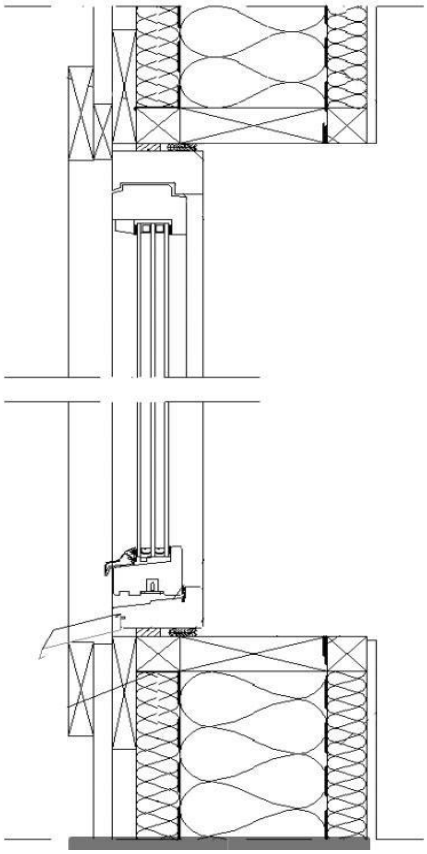
CHALMERS



Täthet runt öppningar

Förbättringsundersökning för fönsterlösningar i prefabricerade trähus med fokus på luftläckage

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Emanuel Billemar
Oscar Konkell

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Byggnadsfysik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2019
Examensarbete ACEX20-19-4

EXAMENSARBETE ACEX20-19-4

Täthet runt öppningar

Förbättringsundersökning för fönsterlösningar i prefabricerade trähus med fokus på luftläckage

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

EMANUEL BILLEMAR

OSCAR KONKELL

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Byggnadsfysik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2019

Täthet runt öppningar
Förbättringsundersökning för fönsterlösningar i prefabricerade trähus med fokus på luftläckage

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

EMANUEL BILLEMAR

OSCAR KONKELL

© EMANUEL BILLEMAR, OSCAR KONKELL, 2019

Examensarbete ACEX20-19-4
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2019

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Byggnadsfysik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Fönsteröppning (A-hus, 2019)

Chalmers reproservice/Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

.

Täthet runt öppningar
Förbättringsundersökning för fönsterlösningar i prefabricerade trähus med fokus på luftläckage

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

EMANUEL BILLEMAR

OSCAR KONKELL
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Byggnadsfysik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

SAMMANFATTNING

Syftet till arbetet har varit att analysera de nuvarande konstruktionslösningar som A-hus använder vid öppningar i allmänhet, och fönsteröppningar i synnerhet. Motivationen till detta har drivits av disciplinerna lufttäthet, fukt, energi och ekonomi. Dagens lösning innebär att man inte viker in plastfolien i fönstersmygen på traditionellt vis, utan avslutar den vid den längsgående regeln och fäster denna med en fogmassa av butyl. Den använda metoden har varit kombinerad av en teoretisk litteraturstudie, fuktmätningar i stomvirke samt en intervjustudie med personer direkt och indirekt inblandade i den konstruktionstekniska lösningen.

Litteraturstudien består av en teoretisk del där förutsättningar och möjlig problematik beskrivs för träbyggnader. Fukttransport behandlas i form av dess drivkrafter och mekanismer, samt hur man bör förhålla sig till dessa. Vidare beskrivs vikten av lufttäthet och värmeförluster genom klimatskalet på byggnaden. Där beskrivs hur en provtryckning genomförs samt hur påföljande läckagesökning går till. Några exempel beskrivs på välbeprövade, konventionella lösningar med plastfolie indragen i fönstersmyg.

I fuktmätningsstudien fanns det anledning att enligt beräkningar tro att stomvirke riskerar att vrida och krympa till den grad att konstruktionen kan bli otät. Som exempel har det kunnat visas på att en regel av dimensionen 45·170 mm möjligen skulle kunna formförändras till 45·164 mm över tid. Intervjustudien visade på att man vet sig ha en bra produkt, men är mer oenig kring effekten på den nuvarande lösningen då butylfogen ännu är relativt obeprövad.

Slutsatsen till detta blev sammantaget att man med säkerhet initialt har en bra produkt i alla avseenden, vilken dock riskerar att ändras över tid. De täthetsprövningar man gör initialt har goda resultat, men följs inte upp. Information om lufttäthet över en längre tid saknas och kan därför inte garanteras.

Sammantaget detta har det kunnat presenteras olika alternativ där dagens lösning beskrivs som det produktionseffektivaste alternativet. Jämte detta påvisas det ett troligt tätare och beständigare alternativ, samt ett kompromissande alternativ. Det tätare alternativet innebär exempelvis att plastfolie viks in i fönstersmygarna istället för att skäras bort, samt att mjukfogen i hörn byts ut mot den elastiska butylfogen.

Nyckelord:

Lufttäthet, Energi, Butyl, Plastfolie, Träbyggnad, Prefab, A-hus, Derome, Blower door, Fukt

Airtightness around openings

Improvement study for window solutions in prefabricated wooden houses with a focus on air leakage

Degree Project in the Engineering Programme

Civil and Environmental Engineering

EMANUEL BILLEMAR

OSCAR KONKELL

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Building Technology
Building physics
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The reason for the work has been to analyze the current design solutions that A-hus use in openings in general, and window openings in particular. The motivation for this has been driven by the disciplines of airtightness, humidity, energy and economy. Today's solution means that they do not fold in the plastic film in the window mold in the traditional way but finish it at the longitudinal stud and attach it with a sealant of butyl.

The method used has been combined with a theoretical literature study, humidity measurements in logs and an interview study with participants directly and indirectly involved in the design engineering solution. The literature study consists a theoretical part where the conditions and possible problems are described for wooden buildings. Moisture transport is treated in the form of its driving forces and mechanisms, and how to relate to these. Furthermore, the importance of airtightness and heat loss through the climate shell of the building is described. It describes how a test print is carried out and how the subsequent leakage search takes place. Some examples are described on well-tried, conventional solutions with plastic wrap embedded in window sieves.

In the moisture measurement study, there was reason, according to calculations, to believe that the truncated wood runs the risk of twisting and shrinking to the extent that the construction can become impervious. As an example, it has been shown that a rule of the dimension 45 · 170 mm could possibly be changed to 45 · 164 mm over time. The interview study showed that one knows how to have a good product but is more disagreeable about the effect on the current solution since the butyl joint is still relatively untested.

Overall, the conclusion was that, with certainty, one has a good product in all respects, which risks changing over time. The tightness tests done initially have good results but are not followed up. There is no information on airtightness over a long period and therefore cannot be guaranteed. All in all, this has been possible to present various alternatives where today's solution is described as the most efficient alternative. Alongside this, it is shown to be a probably denser and more durable alternative, as well as a compromising alternative. The more air tight alternative means for example that the plastic film folds in inside the embrasures instead of being cut off, and that the sealant in corners gets replaced by the elastic butyl sealant.

.

Key words:

Air tightness, Energy, Butyl, Plastic film, Wooden building, Prefab, A-house, Derome, Blower door, Moisture

SAMMANFATTNING
ABSTRACT
INNEHÅLLSFÖRTECKNING
FÖRORD
1. Introduktion 1
1.1 Syfte och mål 1
1.2 Avgränsning 1
1.3 Metod 1
1.4 Rapportens disposition 2
2. Träbyggnad 3
2.1 Ytterfasaders uppbyggnad och funktion 3
2.2 Konsekvenser av luftläckage genom fasad 4
2.3 Energi 5
2.4 Trä i prefabricerade planelement 5
2.4.1 Tekniska möjligheter 5
3. Fukt- luft- och värmetransport 7
3.1 Fukttransport 7
3.2 Lufttransport 8
3.3 Värmetransport 8
3.4 Konvektiva drivkrafter i bostaden 8
4. Lufttäthet & värmeförluster genom klimatskalet 9
4.1 Undersökning av luftläckage 9
4.2 Luftströmning genom otätheter 12
4.3 Täthet kring fönster 13
4.4 Tidigare mätningar från liknande undersökning 14
5. Fukt i trä 16
5.1 Fukt på byggarbetsplatsen 16
5.2 Formförändring 16
6. Fuktmätningsstudie 18
6.1 Resultat 20
7. Intervjustudie 22
7.1 Underlag 22
7.2 Resultat 23
8. Diskussion & slutsats 27
8.1 Fukt 27
8.2 Täthet & Energi 28

.

8.3 Arbetsinsats 29
8.4 Åtgärd 30
Referenser 33
Bilaga A Längd- och volymförändring 36
Bilaga B Fuktmätningar 39
Bilaga C Anvisningar 42
Figurförteckning 44

Förord

Denna rapport speglar vårt examensarbete som är genomfört på Chalmers tekniska högskola som en del av vår utbildning till högskoleingenjörer inom samhällsbyggnadsteknik. Examensarbetet är skrivet på avdelningen Byggnadsteknologi vid institutionen Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik. Vi har haft nöjet att samarbeta med A-hus AB som är en del av Deromegruppen, vilka har tagit fram den ursprungliga idén till arbetet. Den ursprungliga idén har modifierats något på vägen.

Ett särskilt tack vill vi rikta till vår handledare Paula Wahlgren som har stöttat oss genom hela arbetet och bidragit med expertis inom området, goda idéer och inspiration.

Vi vill tacka A-hus för att ha tagit emot oss som examensarbetare, ett extra tack till Jimi Leo som har varit vår handledare på företaget och som visat oss runt på företaget och med öppenhet tagit emot oss. Ett stort tack vill vi även rikta till teknisk chef Anders Carlsson för goda råd och inspiration. Tack till de personer som tog sig tid att bli intervjuade och därav möjliggjorde intervjustudien. Några av dessa intervjupersoner är, Anders Carlsson, Jimi Leo, Carl-Gustaf Petersson, Carl Rivesjö och John Karlsson. Av dessa så skall ett extra tack riktas till produktionscheferna Carl Rivesjö och John Karlsson som på ett smidigt sätt hjälpte oss att tillverka en genomskärning av fönsterdetaljen som kan presenteras vid redovisning.

Stort Tack!

Göteborg juni 2019
Emanuel Billemar och Oscar Konkell

`

1. Introduktion

Idag är hållbart byggande relevant vid all byggnation oavsett om det är nybyggnation, ombyggnation eller underhåll som ska utföras. Det hållbara byggandet är inte minst viktigt för att minska negativ påverkan på miljön. En aspekt för att minska negativ miljöpåverkan är energieffektivitet och att låta byggnader bli så lufttäta och därmed energisnåla som möjligt. Byggreglerna ställer högre krav och energi är något som borde hanteras varsamt och på ett icke slösaktigt sätt. Genom att motverka energiförluster från byggnader kan en större del av den icke alltid så miljövänliga energiproduktionen hållas tillbaka. Vid hög lufttäthet kan en byggnads luftomsättning bestämmas genom ventilation vilket innebär en högre energieffektivitet.

1.1 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att analysera A-hus nuvarande lösningar för lufttäthet i fönsteranslutningar. Lufttätheten ska ställas i relation till fukt, energi och ekonomi. Resultat kommer att användas till att utveckla förslag till förbättringar av produkten. Målet är att med detta arbete kunna komma med förslag samt dra slutsatser som kan ligga till grund för framtida täthetslösningar.

1.2 Avgränsning

Fokus i arbetet ligger på A-hus lösning vid främst fönster- och dörröppningar, där en plastfolie används som tätskikt. Plastfolien kläms fast tillsammans med en butylfog mellan väggreglar. Lösningen kommer att analyseras i sin helhet med fokus främst på material och täthet. Störst fokus ligger kring täthet, fukt och energi. Där olika beräkningar och mätningar har gjorts.

1.3 Metod

En litteraturstudie har legat till grund för arbetet då en viss grundläggande kunskap krävs för att kunna jämföra traditionella byggnadstekniker med den i arbetet analyserade. Tillsammans med litteraturstudien gjordes teoretiska beräkningar baserat på egenskaperna hos stommaterialet. Dessa har legat till grund för delar av slutsatserna.

Studiebesök i fabrik har varit nödvändigt för fuktmätningar i stomvirke under produktionscykeln.

En intervjustudie har genomförts där ett underlag togs fram för att få bred ingångsvinkel i ämnet där passande frågor kunde ställas till rätt intervjuperson. Intervjuerna genomfördes med olika befattningshavare för att kunna säkerställa olika perspektiv på den nuvarande lösningen.

Ett studiebesök på Kvibergsskolan har gjorts för att medverka och se hur en verklig provtryckning utförs samt de kompletterande läckagesökningarna görs i samband med denna.

Sammantaget detta har förslagsåtgärder tagits fram som skall kunna säkerställa en energimässigt högpresterande och fuktsäker konstruktionsdetalj.
Vidare har det fokuserats på att undersöka eventuella svagheter i nuvarande konstruktionslösning.

