudbyggnaden. Orsaken till den stora skillnaden i lufttäthet mellan 1993 och 2011 kan vi inte svara på. Bidragande orsaker kan bl.a. vara mätosäkerhet vid mättillfällena, föråldrande täthetslösningar eller brister vid utförandet av tillbyggnationen.

6.2.4 Hus 4

Huset är byggt 1990 och är 1 1/2-planshus med krypgrund och från- och tilluftsventilation (FT). 2004 Beviljades bygglov att bygga ihop plan 1 med garaget. Ursprunglig omslutningsyta över klimatskalet var ca 309 m² vilket gav ett mätvärde på lufttätheten på 1,11 l/(sm²). Mätning av byggnadens lufttäthet vid ± 50 Pa utfördes åter i januari 2012 och uppmättes till 1,05 l/(sm²), då ny omslutningsyta över klimatskalet är ca 380 m², se Tabell 17 nedan.

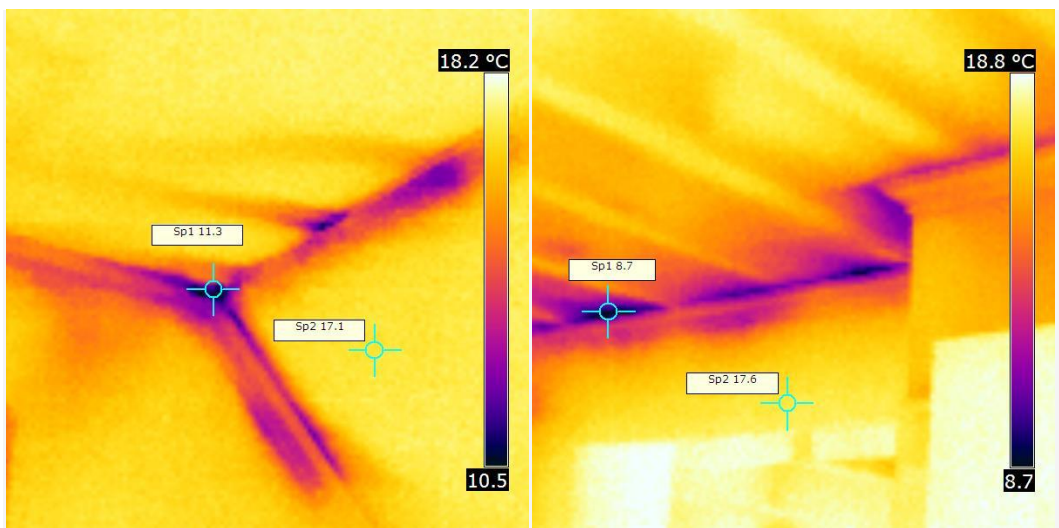
I Tabell 17 nedan redovisas omslutningsyta, luftläckageflöde vid 50 Pa under- och övertryck samt framräknat medelvärde för ± 50 Pa.

Tabell 17. Sammanställning av resultat från täthetsmätning.

Omslutningsyta, m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryck, l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck, l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/(sm ²)
380	380	420	400	1,05

Således är uppmätt värde på lufttätheten ungefär den samma som för 22 år sedan. Vid undersökningen noterades generella otätheter i tak- och golvvinkeln där de var åtkomligt vilket även gäller för plan 2, se Figur 24 nedan.

Röret för kaminen som mynnar ut i taket på plan två noterades ha otätheter vid genomföringen i taket.



Figur 24. Luftläckage i vegghörnet vid tak (t.v.) samt luftläckage vid takvinkeln (t.h.).

6.2.5 Hus 5

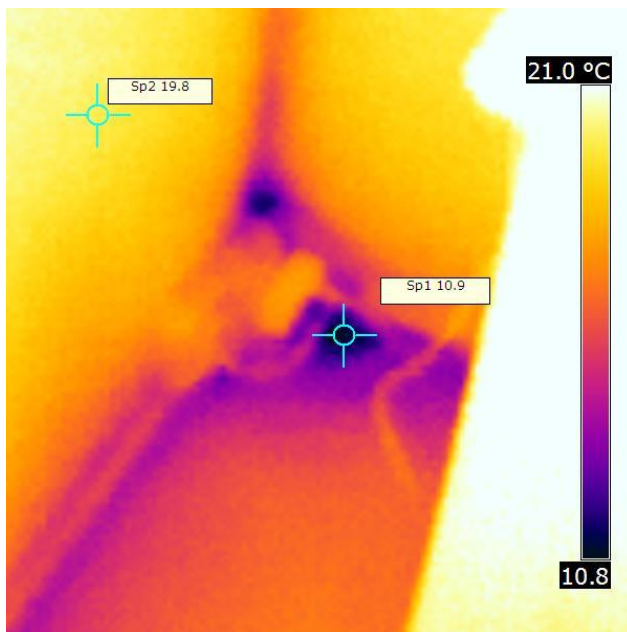
Huset är byggt 1990 och är enplanshus med kryppgrund och från- och tilluftsventilation (FT). Inga tillbyggnationer har gjorts som har förändrat klimatskalet. Omslutningsytan på klimatskalet är ca 353 m² och uppmätt lufttätet 1990 var 0,64 l/(sm²). Mätning av byggnadens lufttätet vid ± 50 Pa utfördes åter i januari 2012 och uppmättes till 0,57 l/(sm²), se Tabell 18 nedan.

I Tabell 18 nedan redovisas omslutningsyta, luftläckageflöde vid 50 Pa under- och övertryck samt framräknat medelvärde för ± 50 Pa.

Tabell 18. Sammanställning av resultat från täthetsmätning.

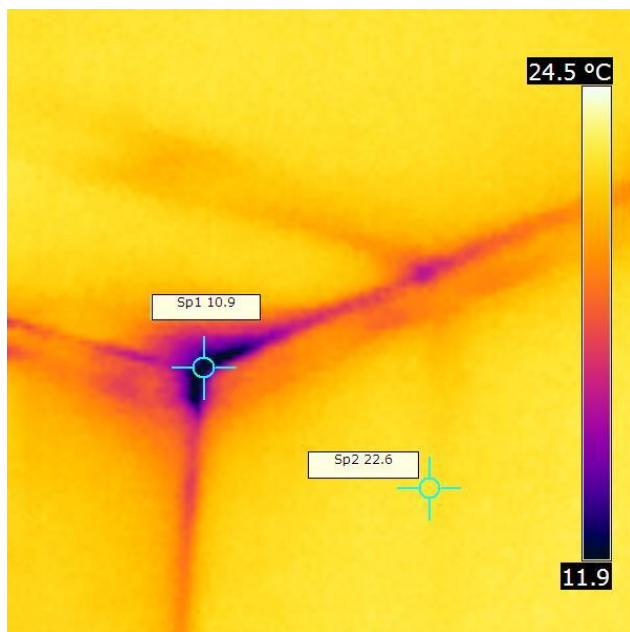
Omslutningsyta, m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryck, l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck, l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttätet vid ± 50 Pa l/(sm ²)
353	195	210	202	0,57

Således visar uppmätt värde på lufttäteten på ungefär samma resultat som för 22 år sedan. Generellt noterades otätheter i tak- och golvvinkeln utmed ytterväggarna men även i takvinkeln mot takbjälklaget vid några innerväggar, se Figur 25 och Figur 26 nedan.



Figur 25. Luftläckage i vegghörnet vid golv.

Vidare noterades nedkylda ytor och otätheter i samtliga vegghörn i byggnaden.



Figur 26. Luftläckage i vegg hörnet vid tak.

6.2.6 Hus 6



Figur 27. Utsidan av hus 6 (ingång längst till höger).

Huset byggdes 2001 och är ett två-plans radhus med mekanisk ventilation och värmeåtervinning. Byggnaden uppfördes med en passivhusstandard vilket innebär att huset har mer isolering och lägre U-värden i klimatskalet än vad som är normalt. Det extra tillskott av värme som behövs för en god termisk komfort ges av värmebatteri i tilluften. Provat hus är det som ses längst till höger i Figur 27 ovan.

Uppmätt lufttätheten i klimatskalet var i april 2001 $0,25 \text{ l}/(\text{sm}^2)$ och vid nya mätningar av byggnadens lufttäthet vid $\pm 50 \text{ Pa}$ utfördes i januari 2011, 10 år senare uppmättes till $0,23 \text{ l}/(\text{sm}^2)$, se Tabell 19 nedan.