1.4 Rapportens disposition

- ***Kapitel 2.*** *Träbyggnad.* Detta kapitel är ett övergripande och teoretiskt kapitel som behandlar träbyggnaders krav och egenskaper. Det tar även upp tekniska möjligheter i allmänhet och prefabrikationsmöjligheterna i synnerhet.
- ***Kapitel 3.*** *Fukt- luft- och värmetransport.* Här beskrivs drivkrafterna och transportmekanismerna som ligger till grund för potentiell fukt- och täthetsproblematik.
- ***Kapitel 4.*** *Lufttäthet.* I detta kapitel behandlas byggnadens behov av lufttäthet. Som en naturlig fortsättning till kapitel 3 tas även genomförandet av provtryckning upp. Kompletterande beskrivs läckagesökning i form av sökning med termograferingskamera och varmtrådsanemometer, samt beräkningsmetod för luftströmning i otätheter.
- ***Kapitel 5.*** *Fukt i trä.* Teorin kring fuktproblematik i trä samt hur materialet agerar i uttorkningsstadie. Här behandlas formförändring av trä som ligger till stor grund för slutsatserna.
- ***Kapitel 6.*** *Fuktmätningsstudie.* Här presenteras de resultat som åstadkoms vid den praktiska fuktmätningen i fabriksmiljö.
- ***Kapitel 7.*** *Intervjustudie.* I detta kapitel redovisas utvalda resultat från intervjustudien samt underlaget i sin helhet.
- ***Kapitel 8.*** *Diskussion och slutsats.* Resultat, teoretiska beräkningar och litteraturunderlag knyts samman och analyseras. Kapitel 8 är uppdelat i 3 deldiskussioner: Fukt, Täthet och Energi, Arbetsinsats och avslutas och åtgärdsförslag.

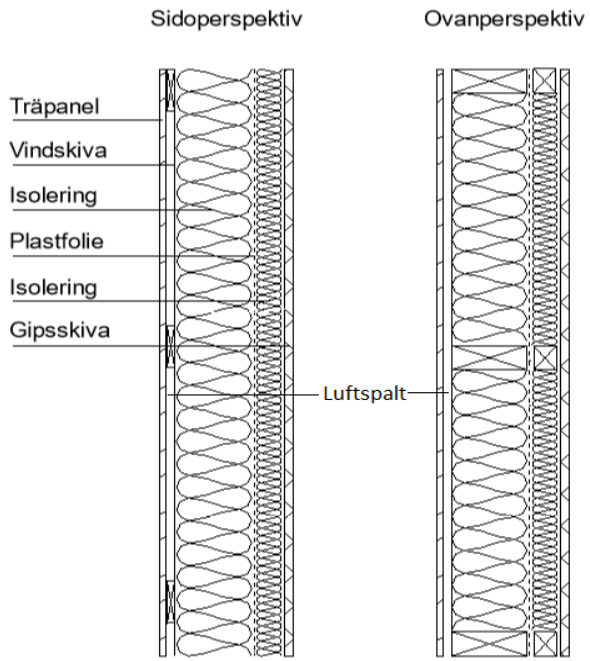
2. Träbyggnad

Av de traditionella byggmaterialen stål, betong och trä så sticker trä ut på ett sätt gällande koldioxidutsläpp. Till skillnad från stål och betong så binder trä koldioxid och bidrar därmed till en bättre miljö (Derome, 2019).

Utöver att trä är ett förnybart byggnadsmaterial (Svenskt trä, 2015) så tillåts vår tids tekniker att konstruera byggnader som förr inte var möjliga i trä. Den korslimmade tekniken får träkonstruktioner att bli starka och möjliggör höga byggnader. I stadsdelen Kajstaden i Västerås har Sveriges högsta massivträhus på åtta och en halv våning med stomme i trä rests (Asplind, 2019). Förbudet mot fler än två våningar i trä togs bort 1994 och om trenden fortsätter lär ännu högre hus byggas i Sverige. Prefabrikationstekniken tillåter element att tillverkas i en kontrollerad miljö där kvalitén kan stå i fokus.

2.1 Ytterfasaders uppbyggnad och funktion

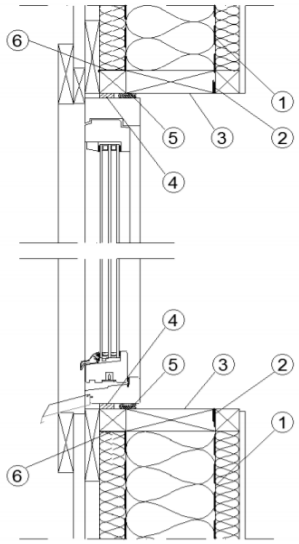
En ytterfasad är en del av klimatskärmen och med klimatskärm menas de delar i en byggnad som gränsar mot uteluften (Strandberg, 2015). Ett trivsamt inneklimat skiljer sig ofta från uteklimatet och dess variationer, därför finns generella funktionskrav som ska uppfyllas genom fasaden. Följande krav ska uppfyllas: Tillräckligt värmeisolerande, fuktskyddande, hållbara samt en acceptabel miljöbelastning (Peterson, 2014). Det finns olika material som skyddar bättre och sämre mot olika sorters klimatbelastningar vilket ofta leder till att en yttervägg består av flera olika lager. Det är framförallt byggnadens lufttäthet som står i fokus i denna undersökning.



Figur 2.1. Profiler av en yttervägg

Träpanelen skyddar mot regn, vind och mekaniska stötar. Luftspalten gör det möjligt för träpanelen att torka ut, isoleringen minskar värmetransport mellan insida och utsida. Diffusionsspärren (plastfolie i Figur 2.1) hindrar varm och fuktig inneluft från att ta sig ut i stommen. Gipsskivan är lätthanterlig och har fördelar i brandsynpunkt.

En väl fungerande och ur energisynpunkt effektiv fasad eller ytterväg skulle kunna se ut som ytterväggen i Figur 2.1, utan avbrott för fönster och dörrar. Om arbetet gjorts noggrant skulle väggen få fina egenskaper vad gäller tidigare nämnda funktionskrav. I Plan- och bygglagen (PBL 2010:900) 8 kap 4 § anges tydligt att fasaden ska vara lämplig för det avsedda ändamålet vilket innebär att fönster och dörrar ska finnas, anslutningar av dörrar och fönster innebär att flera element sätts samman vilket leder till att luftläckage kommer uppstå. Detta leder alltid till energiförluster i bostaden. Den fönsterlösning som ska undersökas ser ut enligt figur 2.2.



Figur 2.2 Fönsterlösningen. 1. Plastfolie, 2. Butylmassa, 3. Mjukfog i hörn, 4. Fogband, 5. Plastad drevremsa, 6. Vindduk runt fönster.

2.2 Konsekvenser av luftläckage genom fasad

Övertryck inuti en byggnad jämfört med utanför byggnaden leder till att varm inneluft läcker ut genom otätheter i husets klimatskal. Detta leder till att den energi som används för att värma huset delvis går förlorad och innebär förluster ur en ekonomisk synpunkt. Luftläckage genom otätheter kan ge en ökad fuktighet kring den specifika otätheten vilket kan leda till fuktskador som är förödande för konstruktionens beständighet. (Sandberg, 2004)

Undertryck inuti en byggnad kommer leda till att kall luft utifrån kan ta sig in i huset, då luft rör sig från höga tryck till låga tryck, vilket leder till en högre energiförbrukning samt förluster ekonomiskt. Att kall luft kan ta sig in under okontrollerade former kan dessutom leda till att ytor på insidan kyls ner och eventuellt leder till mögelbildning från kondens eller höga fuktigheter, då luft transporterar både fukt och värme. Utifrån dessa premisser skulle det

.

bästa vara att luft utifrån endast tas in under kontrollerade former genom ventilationskanaler. Det skulle också vara viktigt att läckage genom fasaden skulle minimeras.

2.3 Energi

Under 2016 stod bygg- och fastighetssektorn för cirka 37% av Sveriges inhemska energianvändning vilket motsvarar ungefär 122 TWh. Dessutom importerar sektorn varor som ger ett tillskott utomlands, ungefär 10 TWh. Det är framförallt uppvärmning och transporter som är energikrävande och är därför de största bidragsfaktorerna (BBR, 2019). I slutet av år 2017 var antalet bostadslägenheter i Sverige nästan fem miljoner (SCB, 2018) även om nybyggnation endast är en del i bygg- och fastighetssektorn så är förbättringar av värde.

2.4 Trä i prefabricerade planelement

Prefabricerade byggnadselement innebär att ett byggnadselement tillverkas i fabrik under kontrollerade miljöer, istället för att elementet byggs på arbetsplatsen.

Ur ett historiskt perspektiv så är trä vårt absolut viktigaste byggnadsmaterial i norra Europa. Dess stora potential ur ett miljöperspektiv och ett konstruktionstekniskt perspektiv gör det till ett viktigt material än idag (Research Institutes of Sweden, 2019).

Eftersom trä som byggmaterial använts i hundratals år medför det att en bred kunskap finns kring användningen. Eftersom vi känner materialet så väl så tillåts vi numera att bygga även flervåningshus i trä (Burström, 2015).

Trä är ett hygroskopiskt material vilket innebär att det absorberar den omgivande luftens fukt och temperatur vid kontakt med den och strävar efter jämvikt med omgivningen. Virke av gran är ett vanligt konstruktionsvirke i Sverige. Ett kritiskt fukttillstånd för gran uppnås då $RF \geq 85\%$. Därefter är det troligt att mögeltillväxt uppkommer och vid $RF \geq 95\%$ finns stor risk för röta vilket leder till förändring i hållfasthet och beständighet kommer att ske, både mögel och röta är dock temperatur- och tidsberoende (Petersson, 2014).

2.4.1 Tekniska möjligheter

Branschen vittnar om en stor efterfrågan av bostäder i storstäderna, samtidigt som miljöfrågan aldrig varit mer aktuell. Tekniska framgångar har banat väg för byggtekniker som tillåter träbyggnader att bli allt högre, det finns heller ingen begränsning om två våningar. Därför är högre bostadshus av trästomme ett alternativ. “Byggindustrin har förstått att träkonstruktioner medger prefabrikation och att transporterna är lättare än med betongelement” berättar Robert Schmitz från arkitektbyrån White i en intervju med Svenska Dagbladet (SvD, 2016).

Användandet av den prefabricerade byggelementtekniken har funnits för småhus sedan slutet på 1980-talet men blir allt vanligare för andra byggnadsverk så som högre byggnader i korslimmat trä. Prefabrikationens tillverkningssätt ger möjlighet för tillverkaren att under mycket kontrollerade former planera och producera ett planelement åt gången för att senare montera dessa på plats. Graden av prefabricering skiljer sig åt mycket, på så sätt att vissa moduler exempelvis levereras med färdigt kakel på plats och andra inte. Precis som med lösvirkeshus så är tätheten och fuktsäkringen utmaningar. Eftersom att elementen monteras på plats så skall skarvar och öppningar tätas vid montage (Svenskt Trä, 2012).

.

3. Fukt- luft- och värmetransport

Fukt och temperatur hör alltid ihop, luftens mättnadsånghalt bestäms efter vilken temperatur den har. Om mättnadsånghalten överskrids så skapas kondens detta kan man se om det är dimmigt. Kondens är ett fenomen som innebär att varm fuktig luft strömmar till en kallare yta och kyls ner, exempelvis träffar en kall yta. Den kalla ytan kyler den strömmande luften som då får en lägre temperatur och således en lägre mättnadsånghalt. Om den strömmande luften har en högre ånghalt än den nya mättnadsånghalten så kommer fukt fällas ut. Om kondens uppstår i konstruktionen kan det leda till fuktskador. Fukt i inomhusluft benämns även ånghalt [kg/m^3]. Man bestämmer ånghalten inomhus av ånghalten utomhus tillsammans med tillskottet inomhus. Detta kan regleras via ventilation. Ofta vill man hålla ner ånghalten inomhus till en nivå som inte riskerar att ge fuktproblem. I de flesta fall kan ånghalten inne beskrivas enligt sambandet

$$v_{inne} = v_{ute} + v_{tillskott}\ [kg/m^3] \qquad (1)$$

där
v_{inne} $ånghalten\ inne\ [kg/m^3]$
v_{ute} $ånghalten\ ute\ [kg/m^3]$
$v_{tillskott}$ $tillskottsånghalten\ \ [kg/m^3]$

Samtliga ekvationer är hämtade ur (Hagentoft, 2012) om inte annat anges.

3.1 Fukttransport

Fuktdiffusionens drivkraft är att den ständigt försöker utjämna koncentrationsskillnader i ånghalt mellan olika områden (Strandberg, 2015). En yttervägg är ofta varmare på insidan än utsidan vilket innebär att ånghalten varierar i ytterväggen, här finns risk att fuktdiffusion sker. För att undvika att fuktdiffusion sker i känsliga områden så som isoleringen i väggen så används vanligtvis folier, material eller massor som används som diffusionsspärr. Eftersträvansvärt är att bryta diffusionsspärren så sällan som möjligt för att minska risker till fuktproblem. Viktigast med en diffusionsspärr är att den har ett högt ånggenomgångsmotstånd.

$$Z = \frac{d}{\delta} \qquad (2)$$

där

Z $ånggenomgångsmotstånd\ \ (\frac{s}{m})$
$d\ materialskiktets\ tjocklek\ (m)$
δ $ånggenomsläppligheten\ för\ material\ (\frac{m^2}{s})$

Polyetenfolie, även nämnd som plastfolie, är en mycket vanlig diffusionsspärr är endast $0.2\ mm$ tjock och har ett ånggenomgångsmotstånd på $2000 \cdot 10^3\ s/m$ skarvarna bör överlappas och tejpas, alternativt svetsas samman (Petersson, 2014).
Fuktkonvektion till skillnad från diffusion tenderar att handla om betydligt större mängder fukt. Fukt transporteras med strömmande luft vilket rör sig till en plats med lägre lufttryck som därmed har en lägre mättnadsånghalt, då kommer fukten att kondensera vid den nya temperaturen om temperaturen är tillräckligt låg och $v_{luft} > v_{sat}\ (T)[kg/m^3]$ Drivkraften för fuktkonvektion är alltså tryckskillnader i luft ΔP.

3.2 Lufttransport

Luftrörelser uppstår till följd av tryckskillnader, alltså densitetsskillnader i luft, ofta ger temperaturskillnader upphov till dessa. Om luftrörelserna uppstår på ett naturligt sätt genom skorstenseffekten kallas det naturlig konvektion. Om en utomstående parameter ger upphov till luftrörelsen, förslagsvis en fläkt eller ett vindkast, så kallas det påtvingad konvektion.

3.3 Värmetransport

Konvektiv överföring av värme sker där ett fast material och en strömmande fluid gränsar till varandra. Konvektiv värmeöverföring med luft som strömmande fluid sker exempelvis genom en byggnads klimatskal, där den varma inomhusluften ofta läcker till kallare delar (Petersson, 2014). Värme som konvektivt transporteras med luften, till exempel genom en konstruktion kan beräknas enligt:’’

$$\dot{Q} = c \cdot \rho \cdot \Delta T \cdot R_a\ [W] \qquad (3)$$

c $luftens\ specifika\ värmekapacitet\ [Ws/kgK]$
ρ $luftens\ densitet\ [kg/m^3]$
ΔT $temperaturdifferensen\ [K]$
R_a $luftflödet\ [m^3/s]$

3.4 Konvektiva drivkrafter i bostaden

Som tidigare nämnts är drivkraften för luftrörelser skillnad i lufttryck. Skorstenseffekten som skapar luftrörelser till följd av densitetsskillnader för att kall luft har en högre densitet än varm luft. Den varma luften stiger och ett undertryck skapas i byggnadens lägre delar samt ett övertryck i byggnadens övre delar. Skorstenseffekten blir naturligt större med en större temperaturdifferens ΔT. Tryckskillnaderna kan även uppstå genom att vinden blåser på fasaderna, eller genom ett ventilationssystem. I dessa fall gäller det att ha ett väl avvägt ventilationssystem (Strandberg, 2015). Ett ventilationssystem som skapar övertryck i byggnaden riskerar att pressa fuktig luft från byggnader ut i konstruktionen. Frånluftsystem skapar i regel alltid undertryck i byggnaden, vilket är positivt ur en fuktsäkerhetssynpunkt, men är vanligen inte lika effektiv som ett från- och tilluftssystem med avseende på energi (Strandberg, 2015).

4. Lufttäthet & värmeförluster genom klimatskalet

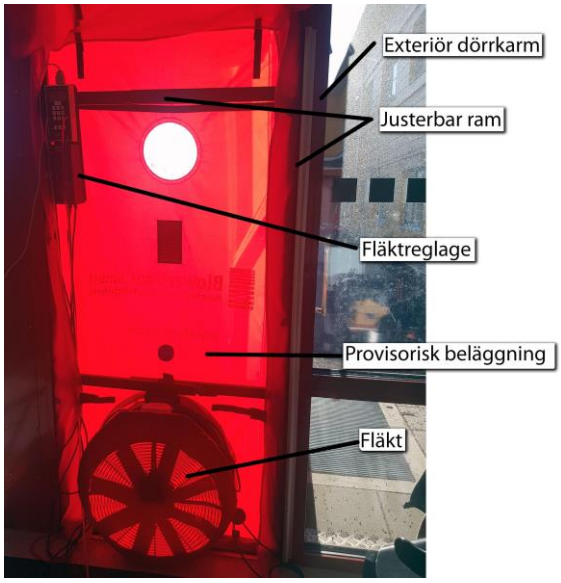
Klimatförändringar och ökade energipriser har höjt behovet av energisnåla byggnader. För att åstadkomma energisnålare byggnader krävs att man reducerar värmeförlusterna genom klimatskalet. Värmeförlusterna sker direkt via termisk transmission genom klimatskärmen, men även genom luftläckage i glipor, sprickor och otätheter. Sedan 1970-talet har mängden termisk isolering i klimatskalet ökat för att förbättra byggnaders energiprestanda via en lägre transmission genom klimatskalet. Trots detta är det svårt att tillgodose dagens krav på energieffektivitet och täthet med endast en förändring av isoleringstjocklek. Byggnaders totala täthet och därmed energiprestanda kräver lufttäthet såväl som god isoleringsförmåga, eftersom dessa båda utgör dess förutsättningar för total lufttäthet och energieffektivitet. (Kim, 2017)

Det finns fler anledningar än de som tidigare nämnts för att eftersträva en tät byggnad:

- Reducera energikostnad på grund av luftläckage
- Undvika fuktproblematik
- Undvika okomfortabelt drag från oönskad utomhusluft
- Bestämma hur mycket mekanisk ventilation som krävs för önskat inneklimat

4.1 Undersökning av luftläckage

En vanlig metod för att bestämma en byggnads luftläckage är genom att använda sig utav Blower Door-metoden. Denna tillsammans med kompletterande undersökningar i form av termografering, rökgas eller varmtrådsanemometer kan ge en bild av läckagets omfattning och källor.
En Blower Door är en fläkt som monteras i en dörrkarm. Byggnaden trycksätts genom att blåsa in eller suga ut luft stegvis, både vid över och under-tryck och resultatet utvärderas. (Swedish standards institute, 2015)



Figur 4.1 Beskrivning av Blower Door testutrustning

För att testet skall kunna genomföras krävs förberedelser i form av att all avsiktlig ventilation stängs av och tätas. Endast oavsiktliga otätheter skall utvärderas och därför skall endast dessa vara tillgängliga för läckage vid trycksättning.

Luftflödet genom en byggnad kan beskrivas med

$$q = C \cdot \Delta P^n \ [l/m^2 s] \tag{4}$$

Resultatet från ett Blower Door test redovisas med ett specifikt luftflöde q_{50} $[l/m^2 s]$ vid 50Pa

$$q_{50} = q_{läck}(50) = C_{läck} \cdot 50^n \ [l/m^2 s] \tag{5}$$

Resultat för q_{50} ges via undersökningen och behöver skalas ner till $q_{läck.drift}(\Delta P_{luft.drift})$ för att tillhandahålla ett verkligt luftflöde vid drift. Om vi endast har resultatet för q_{50}krävs det att vi antar ett värde på flödesexponenten n för att vidare kunna beräkna flödeskoefficienten $C_{läck}$ $[\frac{m^3}{m^2 \cdot s \cdot Pa^n}]$. Ett vanligt värde på flödesexponenten ligger mellan 0,6–0,7.

$$C_{läck} = \frac{q_{50}}{50^n} [\frac{m^3}{m^2 \cdot s \cdot Pa^n}] \tag{6}$$

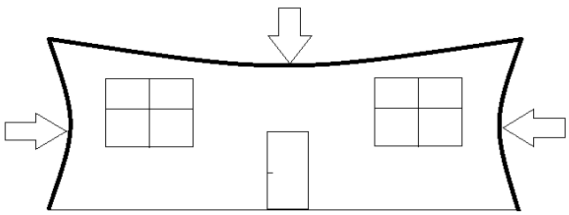
Vidare kan man med hjälp av flödeskoefficienten uppskatta det verkliga läckaget vid drift enligt

$$q_{läck.drift} = C_{läck.drift} \cdot \Delta P^n{}_{luft.drift} \ [\frac{m^3}{m^2 \cdot s}]. \tag{7}$$

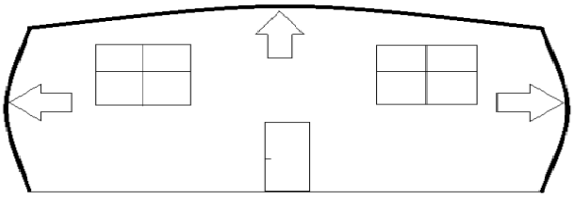
(Peterson, 2014)

Vanligtvis utförs mätningarna enligt standard (ISO 9972:2015).

Byggnaden sattes under tryck mellan 30–70 Pa,
1. 30 Pa, 100 testpunkter
2. 40 Pa, 100 testpunkter
3. 50 Pa, 100 testpunkter
4. 60 Pa, 100 testpunkter
5. 70 Pa, 100 testpunkter

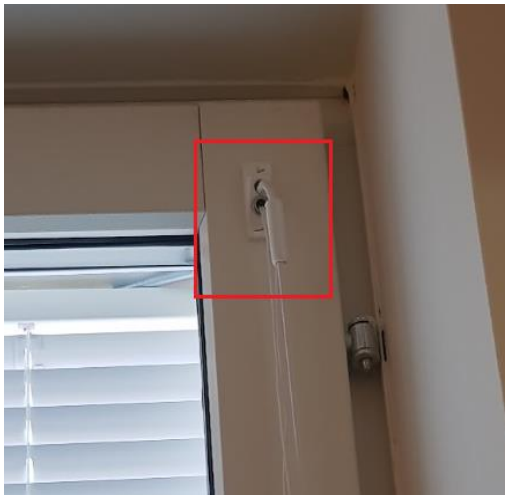


Figur 4.2 Illustration av ett hus som har ett undertryck



Figur 4.3 Illustration av ett hus som har ett övertryck

Vid byggnation av passivhus finns byggnadskrav att luftläckaget ej får överstiga 0,3 l/m^2s från klimatskärmen vid en tryckskillnad ΔP på 50 Pa mellan luften inomhus och utomhus (FEBY,2008). Detta är ett relativt lågt luftläckage. I Boverkets byggregler (2011:6), Avsnitt 9:2 Finns krav för en byggnads energiprestanda. Dock är det endast småhus med A_{temp}som är mindre än 50 m^2som har krav för genomsnittligt luftläckage genom klimatskärmen, läckaget ska inte överstiga 0.6 l/m^2s. Byggnader med A_{temp}som överstiger 50 m^2 får således indirekta krav på lufttätheten eftersom att krav finns kring energiprestanda. Eftersom att strävan alltid går mot bättre energiprestanda så finns också en vilja att bygga byggnader mer lufttäta, detta har kommit till en punkt där mindre installationer exempelvis låssystem, eluttag, persiennhål har kommit att spela en viktigare roll vid luftläckage. Vid en första tanke kanske inte hålet för persiennsnöret verkar vara så märkvärdigt, men i en stor byggnad, exempelvis en skola eller ett flerbostadshus finns med stor sannolikhet många små persiennhål som ger en betydande andel av det totala luftläckaget.

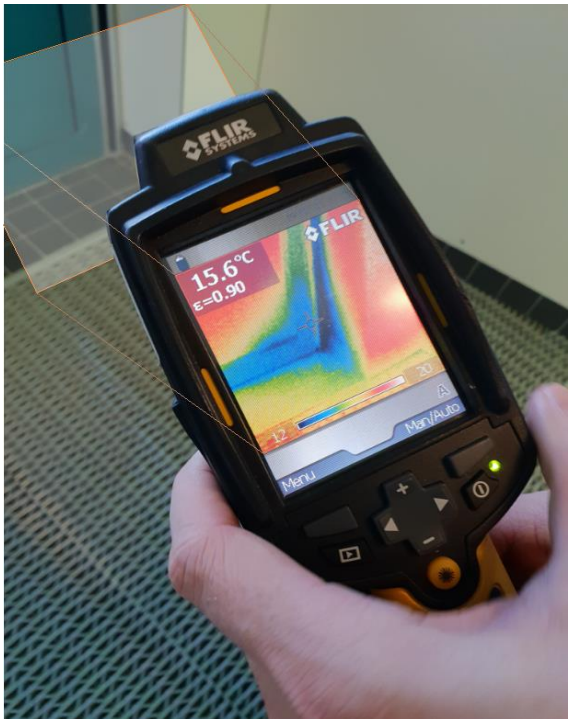


Figur 4.4 Persiennhål

I ett examensarbete där energibesparing undersöks då lufttätheten ökar jämförs en referensbyggnad med täthetskrav 0,8 l/sm^2och en byggnad med täthetskrav 0,4 l/sm^2 påvisas att energiåtgången minskar med ca 27–28% då luftläckaget är 0,4 l/sm^2 och ett installationsskikt har installerats. En mätning med varmtrådsanemometer görs också, vilken visar att endast installationsskiktet sänker energiåtgången med ca 2,5%. (Arnetz & Malmberg, 2006)

För att lokalisera var luftläckaget befinner sig i en byggnad kan det vara till stor fördel att göra en termografisk undersökning under tiden som det fortfarande existerar en tryckskillnad

mellan byggnaden och uteluften. Termografisk undersökning innebär i detta fall att genom infrarött ljus lokalisera köldbryggor, vilket dock förutsätter betydligt kallare utomhusluft.



Figur 4.5 Termograferingskamera

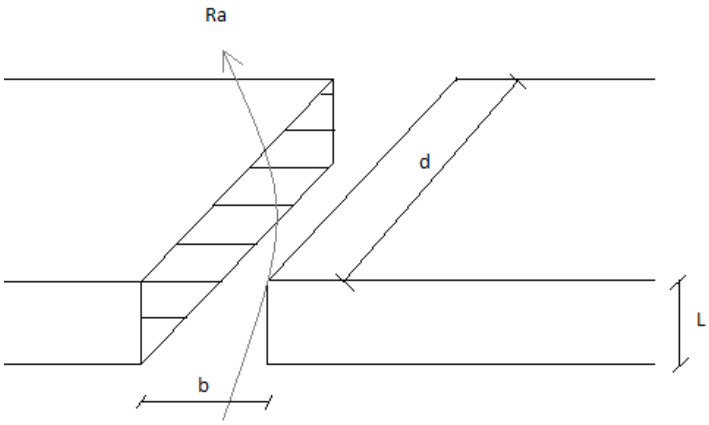
Ett komplement till termograferingskameran är att använda en anemometer för att kunna mäta lufthastigheten vid en specifik detalj. Den sorts anemometer är en så kallad varmtrådsanemometer och beskrivs enklast genom att en kalibrerad varm tråd förs mot en luftström i exempelvis en otäthet, vilken kyler ner den och därmed kan en lufthastighet erhållas.