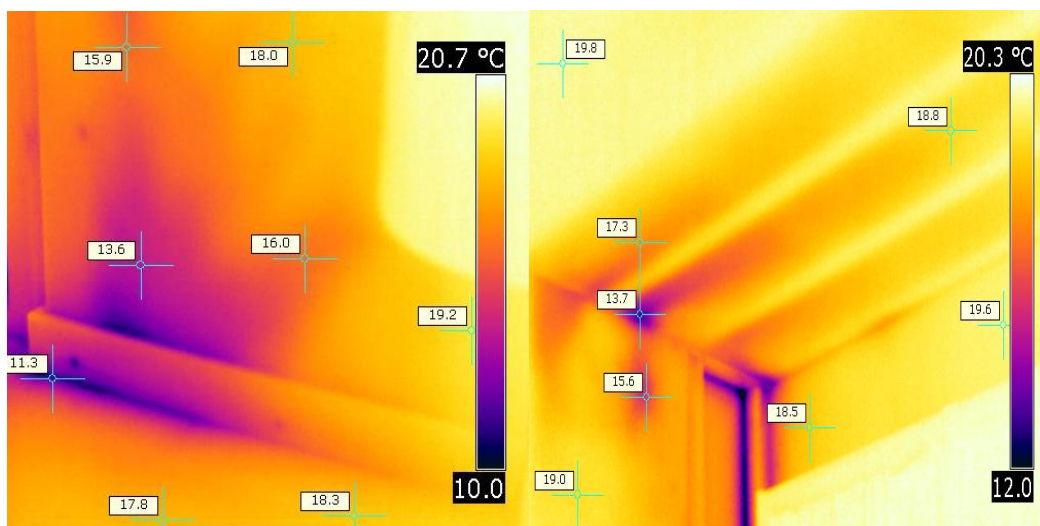
I Tabell 19 nedan redovisas omslutningsyta, luftläckageflöde vid 50 Pa under- och övertryck samt framräknat medelvärde för $\pm 50 \text{ Pa}$.

Tabell 19. Sammanställning av resultat från täthetsmätning.

Omslutningsyta, m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryck, l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck, l/s	Luftflöde vid \pm 50 Pa l/s	Lufttäthet vid \pm 50 Pa l/(sm ²)
281	63	67	65	0,23

Således är det uppmätta värdet för luftläckage ungefär samma som 10 år sedan och ryms inom spannet för mätosäkerheten.

Luftläckagen, som är mycket små, noterades vid vissa golvvinklar och en takvinkel som kan ses i Figur 28 nedan. Det fanns också några luftläckage mellan yttervägg och fönster samt vid dörrar. Vi noterade även luftläckage vid en el-genomföring i betongplattan. Sammantaget finner vi att lufttätheten i denna byggnad är bra jämfört med övriga undersökta byggnader i den här studien.

**Figur 28.** Luftläckage i tak- och golvvinkel.

6.3 Sammanfattande resultat från fältmätningar

Uppmätta värden för luftläckage i undersökta hus redovisas i Tabell 20 nedan.

Tabell 20. Sammanfattning av undersökta hus.

Hus	Byggt	Luftläckage när det var byggt [l/(sm ²)]	Luftläckage vid ny mätning 2011-2012[l/(sm ²)]	Förändringar gjorda i klimatskalet
1	1990	0,14	0,95	Ja
2	1990	0,17	0,21	Nej
3	1993	0,92	1,54	Ja
4	1990	1,11	1,05	Ja
5	1990	0,64	0,57	Nej
6	2001	0,25	0,23	Nej

I hus 1, 3, och 4 har tillbyggnationer utförts vilket har inneburit förändringar i ursprungliga klimatskalet. Lufttätheten i hus 1 och 3 har försämrats väsentligt i och med tillbyggnationerna, dock är lufttätheten i hus 4 ungefär den samma som för 22 år sedan. Att lufttätheten har försämrats i två av tre hus där tillbyggnationer har utförts kan visa på variationer i byggnadsteknik och nivå av noggrannhet vid utförandet av dessa förändringar i klimatskalet.

Vi har inga uppgifter på om tillbyggnationerna har utförts av fackmän eller om det har utförts av de boende själva, som förmodat har mindre kunskap om byggnadsteknik och lufttäthet. Skulle samtliga tillbyggnationer var utförda av fackmän är den försämrade lufttätheten i två av de tre ombyggda husen anmärkningsvärt.

I hus 2, 5 och 6 har inga förändringar utförts i klimatskalet under åren och resultatet visar att lufttätheten ungefär den samma som för 10- 22 år sedan.

Hus 1-5 har haft mer eller mindre lufttätheter utmed ytterväggarna i tak- och golvvinkeln vilket syns tydligt i husens vägghörn. Lufttätheter har även noterats i takvinkeln vid en del innerväggar mot tak. Vidare noterades generella lufttätheter i fönster och dörrar men denna undersökning avser framförallt golv, väggar och tak.

Hus 6, som är 10 år yngre än hus 1-5, noterades generellt ha mindre lufttätheter. Exakt vad detta beror på kan vi inte svara på men en bidragande orsak kan vara att medvetenheten att bygga lufttätt mellan 1990 och 2001 har ökat. Skillnader kan även finnas i utbildning av hantverkare som byggde husen, t ex så behöver snickare gå en särskild utbildning för att bygga passivhus vilket kan ha lett till ökad noggrannhet vid byggnatio-

nen av ett passivhus jämfört med ett hus byggt i början på 1990-talet. I passivhusbyggnation är det fokus på god lufttätethet.

Sammanfattningsvis så har förändringar gjorts i klimatskalet i tre av sex hus och två av dessa har uppmätt luftläckage ökat (hus 1 och 3). I resterande tre hus har det inte gjorts några förändringar i klimatskalet och de har bibehållit sin lufttätethet.

7 Diskussion

Efter mätning av luftläckage i sex befintliga hus, visar det sig att det är möjligt att bygga hus utan att riskera beständigheten på lufttätetheten. Vid till- eller ombyggnad finns dock en stor risk att den nya delen inte håller samma standard som den äldre delen. Det är inte ett förvånande resultat men är värt att beakta då många förr eller senare bygger om sitt hus. För dessa projekt skulle det vara mycket värt om det finns vägledning hur man går tillväga för att bygga lika lufttätt vid ombyggnation. Framförallt anslutning mellan ny och gammal del kan vara svårt att få täta. De provade byggnaderna var yngre än 50 år, främst beroende på att det saknades äldre hus med tillräcklig data för att kunna utvärdera hur lufttätetheten har påverkats. Det är därmed inte säkert att 50 år gamla byggnader hade medfört att man kunde dra slutsatser om huruvida dagens byggnader förblir lufttäta eftersom de hade andra konstruktionslösningar på den tiden. Exakt vilka lösningar som använts i husen kan vi inte svara på eftersom det innebär förstörande provning av konstruktionen. Resultaten från den accelererade åldringen visar dock att val av material samt utförande kan ha stor betydelse för beständigheten av lufttätetheten. I början på 90-talet var det generellt vanligare att man klämde fast plasten med regler jämfört med idag då mer specialiserade tätningsprodukter används.

Det man inte utvärderat vid laborietesterna är de eventuella migreringar av flyktiga ämnen från de ingående materialen som kan ha skett i testrummet, (kompatibilitets-test). Man får då utvärdera materialen var för sig för att utesluta "smitta" och inte hela skarven i närvaro av alla andra material i testrummet. Dessa migreringar kan både förbättra och försämra de ingående materialens åldringsegenskaper. Man har inte tittat på andra egenskaper som sättning, relaxation etc. Man måste därför se detta försök som en screening av ingående produkter och inte som en absolut sanning. Alla produkter som provades i provningsriggen kunde av praktiska skäl inte provas enligt de standardiserade provningsmetoderna. Det är dock värt att notera att det blir skilda resultat mellan de standardiserade provningarna av mindre provbitar och provningsriggen avseende fogskum A, fogmassa B, tejp A och tejp B. Att fogskummet och fogmassan underkändes i standardiserade testerna men klarade sig i provningsriggen kan ha åtminstone två möjliga förklaringar. I provningsriggen utfördes endast visuell utvärdering medan det utfördes mekaniska påfrestningar i standardtesterna. Dessutom fanns det mer material, dvs. fogarna var bredare i provningsriggen, som gör det svårare att skapa genomgående sprickor. I standardiserade provningar har man säkerhetsmarginaler för att säkerställa att produkterna håller måttet och på grund av detta så kan det vara naturligt att vissa prover underkänns i testerna men klarar sig vid de förhållanden som rådde i provnings-

riggen. Däremot fick tejperna klart försämrade egenskaper efter åldring i provningsriggen men klarade de standardiserade testerna. Den troliga förklaringen till detta är att i mindre provningslappar uppstår inte luftkanaler eftersom skillnader i dimensionsstabilitet blir mer märkbar ju längre skarven är. Dessutom var plastfolien fäst i regler i provningsriggen som medför att den inte kan "flytta med" tejpens när den krymper medan provlapparna inte hade den begränsade rörligheten.

De laboratorieprovningar som genomförts inom ramen för detta projekt är en screening av olika produkter och inte anpassat för varje produkttyp. Laboratorieprovningarna av de två tejpprodukterna i detta försök visar att dessa tejpprodukter inte är en beständig lösning. I vilken mån andra tejpprodukter ger beständiga lösningar kan vi mot bakgrund av denna laboratorieprovning inte uttala oss om, men det skulle vara av intresse att ha ytterligare information om olika produkters beständighet genom att utföra ytterligare studier. Dessa ytterligare undersökningar kan även utvärdera om standardiserade provningar behöver utvecklas. Dock kan det anses klokt att planera utförandet av plastfolien så att inte långa fria tejskarvar skapas utan istället lägga tejskarvarna så att det är möjligt att klämma dem med regler.