4.2 Luftströmning genom otätheter

Luftströmningen i spalter i tjocka skivor kan beräknas enligt

$$Ra = A \cdot \frac{b^2}{12\mu} \cdot \frac{\Delta P}{L} \quad (8)$$

A *spaltens area* (m^2)
b *spaltvidd* (m)
μ *luftens dynamiska viskositet* $(Pa \cdot s)$
ΔP *tryckskillnad* (Pa)
L *tjockleken av byggnadselement i strömningsriktning* (m)



Figur 4.7 - Illustration av luftströmning genom otätheter

Vid ett blower door test uppgår tryckskillnaden till 50 Pa. Det är dock mer rimligt att räkna på 25 Pa då isoleringen ligger nära balken och därav minskar tryckskillnaden något. I detta räkneexempel är regeln 45 ·170 mm, springan är 1 mm och viskositeten μ sätts till 16,7 · 10^{-6}. Detta ger en luftströmning som uppgår till nästan 0,5 l/s.

4.3 Täthet kring fönster

Wahlgren (2010) visar tre olika varianter för hur plastfolie ansluts mot fönsterkarm för att uppnå lufttäta resultat.

1. Plastfolien dras förbi fönsterkarmen för att sedan fogas ihop med karmen. Det kan vara bra att använda extra plasthörn vid denna variant.
2. Plastfolie fästs på fönsterkarmen med dubbelhäftande tejp innan montering i vägg. Fönstrets plastfolie ansluts sedan mot väggens plastfolie med dubbelhäftande tejp. I denna konstruktion behöver man ej använda extra plasthörn som i tidigare variant.
3. Plastfolien ansluts med tejp i smygen mot fönsterkarmens insida. Dock vill man inte att tejpen ska synas efter montage vilket leder till att tejpen och fönsterkarmens vidhäftningsyta blir relativt liten, ca 1 cm.

Wahlgren menar att de säkraste alternativen är att låta plastfolien dras förbi fönsterkarmen alltså alternativ 1 & 2. Dessa varianter som beskrivs som bra är dock inte speciellt lika det som undersöks i detta examensarbete där plasten kläms mellan två reglar samt att butylfog används (se Figur 2.2). Dock beskrivs en lösning med enbart klämning av plastfolien. Wahlgren (2010) argumenterar:
"... där plastfolien är indragen i konstruktionen har visat sig vara tät vid täthetsmätning i fält. Där är plastfolien klämd mellan regelstommarna, Figur 38. Det är naturligtvis av största vikt att monteringen är riktig så att plastfolien verkligen är ordentligt klämd samt att tätningen mellan karmen och väggen är ordentligt utförd. I konstruktionen nedan är det drevat med plastad mineralull och tätat med svällist. Konstruktionen rekommenderas dock inte eftersom virket kan krympa när det torkar och klämningens funktion inte är säkerställ över tid."

Figur 4.8 plastfolien kläms mellan regelstommarna. Bild från Wahlgren, 2010

Föregående variant med klämning (Figur 4.8) är således mest lik den variant som undersöks, men för att förhindra läckage vid eventuell krympning och vridning så ska butylfogen följa dessa rörelser. Det hade varit intressant att följa lufttätheten kring butylfogen över en längre tidsperiod på åtminstone fem år.

4.4 Tidigare mätningar från liknande undersökning

Enligt Johansson (2004) vid 50 Pa undertryck och 50 Pa övertryck mäts luftläckaget vid endast klämning av plastfolien till ca 1.8 m^3/h samt 1.35 m^3/h. Vid samma mätning men under förutsättningen att en latexfog appliceras mellan den stående regeln och bröstningsregeln mäts luftläckaget till ca 0.5 m^3/h samt ca 0.28 m^3/h. Vikten bör läggas på att resultaten som uppnås är bättre snarare än att analysera siffrorna som uppnås från de olika mätningarna. Resultaten med latexfogen ger således ett läckage vid undertryck 50 Pa som endast är 27% av läckaget utan att latexfogen appliceras och vid övertryck 50 Pa uppgår läckaget endast till 21%. För att vikta dessa siffror kan läckaget med latexfog sägas uppgå till 24% av läckaget utan latexfog vid 50 Pa tryckskillnad. Det bör kommenteras att dessa resultat verkar utgå från endast en mätning vardera och är således ej kvantifierbara. I rapporten testas även tryckskillnaden upp till 100Pa.

(Johansson, 2004) kommenterar:

> *”Genom att applicera en latexfog i fönstersmygens innerhörn minskas luftläckaget med ungefär en tredjedel beroende på om konstruktionen utsätts för över- eller undertryck.”*

Denna rapport har som tidigare nämnts en annan utgångspunkt då en butylfog appliceras vid klämning vilket högst troligt påverkar resultatet vid en täthetsprovning. Det ska dock inte förkastas att en stor förbättring uppnåddes då latexfogen applicerades.

`

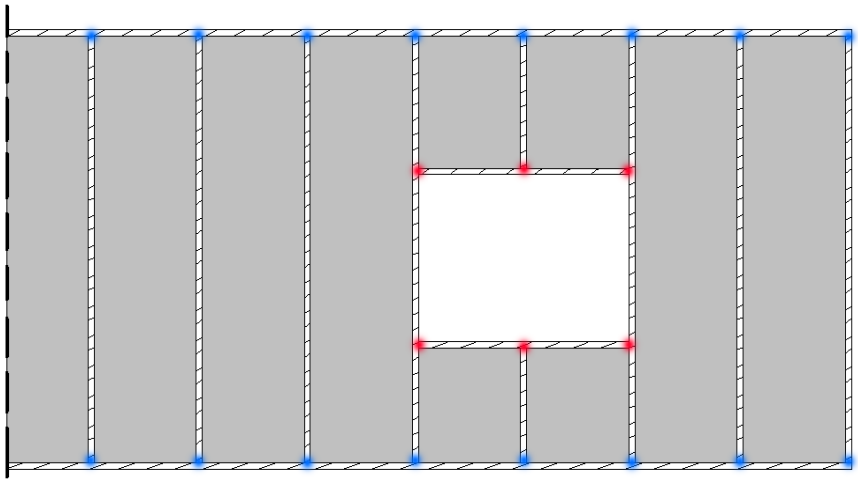
En undersökning genomförd på SP:s laboratorium visar att den överlägset känsligaste delen med avseende på täthet i en fönsteröppning är hörnen i fönstersmygen. Fyra tester utfördes där man kombinerade invikt plastfolie i fönsterhörn med latexfog i smygens hörn och även avslutade plastfolien innan fönstersmygen med extra plastfolie i fönstersmygens hörn. Testerna visade på att ordentlig tätning i hörn är överlägset viktigast i täthetsaspekt.
” Läckaget uppmättes till cirka 4–10 gånger större om kompletteringen inte sker i hörn.” skriver Per Ingvar Sandberg och Eva Sikander i sin rapport från SP (SP, 2004).

5. Fukt i trä

Fukt måste beaktas vid användning av trä i konstruktioner, då fuktkvoten påverkar de allra flesta egenskaperna hos trä. Fuktkvoten kan variera inom en virkesbatch och även inom en enskild bräda. Det tar sig uttryck genom skillnad i densitet och bör beaktas. Trä kan fuktas genom både fuktinnehåll i luft men även med ren fukt i form av vätska, men uttorkningen kan bara ske med hjälp av luften. Kapillär uppfuktning genom ändträ är mångdubbelt snabbare än övrig uppfuktning och bör därför beaktas särskilt. Fuktrörelser kan orsaka stora problem. En virkesdetalj krymper eller sväller volymetriskt ungefär 0,25% per fuktkvotsprocent vinkelrätt fibrerna. (SP Trätek, 2006)

5.1 Fukt på byggarbetsplatsen

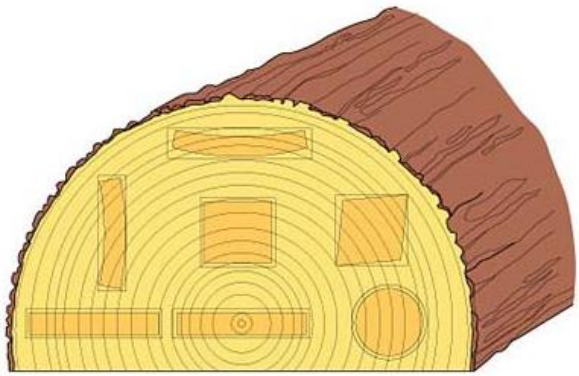
Fukt tillkommer till virket på många sätt och vid olika tillfällen. Den vanligaste är felaktig hantering vid arbetsplatsen, såväl vid lagring som under pågående arbete. För hög fuktkvot i virket då det byggs in i en konstruktion kan medföra mögeltillväxt, krympningssprickor m.m. Att ha en fuktmätare tillhanda och göra en kontroll såväl innan byggnation och under byggnation är ett enkelt sätt att undvika tidigare nämnda komplikationer.
Konstruktionsdetaljer såsom möte mellan diffusionsspärr och trädetalj riskerar att bli extra känsligt för uttorkning.



Figur 5.1 prioriterade mätpunkter i väggelement

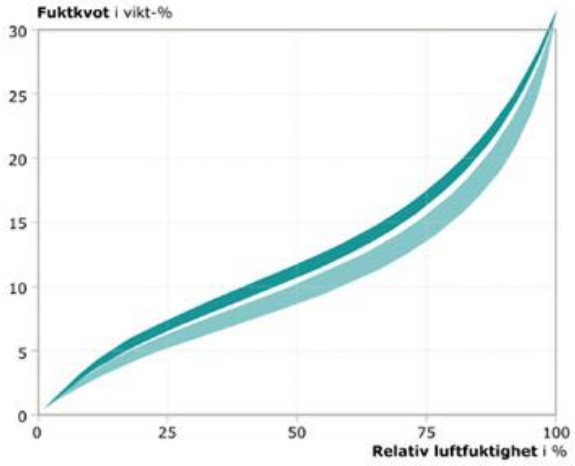
5.2 Formförändring

Som material är trä, till skillnad från stål och betong, ett anisotropt material. Det innebär att det har olika egenskaper i olika riktningar, vilket är påtagligt för dess formförändringar i fuktsammanhang. Förändringarna beror av den anledningen till viss del på vilken ursprungsdel av trädet virkesstycket i fråga härstammar ifrån (Simonson, 2012).



Figur 5.2 formförändring beroende på var i stammen virket är utsågat från (Svenskt trä, 2012).

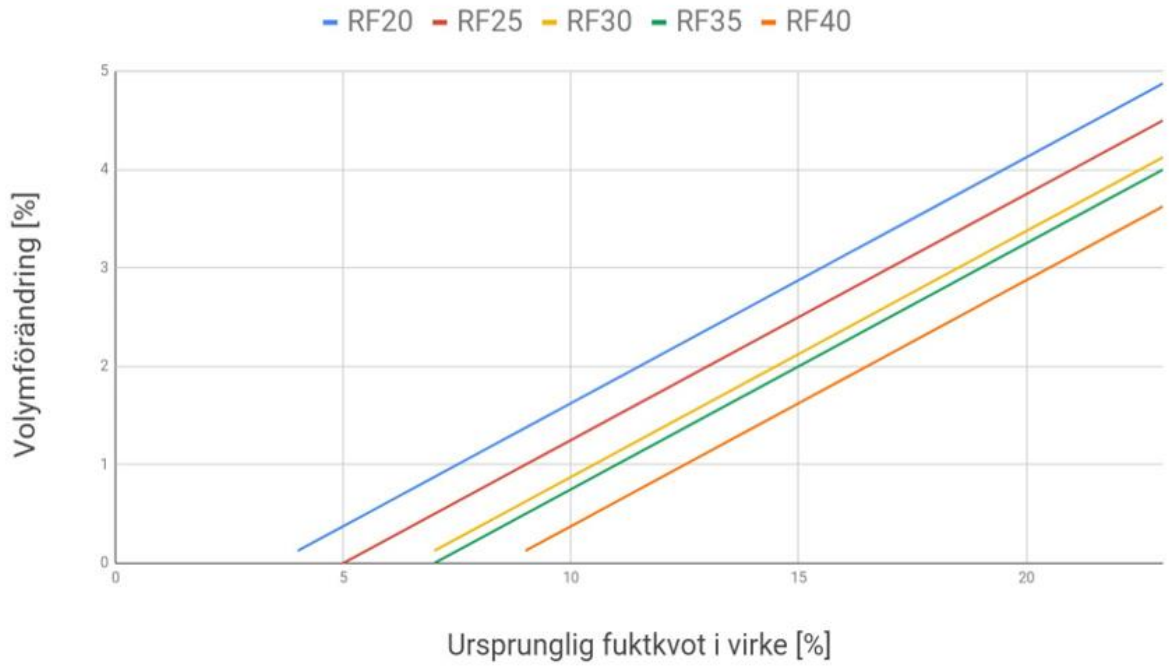
Det är dock fler faktorer än ursprungsplaceringen i stocken som påverkar formändringen hos virket. Vilken sorts ved som dominerar i virkesstycket, andel kvistar och om det skulle finnas tillväxtstörningar (Ternstedt, 1976).
Drivkraften för formförändring i ett virkesstycke är dess interna fuktighet i förhållande till omgivningens relativa fuktighet. Då virket strävar mot jämvikt med omgivningen är det viktigt att skillnaden mellan virkets fuktkvot och den omgivande luftens relativa fuktighet inte är allt för stor. Då kan en för snabb uttorkning ske och plastisk deformation av virket uppstå (Jakiela, 2008).
Formförändringen vid uttorkning skiljer sig markant mellan olika träslag. Träslaget som är aktuellt för denna undersökning är gran, vilken formförändras 0,26% per procentenhet som krävs för uttorkning till jämvikt (Svenskt Trä, 2012).
Med hjälp av en sorptionskurva kan jämviktfuktkvoten i virket utläsas beroende på den relativa fuktigheten i sin omgivning och vilken fuktkvot det ursprungligen har.