Eftersom flertalet av produkterna i provningsriggen klarade att behålla sin lufttätethet efter åldringen visar det att dagens metoder mycket väl kan ha en livslängd på 50 år. Detta indikeras även vid provningen av husen där de oförändrade husen bibehållit sin lufttätethet i upp till 22 år. Dock bör man vid materialval säkerställa att produkterna testats för att hålla så länge.

8 Slutsatser

Utifrån de resultat som erhållits i det här projektet dras följande slutsatser:

- Det är möjligt att bygga konstruktioner med plastfolie som tätskikt och bibehålla lufttätetheten i byggnader. Provning av verkliga byggnader visar att lösningen är beständig minst 20 år och laborietester visar att de kan vara beständiga så länge som 50 år om rätt material används.
- Vid ombyggnationer finns en stor risk att lufttätetheten försämras.

I laborietesterna har funnits ett litet underlag för varje produkttyp och därför kan inga generella slutsatser dras utan resultaten gäller endast för de provade produkterna. De provade produkterna visar dock att:

- De två valda tejpprodukterna klarar beständighetstester för mindre provbitar men blev otäta i provningsriggen med större skarvar. Det kan innebära att man behöver se över testning av tejp och metoder för hur tejperna används.
- De två valda produkterna för fogskum fallerade standardiserade beständighetstester men bibehöll lufttätetheten i provningsriggen.
- Vissa av de valda produkterna för fogmassor förblev täta efter accelererad åldring medan andra hade dålig beständighet. Även här skilde sig resultaten mellan

provningsriggen och standardiserade tester. Skillnaderna kan eventuellt förklaras med att tjockare fogar används i provningsriggen samt att det finns säkerhetsmarginaler i de standardiserade testerna.

- En syllisolering försämrades efteråldring med liknande förändring som för tejperna – det bildas luftkanaler på grund av olika dimensionsstabilitet mellan de olika materialen i täthetslösningarna.
- Det finns inga tecken på att de konstruktionsmaterial som använts i provningsriggen medför försämrad beständighet på tätningsprodukterna vid normala förhållanden i byggnader. Det har dock inte utretts hur t.ex. större mekaniska belastningar som vindlaster eller inverkan av fritt vatten påverkar materialen.

9 Fortsatta studier

Lufttätheten påverkar det termiska klimatet, ventilationens funktion, fukt i konstruktionen och energianvändningen i byggnader. Eftersom produkterna som säkerställer lufttätheten oftast befinner sig inuti konstruktionen kan det därför innebära stora ingrepp i byggnader om de behöver bytas ut i förtid. I det här projektet har det skett en översiktlig studie för att se hur beständigheten för lufttäthetslösningar förhåller sig. Utifrån de resultat som erhållits, där det finns indikationer på att vissa lösningar inte håller i längden, torde ett önskat nästa steg vara att undersöka och eventuellt utveckla ett system för att säkerställa att täthetslösningarna som byggs in verkligen håller i 50 år.

Resultaten för mindre provbitar skiljer sig från fullskaletester i provningsriggen. Om man utvärderar provningsmetoderna och eventuellt justerar dem vore det intressant att utföra jämförande provning med samtliga vanligt förekommande tätningsprodukterna på marknaden för att se om produkter med låg beständighet är frekvent förekommande.

Det visade sig att de provade husen som inte bibehållit sin lufttäthet troligen hade fått lufttätheten försämrad vid ombyggnad. Det vore värdefullt att utveckla en vägledning hur man säkerställer att byggnadens lufttäthet vid renovering och tillbyggnad.

10 Referenslista

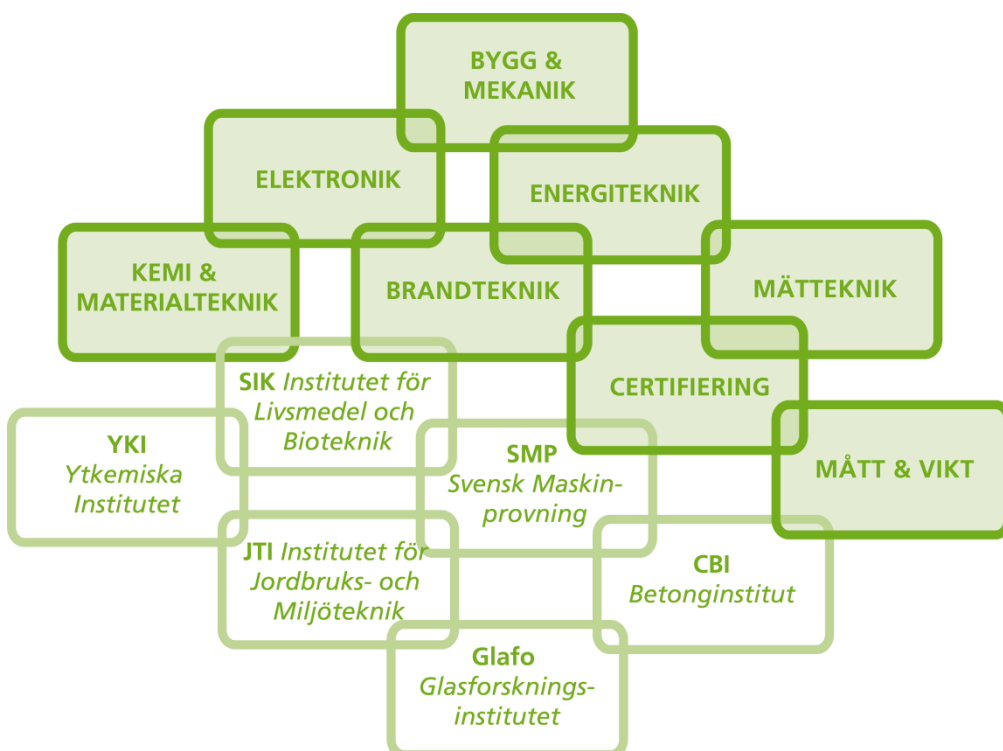
1. SPF Sveriges Plastförbund, SPF Verksnorm 2000 utgåva 1, 1979
2. SPF Sveriges Plastförbund, SPF Verksnorm 2000/2001 utgåva 2, 1992
3. Emmerich S., McDowell T. and Anis W., 2005. Investigation of the impact of commercial building envelope airtightness in HVAC energy use. NIST National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7238, USA

Kapitel 2, 2.1 och 3 är skrivet från allmän kunskap om nedbrytningsprocesser och beständighetprovningsmetoder där kunskap är hämtad från egen erfarenhet SP och följande referenser:

4. "Materialval och materialdata", Sveriges Mekanförbund
5. Polymerteknik: R. Höjfors, H. Palmgren, "Materiallära", Ingenjörskyrkans förlag
6. G. Bergman "Plaster och gummi i olika kemiska miljöer", Bulletin 98, Korrosionsinstitutet.
7. F. Rodriguez "Principles of Polymer systems", Hemisphere Publishing Corporation.
8. B. Rånby, J. Rabek, "Long-Term Properties of Polymers and Polymeric Materials", Journal of Applied Polymer Science.
9. W. Brostow, R. Corneliussen, "Failure of Plastics", Hanser Publishers.
10. Yu. V. Moiseev, G. E. Zaikov, "Chemical Resistance of Polymers in aggressive Media", Consultants Bureau.
11. N. M. Emanuel, A.L. Buchachenko, "Chemical Physics of Polymer Degradation and Stabilisation", VNU Science Press.
12. A. Davis, D. Sims, "Weathering of Polymers", Applied Science Publishers.
13. M. Kamal, "Weatherability of Plastic Materials", Interscience Publishers.
14. E. H. Andrews, "Developments in Polymer Fracture-1", Applied Science Publishers.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 9000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

Energiteknik

SP Rapport 2012:57

ISBN 978-91-87017-76-6

ISSN 0284-5172



Bilaga 1. Projektorganisation

Projektledare: Peter Ylmén

Projektsamordnare: Pär Åhman

Projektgrupp: FoU-Väst

Rolf Jonsson, Wäst-Bygg

Martin Sandberg, NCC

Patrik Bengtsson, Skanska

Magnus Hansén, SP

Jörgen Romild, SP

Stefan Almström, SP

Bilaga 2. Prover från provningsriggen

Prov-beteckning	Placering	Material	Beskrivning av åldring	Påverkan lufttätet
A1	Dörrkarm	Karm Fogskum A Träregel	Fogskummet har mörknat och blivit brunt men bibehåller fäste mot dörrkarm och plast och ser tätt ut. Plasten ser hel och lufttät ut. Butylremsan har dragit ihop sig men plasten ligger fortfarande tätt mot och det ser lufttätt ut.	Oförändrad
A2	Tröskel	Tröskel Fogskum A Betong	Fogskummet har mörknat och blivit brunt men bibehåller fäste mot betongen och tröskeln och ser tätt ut.	Oförändrad
A3	Golvinkel	Träregel PE-plast Fogmassa A Betong	Plasten är missfärgad men ser hel och tät ut. Fogmassan fäster bra mot betong och plast och ser tät ut.	Oförändrad
A4	Syll	Träregel Syllisolering A Betong	Sylltätningen är hoptryckt men i övrigt inte nämnvärt påverkad.	Oförändrad
A6	Vägg, snett till höger ovanför dörren.	PE-plast Tejp B	Plasten och tejpser hela ut och tejpser fäster bra mot plasten. Dock har det bildats kanaler mellan plasten och tejpser. Förmodligen pga. av att tejpser dragit ihop sig.	Försämrade
B1	Fönsterkarm	Karm Mineralull Fogskum B	Fogskummet har mörknat och blivit brunt men bibehåller fäste mot dörrkarm och träregel och ser tätt ut. Butylremsan har dragit ihop sig men plasten ligger fortfarande tätt mot och det ser lufttätt ut.	Oförändrad

Prov-beteckning	Placering	Material	Beskrivning av åldring	Påverkan lufttätet
		Träregel		
B2	Golvinkel	Träregel PE-plast Syllisolering B Betong	I sylltätningen har det uppstått kanaler mellan gummilisten och plastlisten. Förmodligen då gummilisten dragit ihop sig.	Försämrade
B3	Syll	Träregel Syllisolering B Betong	Plasten är missfärgad men ser hel och tät ut. I sylltätningen har det uppstått kanaler mellan gummilisten och plastlisten. Förmodligen då gummilisten dragit ihop sig.	Försämrade
B4	Takvinkel	PE-plast Tejp A	Plasten och tejp ser hela ut och tejp fäster bra mot plasten. Dock har det bildats kanaler mellan plasten och tejp. Förmodligen pga. av att tejp dragit ihop sig.	Försämrade
B6	Genomföring ventilationskanal	PE-plast Gummistos Zink	Plasten, gummit och tejp ser hela ut och tejp fäster bra mot plasten. Dock har det bildats kanaler mellan plasten och stostejp. Förmodligen pga. av att tejp dragit ihop sig. Ventilationsröret var illa åtgånget med hål och fick bytas vid själva provtryckningen.	Försämrade
B7	Genomföring VP-rör	PE-plast Gummistos PVC	Plasten, gummit och tejp ser hela ut och tejp fäster bra mot plasten. Dock har det bildats kanaler mellan plasten och stostejp. Förmodligen pga. av att tejp dragit ihop sig.	Försämrade
B8	Genomföring PEX	Trä PE-plast	Plasten, gummit och tejp ser hela ut och tejp fäster bra mot plasten. Dock har det bildats kanaler mellan plasten och stostejp. Förmodligen pga. av att tejp	Försämrade

Prov-beteckning	Placering	Material	Beskrivning av åldring	Påverkan lufttätet
		Gummistos PEX	dragit ihop sig.	
B9	Genomföring PP	PE-plast Gummistos PP	Plasten, gummit och tejen ser hela ut och tejen fäster bra mot plasten. Dock har det bildats kanaler mellan plasten och stostejen. Förmodligen pga. av att tejen dragit ihop sig.	Försämrad
B10	Genomföring koppar	PE-plast Gummistos Koppar	Plasten, gummit och tejen ser hela ut och tejen fäster bra mot plasten. Inga nya genomgående kanaler.	Oförändrad
C1	Fönsterkarm	Karm Exp. fönsterdrev Fogmassa B Träregel	Fogmassan har elastisk och fast konsistens, bibehåller fäste mot dörrkarm och träregel och ser tät ut. Det expanderade drevet ser opåverkat och tätt ut. Butylremsan har dragit ihop sig men plasten ligger fortfarande tätt mot och det ser lufttätt ut.	Oförändrad
C2	Golvinkel	Träregel PE-plast Syllisolering A Betong	Plasten är missfärgad men ser hel och tät ut. Sylltätningen är inte nämnvärt påverkad.	Oförändrad
C3	Syll	Träregel Syllisolering A Betong	Plasten är missfärgad men ser hel och tät ut. Sylltätningen är inte nämnvärt påverkad.	Oförändrad


Prov-beteckning	Placering	Material	Beskrivning av åldring	Påverkan lufttätet
C4	Takvinkel	PE-plast Tejp A	Plasten och tejen ser hela ut och tejen fäster bra mot plasten. Dock har det bildats kanaler mellan plasten och tejen. Förmodligen pga. av att tejen dragit ihop sig.	Försämrad
C6V	Genomföring ventilationskanal	PE-plast Fogmassa C Zink	Fogmassan har tappat sin elasticitet och har en konsistens liknande halvtorr lera. Det gör att den spricker lätt och förlorar något av sin täthet. Kan ha hänt vid borttagning av prov. Däremot har den bra fäste mot plast och ventilationskanal.	Något försämrad
C6H	Genomföring ventilationskanal	PE-plast Fogmassa A Zink	Fogmassan är hård men något elastisk. Fäster bra mot plast och rör. Ser tät ut.	Oförändrad
C7V	Genomföring VP-rör	PE-plast Fogmassa C PVC	Fogmassan är mjuk och elastisk samt fäster bra mot rör och plast.	Oförändrad
C7H	Genomföring VP-rör	PE-plast Fogmassa A PVC	Fogmassan är hård men något elastisk. Fäster bra mot plast och rör. Ser tät ut.	Oförändrad
C8V	Genomföring PEX	PE-plast Fogmassa C PEX	Fogmassan är mjuk och elastisk samt fäster bra mot rör och plast.	Oförändrad
C8H	Genomföring PEX	PE-plast Fogmassa A	Fogmassan är hård men något elastisk. Fäster bra mot plast och rör. Ser tät ut.	Oförändrad

Prov-beteckning	Placering	Material	Beskrivning av åldring	Påverkan lufttätet
		PEX		
C9V	Genomföring PP	PE-plast Fogmassa C PP	Fogmassan är delvis mjuk och elastisk men delvis något torrare. Spricker dock inte. Fäster bra mot rör och plast. Gick sönder vid borttagande.	Något försämrade
C9H	Genomföring PP	PE-plast Fogmassa A PP	Fogmassan är hård men något elastisk. Fäster bra mot plast och rör. Ser tät ut.	Oförändrad
C10V	Genomföring koppar	PE-plast Fogmassa C Koppar	Fogmassan är delvis mjuk och elastisk men delvis något torrare. Spricker dock inte. Fäster bra mot rör och plast. Gick sönder vid borttagande av prov.	Något försämrade
C10H	Genomföring koppar	PE-plast Fogmassa A Koppar	Fogmassan är hård men något elastisk. Fäster bra mot plast och rör. Ser tät ut.	Oförändrad
D1	Fönsterkarm	Karm Exp. fönsterdrev Mineralull Bottningslist Fogmassa D	Fogmassan är torr och spröd i ytan men kletig under. Den har krympt och fäster varken i karm eller träregel vilket leder till stora springor. Bottningslisten verkar oförändrad men är inte menad som lufttätning. Butylremsan har dragit ihop sig men plasten ligger fortfarande tätt mot och det ser lufttätt ut.	Väldigt försämrade

Prov-beteckning	Placering	Material	Beskrivning av åldring	Påverkan lufttätet
D2	Golvinkel	Träregel PE-plast Fogmassa D Betong	Plasten är missfärgad men ser hel och tät ut. Fogmassan fäster bra mot betong och plast och ser tät ut.	Oförändrad
D3	Syll	Träregel Syllisolering B Betong	Plasten är missfärgad men ser hel och tät ut. I sylltätningen har det uppstått kanaler mellan gummilisten och plastlisten. Förmodligen då gummilisten dragit ihop sig.	Försämrad
D4	Takvinkel	Trä PE-plast Tejp B	Plasten och tejen ser hela ut och tejen har gulnat men fäster bra mot plasten. Dock har det bildats kanaler mellan plasten och tejen. Förmodligen pga. av att tejen dragit ihop sig.	Försämrad
D6	Genomföring ventilationskanal	Trä PE-plast Tejp B Zink	Tejen har gulnat och det har bildats bubblor under tejen men inga genomgående kanaler. Ser tät ut	Oförändrad
D7	Genomföring VP-rör	Trä PE-plast Tejp B PVC	Tejen har gulnat och det har bildats bubblor under tejen men inga genomgående kanaler. Ser tät ut	Oförändrad
D8	Genomföring PEX	Trä PE-plast	Tejen har gulnat och det har bildats bubblor under tejen men inga genomgående	Oförändrad

Prov- beteckning	Placering	Material	Beskrivning av åldring	Påverkan lufttätet
		Tejp B PEX	kanaler. Ser tät ut	
D9	Genomföring PP	Trä PE-plast Tejp B PP	Tejpen har gulnat och det har bildats bubblor under tejpen men inga genomgående kanaler. Ser tät ut	Oförändrad
D10	Genomföring koppar	Trä PE-plast Tejp B Koppar	Tejpen har gulnat och det har bildats bubblor under tejpen men inga genomgående kanaler. Ser tät ut	Oförändrad