Figur 5.3 Sorptionskurva vid 20°C för gran, Desorption överst, Absorption underst (Svenskt trä, 2012).

6. Fuktmätningsstudie

Med anledning av den potentiella formförändring som behandlas i 2.4.3 genomfördes en fuktmätning i Deromes prefabrikationsfabrik. Syftet var att teoretiskt kunna beräkna potentiella formförändringar utifrån uppmätta fuktkvoter i virket i fabriken. Innan detta påbörjades gjordes en teoretisk utvärdering om vilken betydelse i volymetrisk formförändring olika fuktkvoter kunde medföra vid olika relativa fuktigheter inomhus (se bilaga 1–5).
Med hjälp av sorptionskurva för granvirke vid $20^{\circ}C$ togs en jämviktsfuktkvot fram vid vilken virket anses vara i jämvikt med inomhusluft med en relativ fuktkvot på 5,5%. Under uttorkningen ner till jämviktsfuktkvoten antogs en formförändring på $0{,}26\%$ per procentenhet förändrad fuktkvot (Svenskt Trä, 2012). Potentiella formförändringar vid olika fuktkvoter samt relativa fuktigheter inomhus presenteras i nedan.



Figur 6.1 – Formförändring vid olika ursprungsfuktighet och relativ fuktighet inomhus

Tesen som drivs är om huruvida en för hög fuktkvot byggs in i konstruktionen, riskerar att orsaka otätheter då jämviktsfuktkvoten uppnåtts.

Ett exempel på hur detta skulle kunna visa sig praktiskt:
Vi tittar på ett extremfall där virke med hög fuktkvot (25%) byggs in i en inomhusmiljö med lägst tänkbara relativa fuktighet, se bilaga 1.

$u\ fuktkvot$ [%]
$u_{virke} = 25\%$
$u_{jämvikt} = 5{,}5\%$

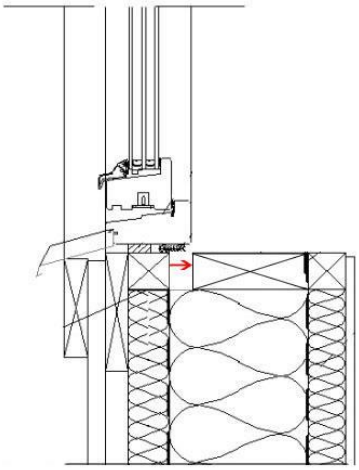
$$Erforderlig\ desorption\ = u_{virke} - u_{jämvikt} = \ 19{,}5\% \qquad (9)$$

.

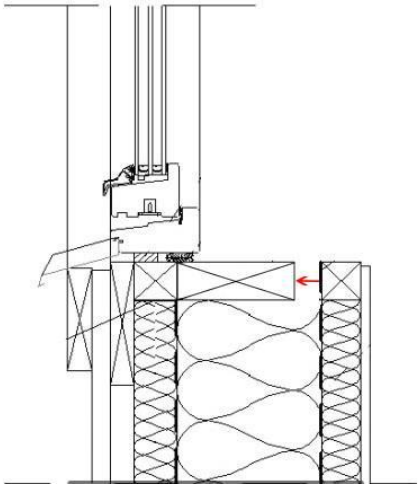
$Volymförändring\ per\ procentenhet\ desorption\ =\ 0{,}25\%$
$Volymändring\ = Erforderlig\ desorption\ \cdot Volymförändring\ per\ procentenhet$
$Volymändring\ =\ 4{,}875\%$

Denna teori är som tidigare nämnt, på grund av träets anisotropi endast tillämpbar i träets radiella och tangentiella riktningar.

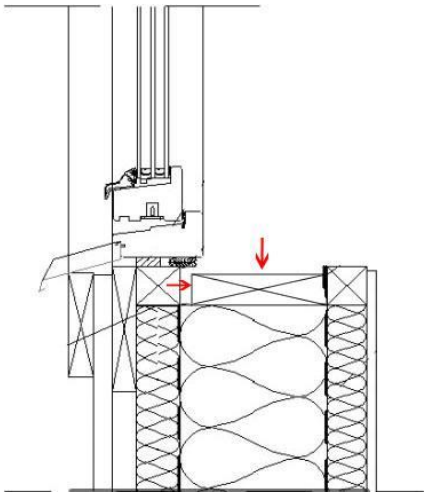
Ett resultat av uttorkningen skulle potentiellt kunna ge en formförändring sådan att dimension t.ex. $45\ \cdot 195 \rightarrow 45\ \cdot 185{,}5\ mm$. Med förutsättningen att all formförändring är förhindrad i radiell led.



Figur 6.2 Potentiell formförändring 1



Figur 6.3 Potentiell formförändring 2



Figur 6.4 Potentiell formförändring 3

Idag tillåter man fuktkvoter upp till 18% att byggas in i konstruktionen. I kapitel 8.3 diskuteras vilka konsekvenser som kan följa utav detta. Swedish standards Institute förespråkar en rekommenderad maximal fuktkvot på 16% vid inbyggnad. (SIS, 2004) Följderna av att använda denna kan följas i bilaga 1–6 samt 11. Resonemang kring konsekvenserna med höga inbyggda fuktkvoter återfinns i kapitel 8.

6.1 Resultat

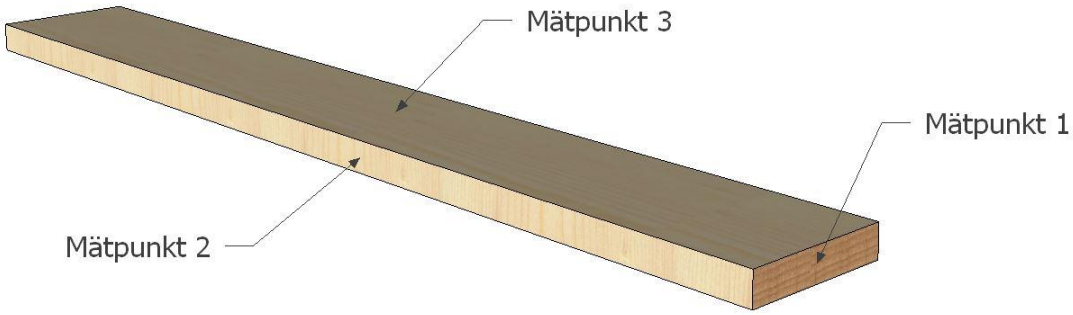
Uppmätta fuktkvoter presenteras i sin helhet i bilaga 7–10. Där anges även i vilket skede i processen provet är taget samt i vilket del av virket. Fuktkvotsmätaren som användes var en avancerad fuktkvotsmätare av märket Protimeter MMS2.

- Uteprov - Denna mätning är gjord direkt efter sågverket och virket har ej uppehållit sig i innemiljö under en betydande tid. Detta prov kan antas befinna sig i vinterutemiljö. Medelfuktkvoten från samtliga mätningar från samtliga mätpunkter i detta skede var 10,2%

- Tidigt prov - Virket befinner sig i en tidig fas i produktionen, alltså i industrimiljö. Medelfuktkvoten från samtliga mätningar från samtliga mätpunkter i detta skede var 10,1%

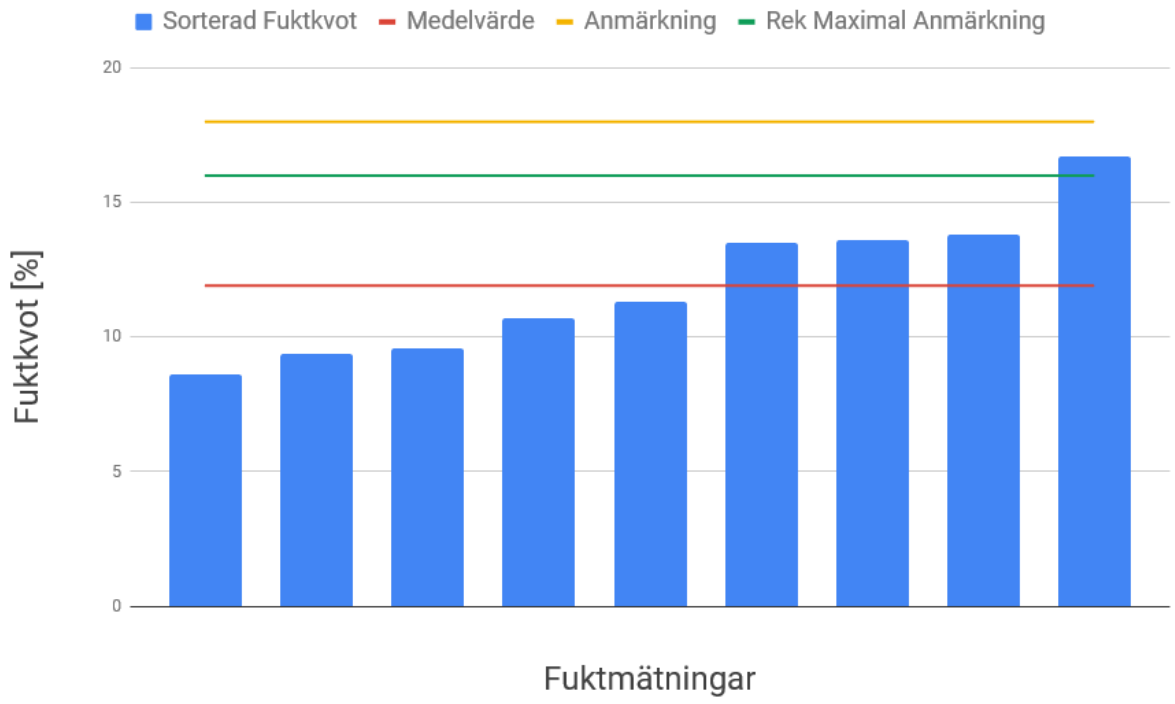
- Såghall - Virket byggs ihop till den prefabricerade väggen. Virket befinner sig fortfarande i industrimiljö. Medelfuktkvoten var i detta skede 10,6%

- Leveransredo - Den prefabricerade väggen står klar och är redo för leverans, mätningen är gjord i industrimiljö. Medelfuktkvoten var i detta skede 10,5%. Dock kan väggen flyttas utomhus i ett senare steg som vi ej tagit del av i mätningar.



Figur 6.5 Mätpunkter vid fuktkvotsprov

Vid fuktkvotsmätning i mätpunkt 1 i skedet "tidigt prov" gjordes nio mätningar. Samtliga resultat är under företagets egna anmärkningsvärde, det fanns dock ett mätvärde som överskred den maximala fuktkvot som SIS rekommenderar (SIS,2004). Se figur 6.5. Denna fuktkvot skulle kunna ge en formförändring som motsvarar nästan 3% om man antar att virket byggs in i en innemiljö med RF 20%.



Figur 6.6 Godtyckligt urval av mätresultat från fuktkvotsmätningen från ett prov tidigt i produktionskedjan

7. Intervjustudie

Intervjustudien syftar till att få olika aspekter på svagheter och styrkor med konstruktionslösningens egenskaper i fokus. Täthet, formförändring, butylfogens betydelse, fukt och allmän kunskap fokuseras på. Intervjuerna har skett muntligen och över telefon med såväl produktionspersonal som tekniska chefer. Totalt har 6 intervjuer genomförts.

En kvalitativ studie lämpar sig bäst för syftet då den syftar till att inhämta individernas egna uppfattningar om för- och nackdelar med den metod man använder idag (Eklund, 2012). Kategorierna som intervjupersonerna fick svara på varierade med vilken roll i processen de hade. Dock fick alla utvalda svara på frågorna vi ansåg viktigast, såsom:
"Vilken effekt tror du att butylfogen har?"
"Tror du att fuktkvoten i virket kan ge upphov till formförändringar eller annan problematik?"

7.1 Underlag

I samråd med handledare togs ett underlag fram som skulle vara tillräckligt täckande för att frågorna skulle passa alla inblandade. 6 personer med olika befattningar intervjuades. Alla frågor ställdes inte till alla intervjuade eftersom att alla frågor inte var relevanta för alla.
De tillfrågade hade befattningar enligt följande:

- Produktionschefer
- Produktionspersonal
- Husmontör & Trycktestare
- Ansvarig teknisk plattform
- Chef med lång erfarenhet
- Energiansvarig

Underlaget som skulle vara tillräckligt omfattande för att kunna ställa relevanta frågor till alla såg ut enligt:

Täthetsprovning

1. Vilken metod använder ni för täthetsprovning?
2. Vilka mätinstrument används vid täthetsprovningar ni gör?
3. Har ni testat andra metoder?
4. Varför använder ni just den valda?
5. Hur stort luftläckage finns i de färdigmonterade husen?
6. Är det skillnad på lufttätheten vid högre och lägre byggnader?
7. Har du/ni testat att täthetsprova en tid efter att huset är färdigställt? Om så: När? Syns några skillnader?
8. Görs det läckagesökningar vid täthetsprövningar?
9. Om ja på 8. - var finns läckagen? Finns något vid öppningar?

Täthet information

10. Hur har tätheten förändrats med tiden? Från exempelvis 1970-tal till idag

`

11. Vad anser du är det viktigaste ni gör för att få era element så täta som möjligt?
12. Vad anser du vara den mest effektiva åtgärden för att få ett tätt hus?
13. Hur stor insats läggs på att maximera tätheten?
14. Finns det något som skulle kunna göras annorlunda för bättre täthet utan hänsyn till tid och ekonomi?
15. Tror du att låsanordningar och elinstallationer bidrar till stor del av luftläckaget?
16. Vet du vilken lufttäthet era hus ger?
17. Finns det någonting som du tror skulle vara bättre för att göra era element mer lufttäta?
18. Hur påverkar installationer, exempelvis prefabricerade elinstallationer lufttätheten?

Formförändring trä

19. Hur förvaras virket innan produktionen? - samt färdiga element efter produktion?
20. Vilken fuktkvot tillåts byggas in i väggelementen?
21. Mäts fuktkvoten i virket kontinuerligt under produktionen?
22. Tror du att fuktkvoten i virket kan ge upphov till formförändringar eller annan problematik?

Butylfog

23. Hur stor effekt tror du att butylfogen har?
24. Tror du att butylfogen skulle kunna bytas mot något mer effektivt? Har du sett andra varianter?
25. Hur har utvecklingen sett ut? Vad användes innan butylfog?
26. Vilka för/nackdelar finns med butylfog?
27. Ser du några problem med butylfog?

Förvaring av element

28. Hur förvarar ni era färdiga element från färdig produktion till transport?
29. Tror du att ni hade kunnat förvara dem på ett smartare sätt?
30. Vet du hur byggherren förvarar era element efter?
31. Hur tror du att framtiden ser ut angående att bygga lufttätt?

Ekonomi

32. Vilken ekonomi används på bra lösningar för t.ex. installationer, låsanordningar etc?
33. Tror du att butylfogen skulle kunna bytas mot något mer ekonomiskt alternativ?
34. Finns det något som skulle kunna förbättras ur ekonomisynpunkt?

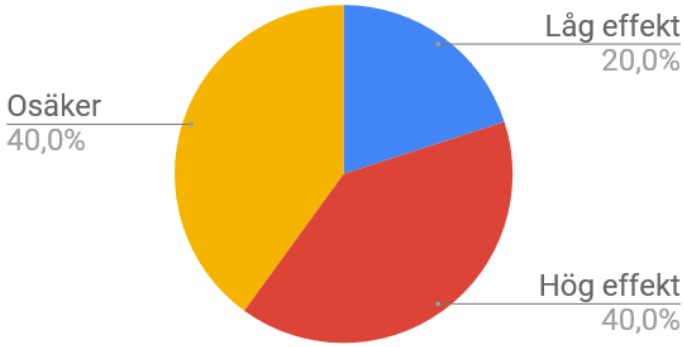
Allmänt

35. Finns det någon felrapportering?
36. Hur går kvalitetssäkringen till?
37. Hur vet ni om slutprodukten blir bra?
38. Har du någon ytterligare information/kontakt/tips etc som skulle kunna hjälpa oss?

7.2 Resultat

Resultatet i intervjustudien har valts ut för att vara väl anpassat till syftet på utredningen. Därmed är det redovisade resultatet betydligt smalare än underlaget i 7.1.

Vi får tidigt bekräftat att läckage generellt sker vid öppningar. Mätmetoden är som förväntat ett Blower door test och det finns ingen annan prövad metod. Anledningen är att Blower door test ska vara den säkraste. Vid märkbara läckage söker man efter dessa med en termograferingskamera i huvudsak, se avsnitt 4.1.



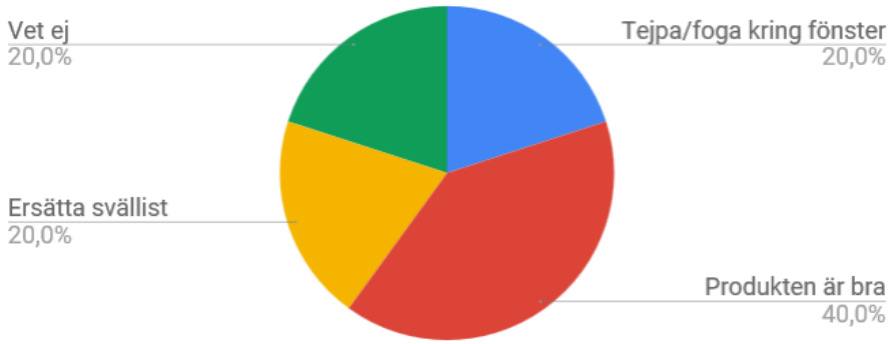
Figur 7.1 svar på frågan "Hur stor effekt tror du att butylfogen har?"

Diagrammet ovan visar svaret på intervjufrågan "Hur stor effekt tror du att butylfogen har?". Av de 5 som fått svara på frågan fås det olika svar. De tillfrågade är från olika delar av produktionskedjan och har vitt skilda arbetsuppgifter. Även fortsatta svar på frågan skilde sig åt såsom:

"Vi har inga fakta på den. Jag tror inte att det kommer röra på sig så mycket. Virket är så låst så jag tror inte att den kommer nånstans."

"Den borde ha stor effekt. Vi litar på de som sagt att vi ska ha den. Hade gärna sett hur stor effekt den har i riktiga tester"

Vi konstaterar att det finns både en oenighet i hur konstruktionens avgörande butylfog fungerar. Dock verkar det som att man är relativt eniga om att man inte har så mycket kunskap om butylfogen.



Figur 7.2 svar på frågan "Vad skulle kunna göra era element ännu tätare?"

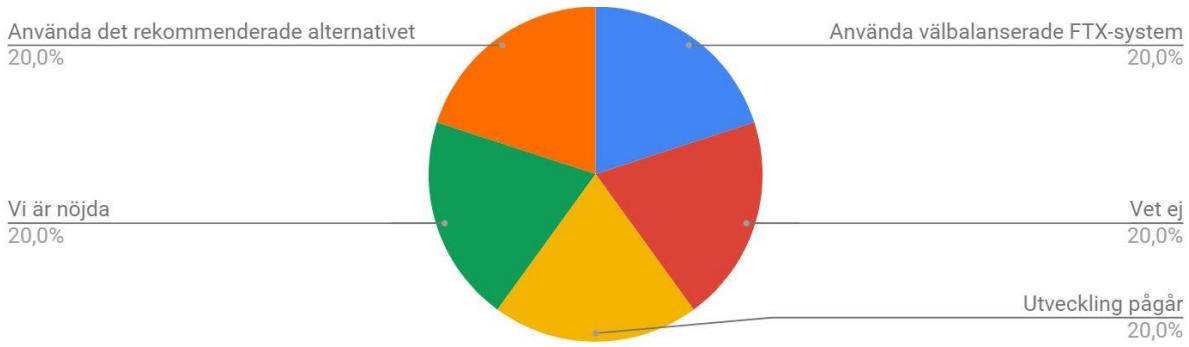
Även på denna fråga fås olika svar. Somliga påpekar möjliga förbättringsåtgärder, medan några menar att produkten inte kräver några förbättringar. Vi kan konstatera, tillsammans med provtryckningsstester se figur 7.3 att produkten inledningsvis är bra. Provtryckningen är utförd av RISE på ett A-hus. Vi kan konstatera att tätheten i just detta exempel är bra, dock var vissa fönster- och dörröppningar provisoriskt tätade vid provtryckningen (SP, 2013). Vidare i kapitel 8 diskuteras det huruvida man har anledning att lita på konstruktionens fortsatta egenskaper.

Omslutningsyta $[m^2]$	Luftflöde vid 50Pa undertryck $[l/s]$	Luftflöde vid 50Pa övertryck $[l/s]$	Luftflöde vid $\pm$50Pa $[l/s]$	Lufttäthet vid $\pm$50Pa $[l/sm^2]$
349	58	62	60	**0,17**

Figur 7.3 Provtryckningsresultat av ett enplans A-hus

Något som samtliga intervjuer pekar på är att tätheten har förändrats med tiden och är idag viktigare och mer prioriterad än tidigare. Det framgår dock att man tagit ett steg tillbaka i produktionen vad gäller nedlagd tid på täthet, då man tidigare tejpade alla hörn istället för nuvarande fogning med butylfog se figur 2.2. Vetskapen om att vika in plasten vid fönstret finns också men undviks idag. Man kan också utläsa att de faktorer som är viktigast för ett lufttätt byggnadselement är dels produktionen och dels monteringen av elementen på byggarbetsplats.

Produktionen ska se till att plastfolien inte har hål samt monteras på rätt sätt, anvisningar ska finnas tillgängligt i produktionen. Vid montering av huset krävs ett noggrant arbete av snickarna, stort fokus ska ligga på att få skarvarna täta. Vid dåligt montage av husen spelar produktionen en mindre roll för tätheten, här finns också anvisningar som ska följas, se bilaga 13 och 14.
Det är inte känt hos alla intervjuade vilken täthet husen faktiskt ska ge samt vilken täthet som brukar uppnås.



Figur 7.4 Svar på frågan ” Finns det någonting som du skulle göra annorlunda för bättre lufttäthet om ekonomi och tid fanns?”

Överlag finns få förbättringsförslag även vid premisserna oändligt med tid och pengar, det finns dock vetskap om ytterligare fogning eller tejpning kring fönster som skulle ge ett mer lufttätt hus. Det framkommer i en av intervjuerna att man med dagens lösning frångår leverantörernas rekommendationer, vilket diskuteras vidare i kapitel 8.
Det finns inget enhälligt svar på hur fuktkvoten i träet vid produktion kan skapa framtida formförändringar. Samtliga intervjuade tycker att förvaringen av element inte är det mest optimala. En majoritet hade velat se att alla element hade kunnat förvaras under ett stort tak. När utrymmet under taket är fullt så plastas istället elementen in. Detta kan leda till att kondens uppstår inuti de inplastade elementen vilket innebär att fuktförhållanden förändras. Att plasta in elementen är heller inte optimalt för miljön. Under intervju framkommer även att byggande genom prefabricerade element är mer kontrollerat än i lösvirkessammanhang och bör leda till mindre formförändringsproblematik.

`

8. Diskussion & slutsats

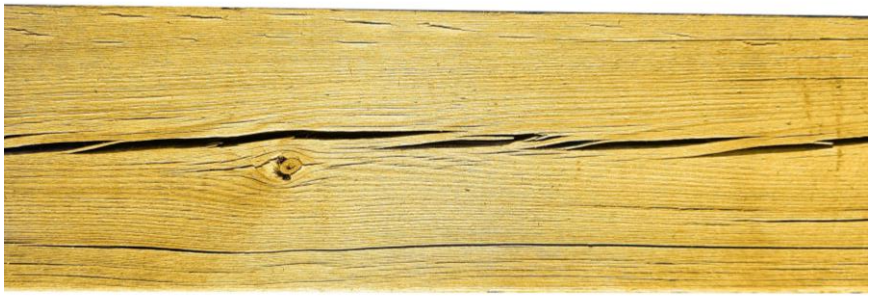
Den ursprungliga tesen i denna undersökning lyder ”Täthet öppningar - kan vi hitta alternativa lösningar med hänsyn till fukt, täthet, energi och arbetsinsats i produktion” De slutsatser som har framkommit under projektets gång är flera och bör därför kategoriseras enligt:

- Fukt
- Täthet
- Energi
- Arbetsinsats i produktion

Med alternativa lösningar menas lösningar som är kompletterande eller potentiellt förbättrande ur de olika avseendena.

8.1 Fukt

Den nuvarande produkten vars plastfolie skärs ut kring fönster och kläms mellan två reglar som har butylfog i kontaktytan anser vi inte vara den mest optimala ur fuktsynpunkt då vissa ytor omkring fönstret ej omgärdas av plastfolien. Dessa ytor hamnar i en större riskzon för att släppa igenom varm och fuktig inneluft ut i konstruktionen vilket skulle kunna leda till fuktskador och potentiellt i längden röta. Trä är ett anisotropt material som förändrar sin volym olika i olika riktningar beroende på exempelvis fukt och temperatur. Trä ändrar dessutom sin form beroende på exempelvis krypning och krympning. Det är möjligt att missgynnande förhållanden och formförändring över tid kan medföra en risk att butylfogen inte håller tätt. Även då man menar att butylfogen är tillräckligt elastisk för att ta upp alla tänkbara formförändringar, så har inga praktiska tester gjorts på detta. Sprickbildning i reglarna runt fönstret kan också ske under uttorkning, vilket kan leda till att fuktig luft tar sig ut i konstruktionen. För att skapa en mer fuktsäker produkt bör därför plastfolien dras hela vägen till fönstret och fästas där. Genom denna åtgärd löper konstruktionen en lägre risk att släppa igenom fuktig luft ut i konstruktionen vid olika klimatförändringar samt formförändringar över tid. En nackdel med detta förslag är dock att produktionstiden kommer att öka, det är dessutom ett arbete som kräver en viss noggrannhet och teknik. Här står täthet mot ekonomi.