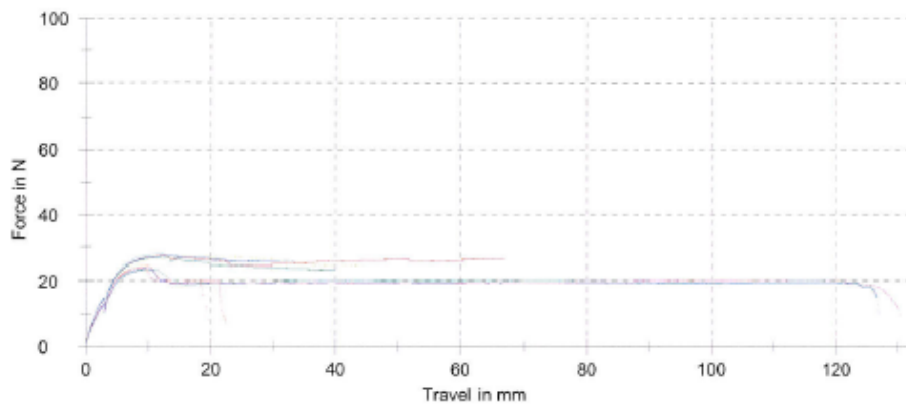
Bilaga 3. Rådata från hållfasthetsprovning

		19.11.12
Test report		
Customer :		Specimen type :
Job no. :		Pre-treatment :
Test standard : SP-metod 4372		Tester :
Type and designation of :		Notes... :
Material :		Machine data :
Specimen removal :		
Pre-load : 0,5 N		
Speed in the section : 5 mm/min		
Speed up to the end of test : 50 mm/min		
Test results:		

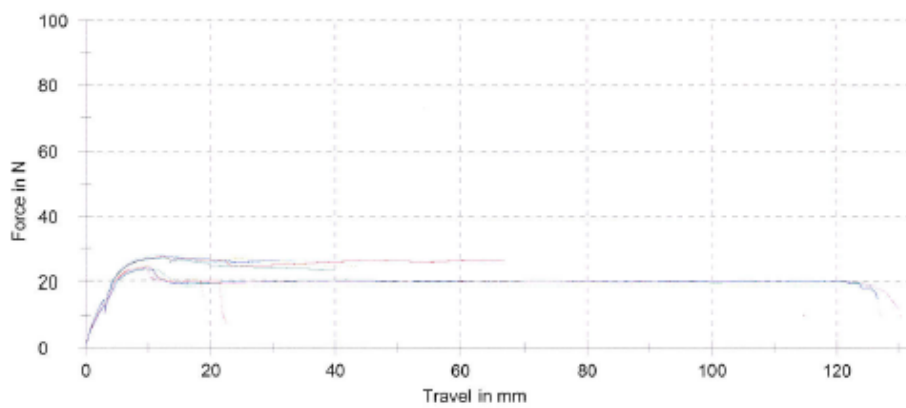
Sub-series identifier 2	Specimen no.	F _{max} N/m	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
Tejp B oáldrad	1	1220	9,8	7,20	22,6	20
	2	1180	10,6	9,87	127,1	20
	3	1180	9,8	15,1	126,6	20
	4	1220	9,3	7,30	19,8	20
	5	1200	9,3	8,93	130,5	20
Tejp B áldrad	6	1410	12,6	25,8	33,2	20
	7	1360	21,5	24,5	45,3	20
	8	1370	12,6	26,0	66,7	20
	9	1350	12,9	23,3	40,0	20
Tejp A oáldrad	10	1370	13,9	25,9	30,7	20
	11	1340	41,5	25,7	47,8	20
	12	1310	35,3	26,0	43,2	20
	13	1290	29,6	23,4	29,9	20
	14	1300	39,2	25,8	41,8	20
Tejp A áldrad	15	1290	40,9	24,7	53,7	20
	16	1530	34,0	30,4	59,3	20
	17	1670	160,8	32,6	163,0	20
	18	1600	138,6	31,2	138,8	20
	19	1570	110,9	31,4	111,0	20
Gummi stos med tejp oáldrad	20	1570	83,6	30,8	89,9	20
	21	1360	30,0	8,15	103,6	20
	22	1450	36,2	-	-	20
	23	1320	34,4	16,6	118,9	20
	24	1290	28,0	20,3	132,6	20
Gummistos med tejp áldrad	25	1330	22,9	-	-	20
	26	1400	10,8	28,0	10,9	20
	27	1320	8,6	25,8	8,7	20
	28	1440	13,4	25,9	15,1	20
	29	1450	12,3	28,7	12,6	20
Butylband oáldrad	30	1460	12,1	19,1	15,1	20
	31	1060	14,1	6,35	28,9	20
	32	1080	17,4	-	-	20
	33	1060	16,6	6,33	37,3	20
	34	1040	14,8	6,25	32,1	20
Butylband Áldrad	35	1010	14,4	6,07	30,2	20
	36	1300	23,7	7,81	44,6	20
	37	1190	37,8	2,37	77,6	20
	38	1200	31,7	7,18	60,1	20
	39	1220	28,0	7,29	52,6	20
Fogmassa A oáldrat 50 mm/min max 200 mm	40	1340	32,7	8,02	57,3	20
	41	1390	199,6	-	-	20
	42	1410	199,7	-	-	20
Fogmassa A oáldrat 200mm/min	43	1400	199,7	-	-	20
	44	1850	364,3	20,3	433,9	20
	45	1870	413,3	22,0	435,5	20
Fogmassa A áldrat 200 mm/min	46	1780	364,8	10,5	414,9	20
	47	1830	392,0	10,9	434,1	20
	48	1880	402,2	23,8	422,8	20
	49	1840	422,7	28,6	436,8	20
	50	1770	337,7	24,3	383,1	20
	51	1760	398,8	24,8	415,6	20
	52	1820	415,6	27,2	431,0	20

Series graph:

Sub-series identifier 2: Tejp B oáldrad

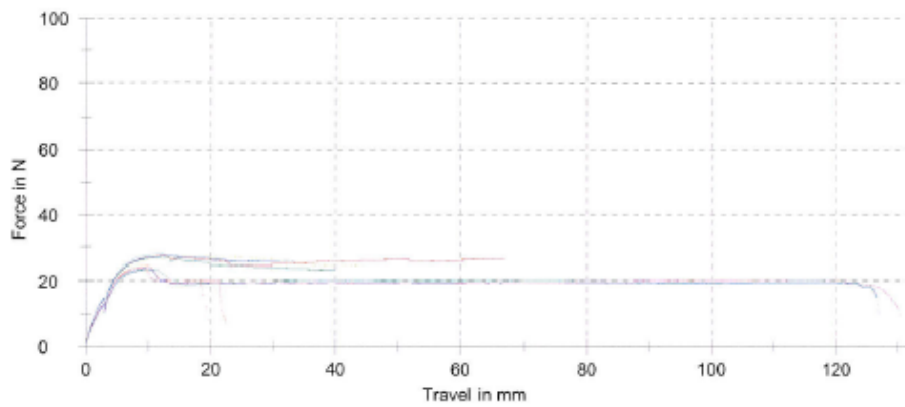


Sub-series identifier 2: Tejp B áldrad

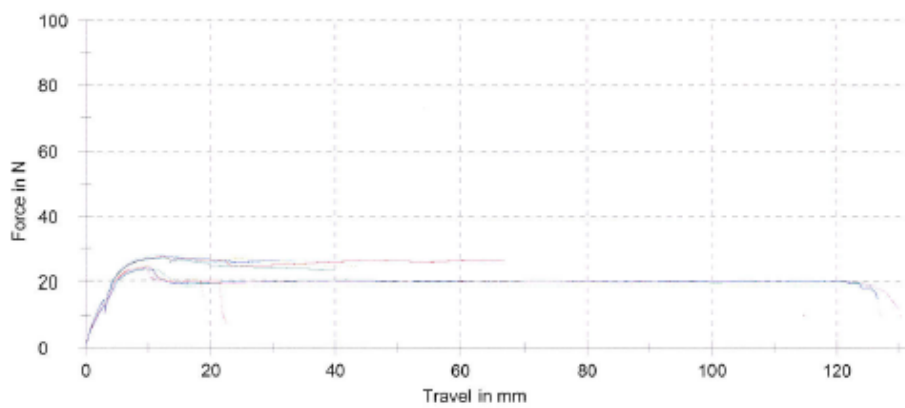


Series graph:

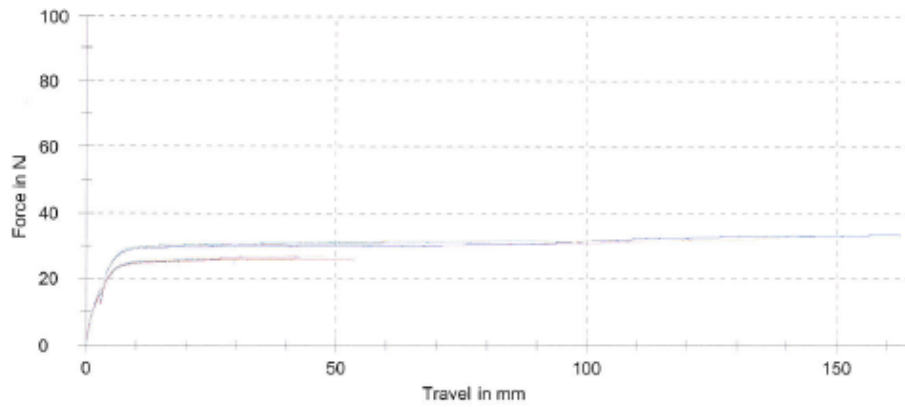
Sub-series identifier 2: Tejp B oåldrad



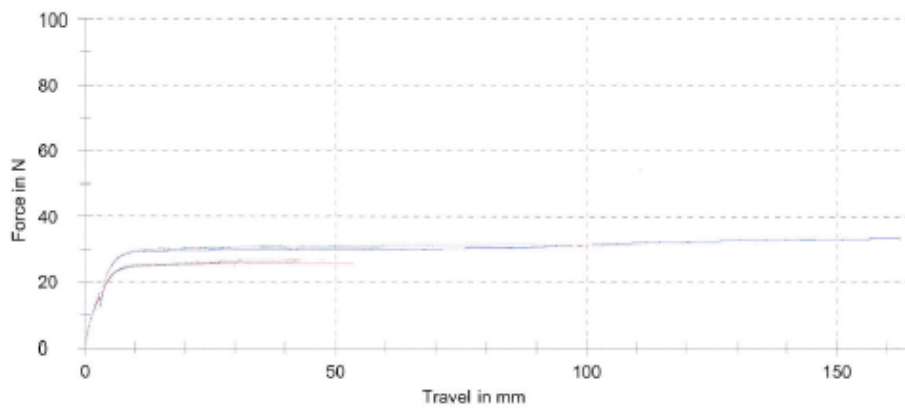
Sub-series identifier 2: Tejp B åldrad



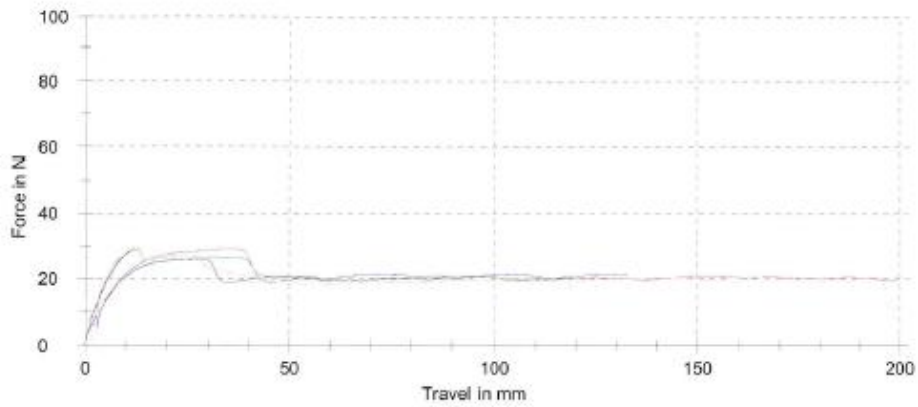
Sub-series identifier 2: Tejp A oáldrad



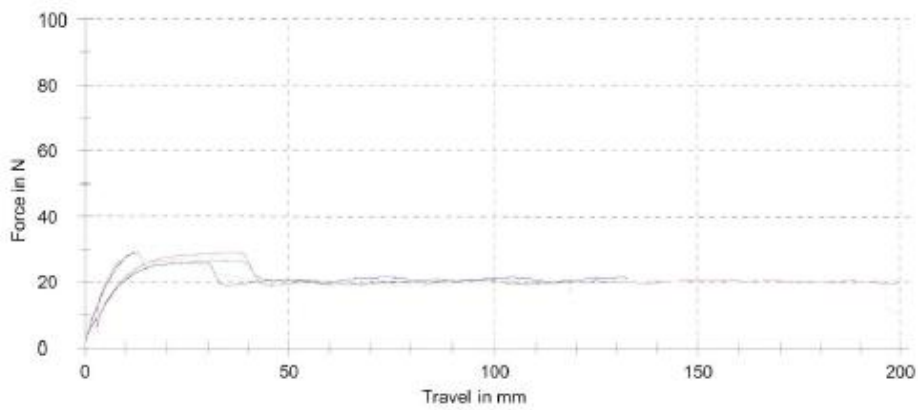
Sub-series identifier 2: Tejp A áldrad



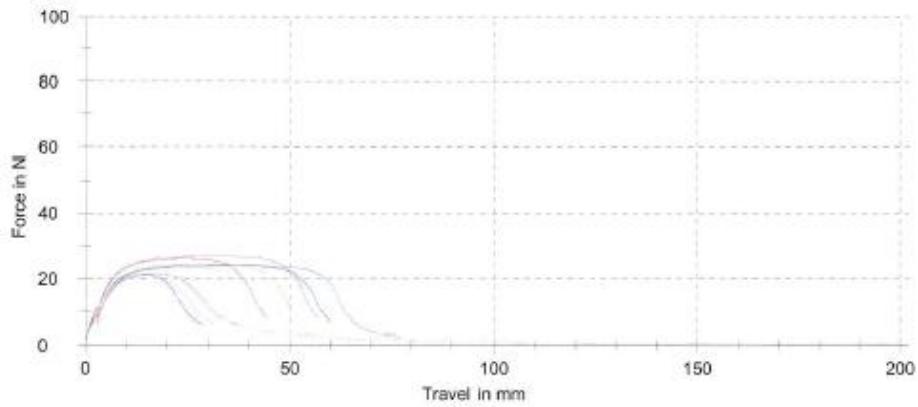
Sub-series identifier 2: Gummi stos med tejp oåldrad



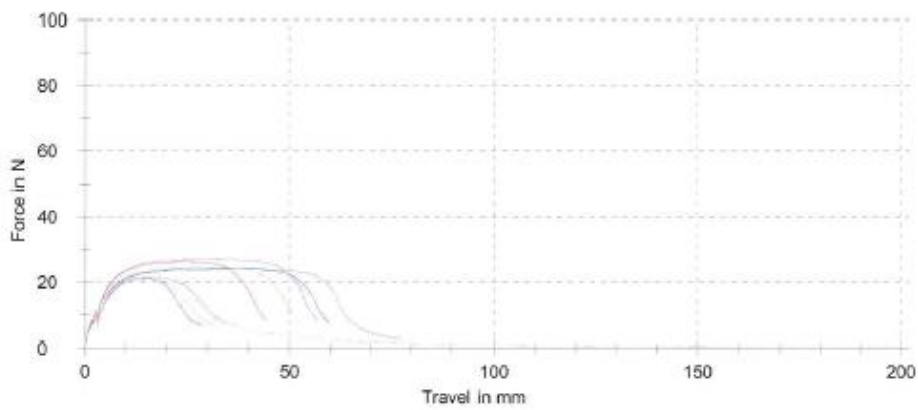
Sub-series identifier 2: Gummistos med tejp åldrad



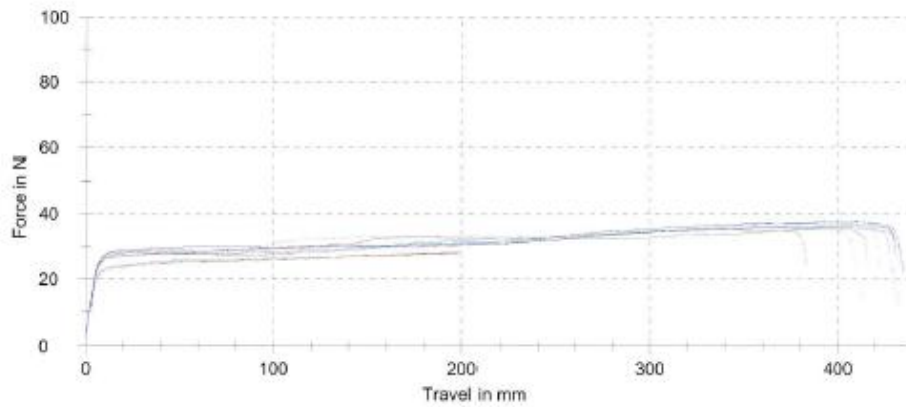
Sub-series identifier 2: Butylband oáldrat