Figur 8.1 Spricka vid fönster p.g.a. formförändring

Figur 8.2 Sprucken regel p.g.a. formförändring

Tidigare i undersökningen (se figur 4.8) finns exempel på hur ett fönster kan monteras där plastfolien dras fram till fönstret och antingen viks in, tejpas eller fogas på plats. Ytterligare rekommendationer är att se över tillåten fuktkvot i materialet som idag kan vara upp till 18%. Enligt våra beräkningar kan en 18% fuktkvot som byggs in i en torr inomhusmiljö riskera att formförändras volymetriskt med 3,25%, vilket i ett läge enligt bilaga 1 kan leda till en längdförändring med 6,5 mm av en regel som ursprungligen håller 170 mm. Vi menar att SIS (Swedish Standards Institutes) riktlinjer är att föredra som en lägsta nivå. Där förespråkas en maximal fuktkvot i stomvirke på 16% (SIS, 2004).

8.2 Täthet & Energi

Av det material som funnits tillhanda så konstateras det att byggnaderna som A-hus reser idag ger ett lågt luftläckage, som dessutom ligger i det spann som byggnaden dimensioneras för eller bättre. För att nå ett lägre luftläckage än $0{,}2\ l/m^2 s$ krävs noggrannhet, högre

materialkostnader och erfarenhet till ett ekonomiskt värde som ej står i paritet med den energiförbrukning som minskas. En otät byggnad kan få högt vinddrag och luftströmmar som ger upphov till ett obehagligt inomhusklimat. Med ökade krav på inomhusklimat och energiförbrukning kan framtiden visa att dagens täthet är otillräcklig. Likt förslaget för fukt så skulle byggnadens täthet öka om plastfolien drogs fram till fönstret och fästes där. Från intervjuunderlaget fick vi dessutom ta del av information om att ytterligare fogning kring fönstret troligtvis skulle ge bättre täthetsresultat. Ytterligare rekommendationer är att göra fler uppföljningar med täthetsprovningar över tid, exempelvis efter tre och fem år samt analysera och jämföra dessa värden med traditionella värden.

8.3 Arbetsinsats

En god arbetsinsats kan ses som ett noggrant arbete, gärna så effektivt som möjligt. Detta innebär att om tidskrävande aktiviteter i produktionen minskas så ökar chanserna för en god arbetsinsats. I detta avseende är dagens lösning att föredra då plastfolien enkelt skärs av runt fönster och kläms fast, detta arbetssätt är mindre komplicerat än att fästa plastfolien i fönstret och bör vara mindre tidskrävande. Det råder en viss osäkerhet kring butylfogens effekt på konstruktionen. Delar av produktionen menar att den är onödig, konstruktionssidan är inte enig. Vi rekommenderar att utbilda personalen i varför arbetet ska utföras. Vidare skulle det öka säkerheten med uppföljande provtryckningar enligt kapitel 4.1 efter en tid då stomvirket hunnit anpassa sig till dess nya omgivande förhållanden. Som komplement till en provtryckning vore en läckagesökning som också beskrivs i 4.1 att rekommendera. Om inte för att finna läckage så för att utesluta läckage från riskområden.

Det finns alltså alternativa lösningar kring täthet i dagens konstruktion som skulle vara bättre ur flera perspektiv. Nedan följer förslag som skulle kunna användas som alternativa lösningar och som har andra egenskaper.

1. Vika in plastfolien kring hörn för att tejpa eller foga fast den där.
2. Se över tillåten fuktkvot i virke som används i stomme.
3. Utvärdering av butylfogens effekt vid formförändring.
4. Uppföljande tryckprovsmätningar efter eventuell formförändring hunnit ske.
5. Utbildning av personal i syfte med arbetsmoment.

Från avsnitt 4.4 undersöks lufttätheten runt fönster på ett liknande sätt som i denna utredning. En stor skillnad är dock att plastfolien endast kläms mellan reglarna och det används inte en butylfog för att täta eventuellt läckage mellan plastfolie och regeln. I rapporten undersöks bland annat fyra olika alternativ till hur man bygger anslutningar kring fönster och hur bra resultat som uppnås ur luttäthetssynpunkt, mest intressant är de två provresultaten där testtryckning när endast klämning av plastfolien sker, samt när klämning och fogning mellan bröstregeln och den längsgående regeln sker.

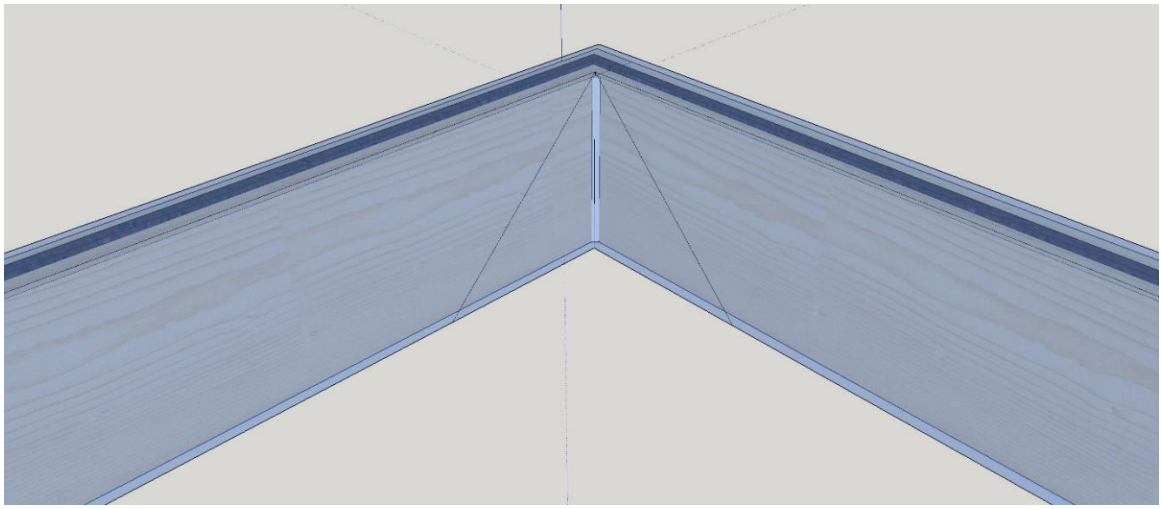
Ett förslag för en bättre lufttäthet är därför att vid fogning runt fönstret även applicera en kompletterande tätning i samtliga fyra hörn där bröstningsregeln möter den stående regeln. Denna tätning skulle kunna tänkas bestå av butylfog men den är troligen ej övermålningsbar. Istället föreslås tätning i form av tätningstejp eller kompletterande plast. Vikten av denna åtgärd styrks i kapitel 4.4. Mjukfogen som idag används kan fortfarande appliceras på samma sätt. Möjligtvis att det blir mer effektivt och ergonomiskt om mjukfogningen sker redan vid stombygget och kompletteringen sker när fönstret monteras. Det är svårt att tänka sig att detta skulle kunna ge några större extra omkostnader men högst troligt ett mer lufttätt element i längden.

8.4 Åtgärd

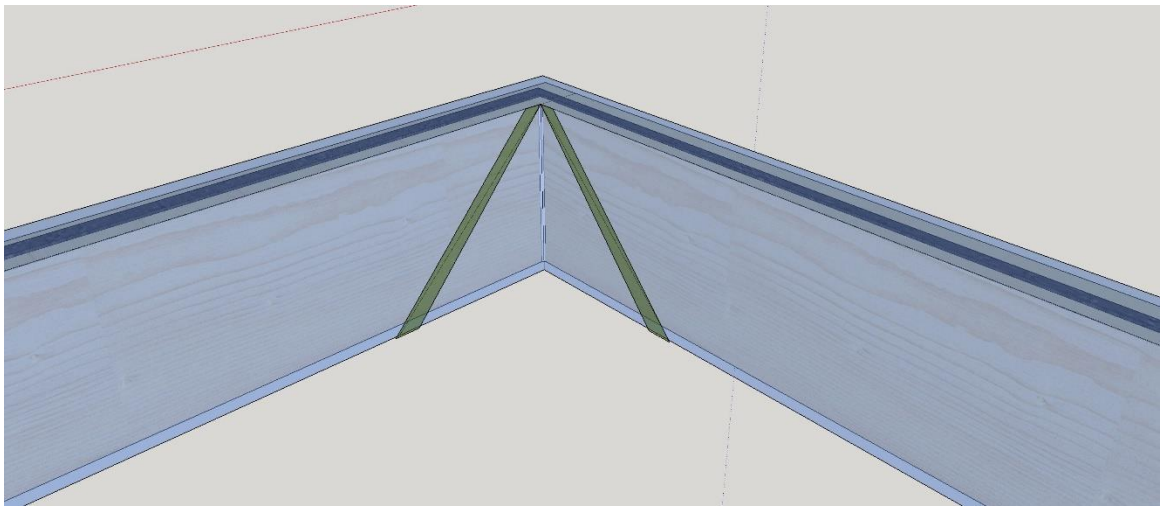
För att besvara tesen i denna utredning så vill vi presentera alternativa lösningar nedan:

- Det lufttäta alternativet

För att byggnaden ska öka sin lufttäthet krävs en bättre lösning för hur plastfolien avslutas vid fönstret samt att man kompletterar hörnen i fönstersmygen med plast eller tätningstejp. Plastfolien skulle behöva anslutas i fönstret enligt något av förslagen som presenteras i avsnitt 4.3. Kompletteringen i fönstersmygens hörn är särskilt viktig och styrks i kapitel 4.4. Det minst passande förslaget anses vara det produktionseffektiva alternativet, då detta riskerar att vara ett sämre alternativ ur lufttäthetssynpunkt över tid. Fördelar med det lufttäta alternativ är att en högre lufttäthet uppnås, detta leder till högre energiprestanda för byggnaden samt en högre fuktsäkerhet. Ytterligare fördelar är att risken för fukt i konstruktionen minskar då hela fönstersmygen är plastad. En nackdel med detta alternativ är dock att produktionen kommer ta längre tid vilket leder till högre kostnader. Det är viktigt att arbetet utförs noggrant och en viss erfarenhet och noggrannhet lär behövas för att smidigt utföra arbetet. Material till det kompletterande plasthörnet kan fås från restmaterial när man skär bort resterna av folien efter att man vikt in den. Detta hörn bör fästas precist mot resten av den invikta plastfolien och tejpas enligt figur 8.4 mot resten av folien.
Även om åtgärden är tidskrävande så är den lika kvalitetshöjande och sannolikt beständigare än dagens alternativ. Täthet är inte bara en energiaspekt utan även mycket viktig ur fuktsäkerhetssynpunkt. Figur 8.3 visar lösningens utseende och figur 8.4 visar hur den är tänkt att fästas.



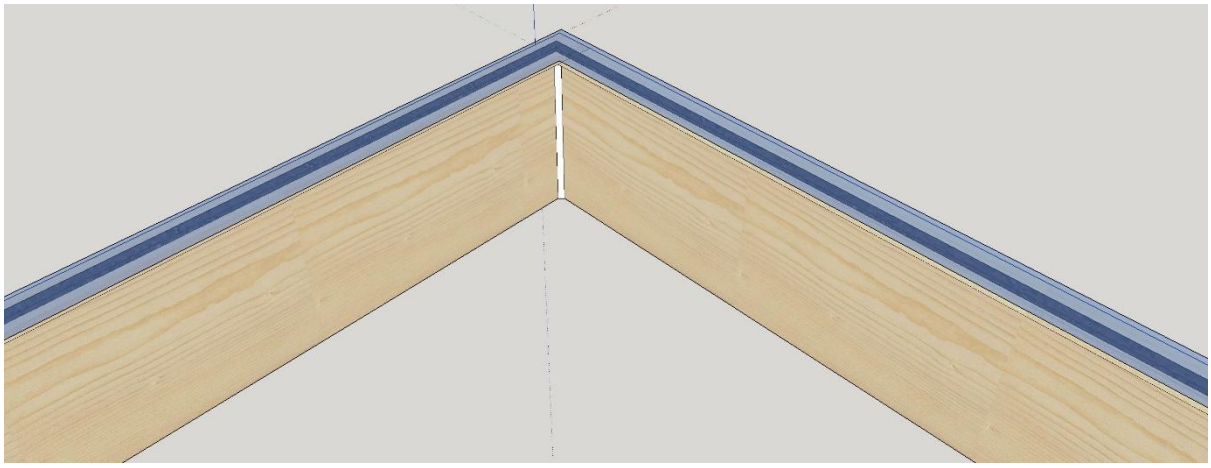
Figur 8.3 Bröstning- och längsgående regel med butylfog och plastfolie invikt i smyg, med kompletterande plasthörn ovan mjukfog



Figur 8.4 Bröstning- och längsgående regel med butylfog och plastfolie invikt i smyg, med kompletterande plasthörn tejpad i övrig plastfolie ovan mjukfog