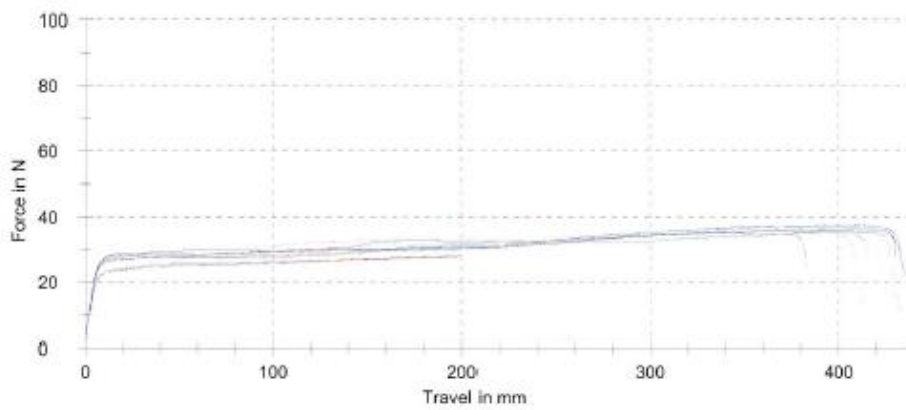
Sub-series identifier 2: Butylband Áldrat



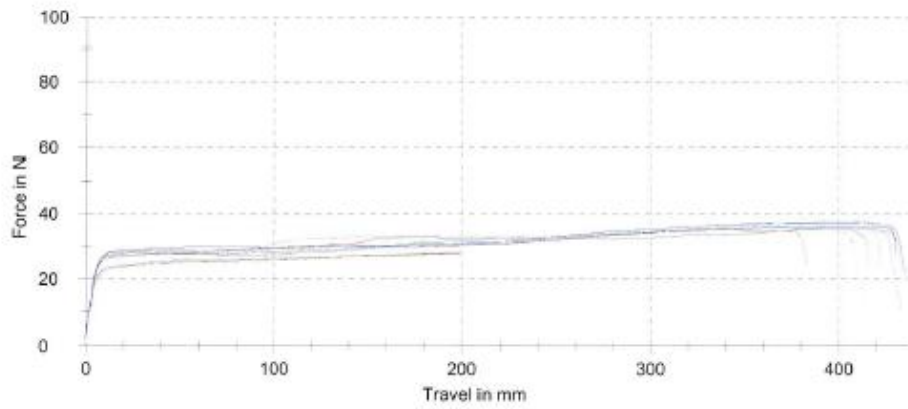
Sub-series identifier 2: Fogmassa A oáldrat 50 mm/min max 200 mm



Sub-series identifier 2: Fogmassa A oáldrat 200mm/min



Sub-series identifier 2: Føgmassa A åldrat 200 mm/min



Statistics: Tejp B oáldrad

n = 5	F _{max} N/m	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
\bar{x}	1200	9,8	9,68	85,3	20
s	18,7	0,5	3,23	58,6	0,000
v	1,56	5,28	33,39	68,63	0,00

Tejp B áldrad n = 5	F _{max} N/m	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
\bar{x}	1370	14,7	25,1	43,2	20
s	22,2	3,8	1,20	14,3	0,000
v	1,62	25,96	4,78	33,20	0,00

Tejp A oáldrad n = 5	F _{max} N/m	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
\bar{x}	1310	37,3	25,1	43,3	20
s	21,8	4,9	1,11	8,8	0,000
v	1,67	13,20	4,41	20,37	0,00

Tejp A áldrad n = 5	F _{max} N/m	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
\bar{x}	1590	105,6	31,3	112,4	20
s	52,0	49,4	0,822	40,6	0,000
v	3,28	46,81	2,63	36,09	0,00

Gummi stos med tejp oáldrad n = 5	F _{max} N/m	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
\bar{x}	1350	30,3	15,0	118,4	20
s	58,3	5,3	6,22	14,5	0,000
v	4,31	17,49	41,43	12,26	0,00

Gummistos med tejp áldrad n = 5	F _{max} N/m	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
\bar{x}	1410	11,4	25,5	12,5	20
s	57,7	1,8	3,78	2,8	0,000
v	4,08	15,87	14,83	22,28	0,00

Butylband oáldrad n = 5	F _{max} N/m	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
\bar{x}	1050	15,5	6,25	32,1	20
s	23,7	1,4	0,128	3,7	0,000
v	2,26	9,31	2,06	11,47	0,00

Butylband Áldrad n = 5	F _{max} N/m	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
\bar{x}	1250	30,8	6,53	58,4	20
s	67,3	5,3	2,35	12,2	0,000
v	5,38	17,18	36,01	20,93	0,00

Fogmassa A oáldrad 50 mm/min max 200 mm n = 3	F _{max} N/m	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
\bar{x}	1400	199,7	-	-	20
s	7,07	0,0	-	-	0,000
v	0,51	0,02	-	-	0,00

Fogmassa A oáldrat 200mm/min n = 4	F_{max} N/m	$dL(F_{max})$ mm	F_{Break} N	$dL(Break)$ mm	b_0 mm
\bar{x}	1830	383,6	15,9	429,6	20
s	40,3	23,7	6,08	9,8	0,000
v	2,20	6,17	38,18	2,29	0,00

Fogmassa A áldrat 200 mm/min n = 5	F_{max} N/m	$dL(F_{max})$ mm	F_{Break} N	$dL(Break)$ mm	b_0 mm
\bar{x}	1810	395,4	25,7	417,8	20
s	48,7	33,7	2,06	21,0	0,000
v	2,69	8,53	8,01	5,03	0,00

Test report

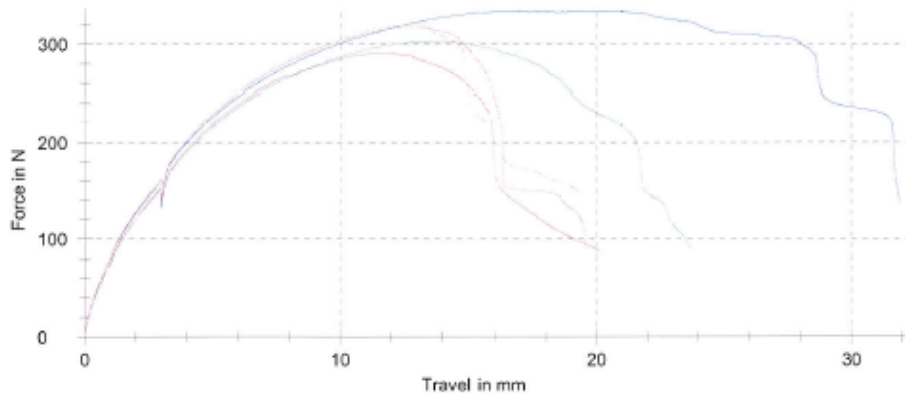
Customer	:		Specimen type	:	
Job no.	:		Pre-treatment	:	
Test standard	:	SP-metod 4372	Tester	:	
Type and designation of	:		Notes...	:	
Material	:		Machine data	:	
Specimen removal	:			:	
Pre-load	:	0,5 N			
Speed in the section	:	5 mm/min			
Speed up to the end of test	:	50 mm/min			

Test results:

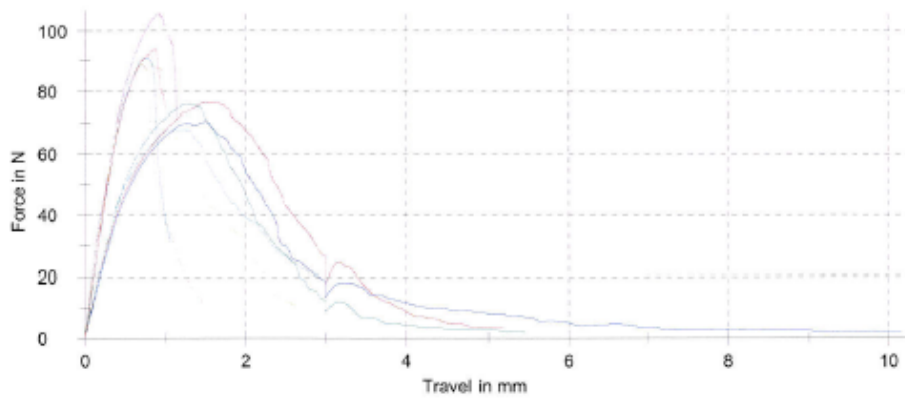
Sub series identifier 2	F _{max} MPa	dL(F _{max}) mm	F _{break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
Fogmassa D óáldrad	0,484	11,7	87,2	20,2	50
	0,505	13,9	90,0	23,7	50
	0,557	20,1	134	32,0	50
	0,533	12,8	140	19,4	50
	0,529	12,8	93,8	19,6	50
Fogskum A óáldrad	0,113	1,1	20,3	2,8	50
	0,119	1,0	10,5	2,6	50
	0,128	1,5	3,07	5,2	50
	0,126	1,3	1,72	5,4	50
	0,117	1,5	1,79	10,2	50
Fogskum A áldrad	0,147	0,9	85,4	1,0	50
	0,176	0,9	71,3	1,1	50
	0,152	0,7	30,3	1,1	50
	0,148	0,7	10,1	1,5	50
Fogmassa B óáldrad	0,157	0,9	74,2	1,0	50
	-	-	-	-	50
	0,599	17,7	295	20,2	50
	0,514	12,2	93,0	16,3	50
	0,500	11,4	42,6	17,8	50
Fogmassa B áldrad	0,617	17,8	41,3	21,5	50
	0,646	20,9	235	23,4	50
	0,323	6,4	43,1	9,6	50
	0,291	5,6	37,0	7,6	50
	0,296	5,8	48,9	8,5	50
	0,302	5,6	27,5	9,8	50
	0,334	7,3	19,9	10,3	50

Series graph:

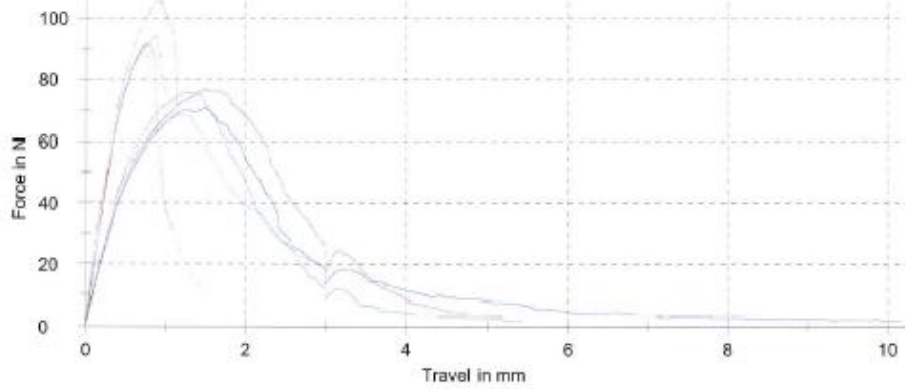
Sub-series identifier 2: Fogmassa D oáldrad



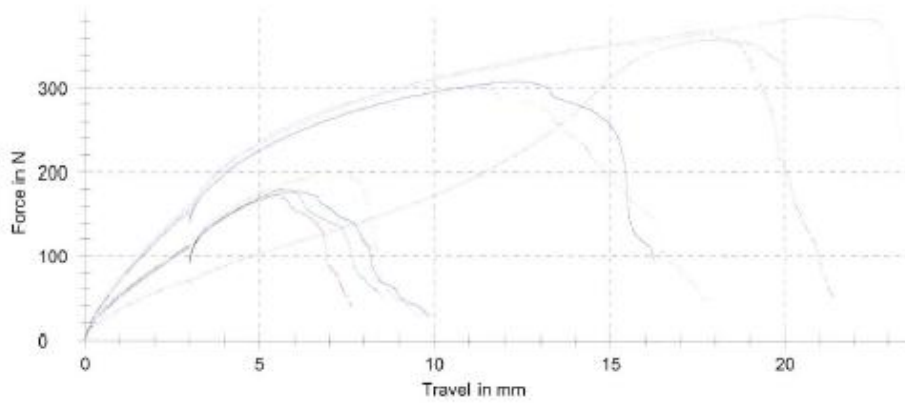
Sub-series identifier 2: Fogskum A oáldrad



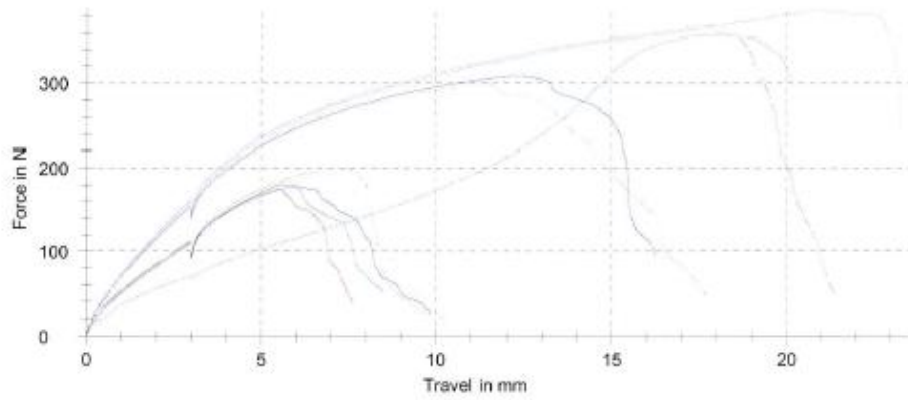
Sub-series identifier 2: Fogskum A áldrad



Sub-series identifier 2: Fogmassa B óáldrad



Sub-series identifier 2: Fogmassa B áldrad



Statistics: Fogmassa D oáldrad

n = 5	F _{max} MPa	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
x	0,522	14,3	109	23,0	50
s	0,0279	3,4	25,7	5,3	0,000
v	5,35	23,50	23,59	23,22	0,00

Fogskum A oáldrad

n = 5	F _{max} MPa	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
x	0,121	1,3	7,47	5,2	50
s	0,00613	0,2	8,02	3,0	0,000
v	5,08	18,50	107,38	58,04	0,00

Fogskum A áldrad

n = 5	F _{max} MPa	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
x	0,156	0,8	54,3	1,1	50
s	0,0118	0,1	32,3	0,2	0,000
v	7,55	11,53	59,57	19,17	0,00

Fogmassa B oáldrad

n = 5	F _{max} MPa	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
x	0,575	16,0	141	19,8	50
s	0,0646	4,0	117	2,8	0,000
v	11,23	25,16	82,55	14,36	0,00

Fogmassa B áldrad

n = 5	F _{max} MPa	dL(F _{max}) mm	F _{Break} N	dL(Break) mm	b ₀ mm
x	0,309	6,1	35,3	9,2	50
s	0,0185	0,7	11,7	1,1	0,000
v	5,98	12,10	33,23	11,80	0,00



08.11.2012

utförd 7/11-2012
/a

Parameter table: Projekt : P902803-01 Pre-load : 2 N
 Provdatum : 12.11.07 Test speed : 500 mm/min
 Material : 0,12 mm film Machine data: Machine data()

Results:*Film*

Serie	Specimen no.	Bredd mm	Tjocklek mm	Fm N	Fm MPa	Töjning vid Fm %	Töjning Fb %
Läng före åldring	1	20	0,115	69,24	30,1	786	786
	2	20	0,116	69,67	30,0	785	785
	3	20	0,116	67,38	29,0	764	764
	4	20	0,117	63,49	27,1	724	724
	5	20	0,108	59,63	27,6	715	715
Läng efter åldring	6	20	0,108	51,99	24,1	664	664
	7	20	0,108	52,37	24,2	665	665
	8	20	0,115	57,83	25,1	693	693
	9	20	0,111	57,31	25,8	716	716
	10	20	0,117	60,91	26,0	733	733



08.11.2012

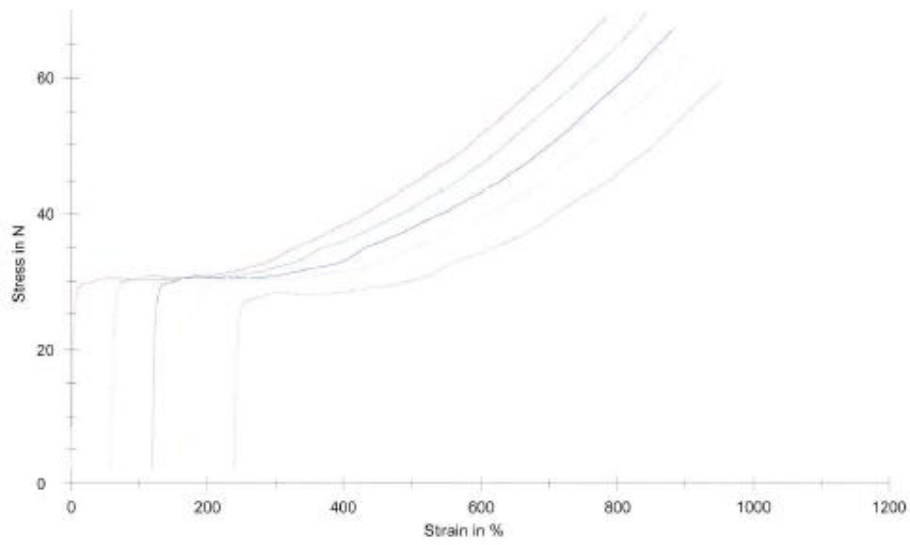
Statistics:

Läng före åldring n = 5	Bredd mm	Tjocklek mm	Fm N	Fm MPa	Töjning vid Fm %	Töjning Fb %
x	20	0,114	65,88	28,8	755	755
s	0,000	0,004	4,26	1,4	33	33
v	0,00	3,19	6,47	4,75	4,42	4,42

Läng efter åldring n = 5	Bredd mm	Tjocklek mm	Fm N	Fm MPa	Töjning vid Fm %	Töjning Fb %
x	20	0,112	56,08	25,1	694	694
s	0,000	0,004	3,82	0,9	31	31
v	0,00	3,66	6,81	3,55	4,40	4,40



08.11.2012

Series graphics:



08.11.2012