- Det produktionseffektiva alternativet

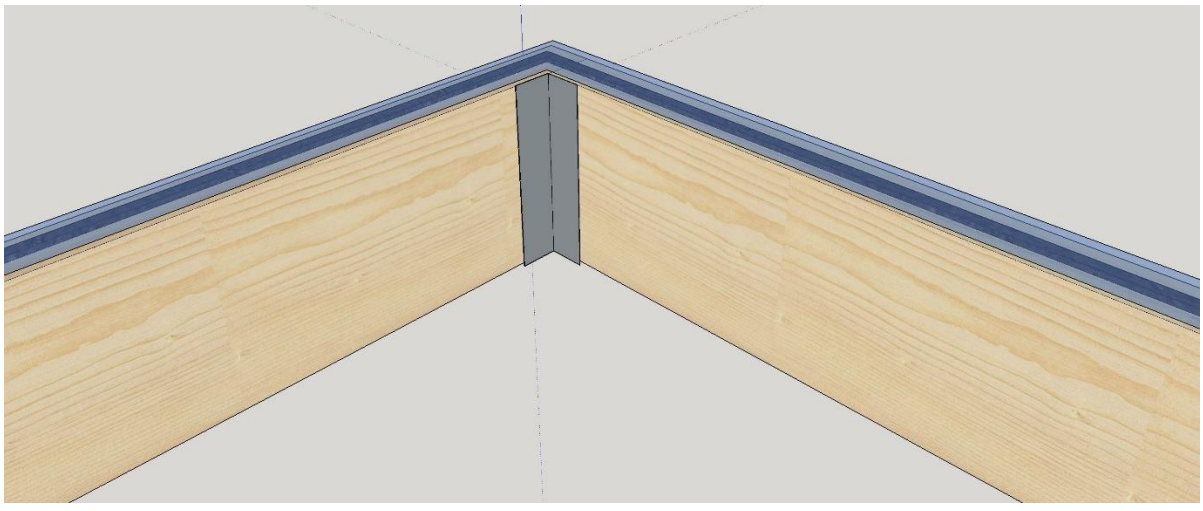
Den snabbaste lösningen och därav den produktionseffektivaste varianten menar vi är den nuvarande lösningen med butylfogen. Fördelar med detta alternativ är att produktionen går förhållandevis snabbt. Det är också en relativt enkel process att applicera butylfogen på konstruktionen. Till nackdelar kan dock tillskrivas att detta troligtvis inte är den mest lufttäta lösningen, då man avslutar folien innan fönstersmygen och kan således enligt kapitel 5.2 få problem med formförändringar på träet och på sikt kan ge komplikationer.



Figur 8.5 Bröstning- och längsgående regel med butylfog och plastfolie samt mjukfog i hörn

- Det kompromissande alternativet

Ur det dokumenterade materialet som vi tagit del av används en mjukfog mellan bröstningsregeln och den längsgående regeln. Istället för endast en mjukfog skulle tätningstejp med fördel kunna användas ovanför mjukfogen. Ur intervjuunderlaget har det framkommit att man tidigare använt denna tejp som har god beständighet även under lång tid och kan eventuellt vara mer effektiv än den fog som används idag. Fördelar med denna process är att arbetsinsatsen förändras marginellt, luftläckaget förblir lågt även vid formförändringar i hörn. Nackdelar med denna process är eventuellt skillnaden miljömässigt och ekonomiskt i att använda tätningstejp tillsammans med den nuvarande mjukfogen. Dessa tejper anges vara åldersbeständiga, vilket gör dess egenskaper utmärkta för detta ändamål. Vidare skulle vi rekommendera en utredning av butylfogen innan alternativet prövas. Som komplement till denna åtgärd ser vi gärna att man trots tidsåtgången viker in plastfolien i fönstersmygarna istället för att skära bort den. Även här skulle man kunna fästa folien i smygen med butylfog eller tätningstejp efter utredning.



Figur 8.6 Bröstning- och längsgående regel med butylfog och plastfolie samt tätningstejp ovan mjukfog i hörn

Referenser

Arnetz, M. Malmberg, A (2006). *Energibesparande åtgärder ur ett livscykelperspektiv: Variationer av ett flerbostadshus med fokus på ökad lufttäthet*.
Hämtad från http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/23024.pdf

Asplind, B (2019). *De första hyresgästerna flyttar in i Sveriges högsta massivträhus.* Svensk byggtidning.
Hämtad från https://www.svenskbyggtidning.se/2019/02/27/de-forsta-hyresgasterna-flyttar-in-i-sveriges-hogsta-massivtrahus/

Boverket. BFS 2011:6. *Boverkets byggregler Föreskrifter och allmänna råd.*
Hämtad från https://www.boverket.se/globalassets/vagledningar/kunskapsbanken/bbr/bbr-22/bbr-avsnitt-9

Boverket (2019). *Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppdelat på förnybar energi, fossil energi och kärnkraft.*
Hämtad från https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/energianvandning/

Burström, PG. (2015). *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper.* Lund: Studentlitteratur AB.

Derome. (2019). *Trä för framtiden.*
Hämtad från: https://www.derome.se/om-deromegruppen/miljo-hallbarhet/tra-for-framtiden

Eklund, G. Åbo Akademi. (2012). *Intervju som datainsamlingsmetod.*
Hämtad från: https://www.vasa.abo.fi/users/geklund/PDF/Intervjuer.pdf

Finansdepartementet SPN BB. SFS 2010:900. *Plan- och bygglag: Byggnadsverks tekniska egenskaper.*
Hämtad från https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900_sfs-2010-900

Finansdepartementet SPN BB. SFS 2011:338. *Plan och byggförordning Krav på byggnadsverk.*
Hämtad från https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-byggforordning-2011338_sfs-2011-338

Forum för energieffektiva byggnader. (2008). *Kravspecifikation för passivhus i Sverige – Energieffektiva byggnader.* LTH rapport EBD-R—08/21.
Hämtad från:
http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Publikationer/Kravspec_foer_Passivhus_i_Sverige_-_bostaeder_EBD-R--08-21.pdf

Hagentoft, C-E. (2012). *Introduction to building physics.* Lund: Studentlitteratur AB.

Hellekant, J. (2016). *Ny trend: Smarta höghus i trä - uppåt 20 våningar.* Svenska Dagbladet.

Jakiela, S. Bratasz, L. Kozlowski, R. (2008). *Wood due to climatic variations I: Wood science and technology.* Vol. 42, nr. 4

Kim, SJ. Chang, Y-S. Park, J-S. Shim, K-B. (2017). *Analysis of Airtightness and Air Leakage of Wooden Houses in Korea. J. Korean Wood Sci. Technol.* 45(6). s-s. doi: 10.5658

Petersson, BÅ. (2014). *Tillämpad Byggnadsfysik.* Lund: Studentlitteratur AB.

Research institute of sweden. (Hämtad 2019). *Trä och hållbart byggande.* Hämtad från https://www.sp.se/sv/index/services/woodepdlca/Sidor/default.aspx

Simonson, SS. (2012). *Trä och fukt - Mätmetoder för fuktrelaterade dimensionsförändringar hos trä och deras användbarhet, med två fallstudier inom konservering.* (Kandidatarbete, Göteborgs Universitet, Institutionen för kulturvård)

SP. (2006). SP INFO 2006:24. *Fukt i trä för byggindustrin.* Hämtad från https://www.sp.se/sv/index/services/SPmonitor/Documents/Fukt%20i%20trä%20för%20byggindustrin%202013.pdf

SP Energiteknik. SP RAPPORT 2004:22. *Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning.* ISBN 91-7848-995-4

SP. ETk6092-06-1rev1. *Lufttäthetsmätning NEED4B Boråshuset.* ISO/IEC 17025

Statistiska centralbyrån. (2018) *Drygt 4,8 Miljoner bostäder i Sverige.* Hämtad från https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/boende-byggande-och-bebyggelse/bostadsbyggande-och-ombyggnad/bostadsbestand/pong/statistiknyhet/bostadsbestandet-2017-12-31/

Strandberg, B. (2015). *Bygga hus - Illustrerad bygglära.* Lund: Studentlitteratur AB.

Svenskt Trä. (2012). *Träets fuktrörelser.* Hämtad från: https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/byggsystem/lattbyggnadsteknik/lattbygg-slutna-element/

Svenskt Trä. (2012). *Om Trä: Materialet trä.* Hämtad från: https://www.traguiden.se/om-tra/

Svenskt Trä. (2012). *Om Trä: Forskning om trä och fukt.* Hämtad från: https://www.svenskttra.se/om-tra/forskning-om-tra-och-fukt/#

Svenskt Trä. (2012). *Om Trä: Lättbygg - slutna element.* Hämtad från: https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/byggsystem/lattbyggnadsteknik/lattbygg-slutna-element/

Swedish Standards Institute. SS-ISO/IEC 9972:2015. Byggnaders termiska egenskaper - Bestämning av byggnaders lufttäthet - Tryckprovningsmetod. Stockholm: SIS Förlag AB. Hämtad från https://enav.sis.se

Swedish Standards Institute. SS-ISO/IEC 14298:2004. *Sågat virke - Bedömning av torkningskvalitet.* Stockholm: SIS Förlag AB.
Hämtad från https://enav.sis.se

Ternstedt, E. (1976). *Kompendium i trämateriallära.* Stockholm: Statens Industriverk, SIFU-Träteknik

Träguiden. (2015) *Ett förnybart byggmaterial.*
Hämtad från: https://www.traguiden.se/ett-fornybart-byggmaterial/

U.S. Department of Energy. (Hämtad 2019). *Blower Door Tests: Energy Saver.*
Hämtad från: https://www.energy.gov/energysaver/blower-door-tests#255279-tab-1

Wahlgren, P. (2010:09) *Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Bilaga A Längd- och volymförändring

RF20	Ursprungsfuktkvot virke [%]	RF inomhus [%]	Jämviktsfuktkvot [%]	Erforderlig desorption [%]	Volymförändring [%]	Längdförändring [mm]
			Jämvikt vid 20C och 20% RF	*Desorptionskurva Gran*	*Erf Desorp*0,26%*	*45x170 förändring endast 170-led*
	25	20	5,5	19,5	5,07	161,381
	24	20	5,5	18,5	4,81	161,823
	23	20	5,5	17,5	4,55	162,265
	22	20	5,5	16,5	4,29	162,707
	21	20	5,5	15,5	4,03	163,149
	20	20	5,5	14,5	3,77	163,591
	19	20	5,5	13,5	3,51	164,033
	18	20	5,5	12,5	3,25	164,475
	17	20	5,5	11,5	2,99	164,917
	16	20	5,5	10,5	2,73	165,359
	15	20	5,5	9,5	2,47	165,801
	14	20	5,5	8,5	2,21	166,243
	13	20	5,5	7,5	1,95	166,685
	12	20	5,5	6,5	1,69	167,127
	11	20	5,5	5,5	1,43	167,569
	10	20	5,5	4,5	1,17	168,011
	9	20	5,5	3,5	0,91	168,453
	8	20	5,5	2,5	0,65	168,895
	7	20	5,5	1,5	0,39	169,337
	6	20	5,5	0,5	0,13	169,779

Tabell 1 - Potentiell formförändring vid 20% relativ Fuktighet

RF25	Ursprungsfuktkvot virke [%]	RF inomhus [%]	Jämviktsfuktkvot [%]	Erforderlig desorption [%]	Volymförändring [%]	Längdförändring [mm]
			Jämvikt vid 20C och 25% RF	*Desorptionskurva Gran*	*Erf Desorp*0,26%*	*45x170 förändring endast 170-led*
	25	20	7	18	4,68	162,044
	24	20	7	17	4,42	162,486
	23	20	7	16	4,16	162,928
	22	20	7	15	3,9	163,37
	21	20	7	14	3,64	163,812
	20	20	7	13	3,38	164,254
	19	20	7	12	3,12	164,696
	18	20	7	11	2,86	165,138
	17	20	7	10	2,6	165,58
	16	20	7	9	2,34	166,022
	15	20	7	8	2,08	166,464
	14	20	7	7	1,82	166,906
	13	20	7	6	1,56	167,348
	12	20	7	5	1,3	167,79
	11	20	7	4	1,04	168,232
	10	20	7	3	0,78	168,674
	9	20	7	2	0,52	169,116
	8	20	7	1	0,26	169,558
	7	20	7	0	0	170

Tabell 2 - Potentiell volymförändring vid 25% relativ Fuktighet

RF30	Ursprungsfuktkvot virke [%]	RF inomhus [%]	Jämviktsfuktkvot [%]	Erforderlig desorption [%]	Volymförändring [%]	Längdförändring [mm]
			Jämvikt vid 20C och 30% RF	*Desorptionskurva Gran*	*Erf Desorp*0,26%*	*45x170 förändring endast 170-led*
	25	20	8,5	16,5	4,29	162,707
	24	20	8,5	15,5	4,03	163,149
	23	20	8,5	14,5	3,77	163,591
	22	20	8,5	13,5	3,51	164,033
	21	20	8,5	12,5	3,25	164,475
	20	20	8,5	11,5	2,99	164,917
	19	20	8,5	10,5	2,73	165,359
	18	20	8,5	9,5	2,47	165,801
	17	20	8,5	8,5	2,21	166,243
	16	20	8,5	7,5	1,95	166,685
	15	20	8,5	6,5	1,69	167,127
	14	20	8,5	5,5	1,43	167,569
	13	20	8,5	4,5	1,17	168,011
	12	20	8,5	3,5	0,91	168,453
	11	20	8,5	2,5	0,65	168,895
	10	20	8,5	1,5	0,39	169,337
	9	20	8,5	0,5	0,13	169,779

Tabell 3 - Potentiell volymförändring vid 30% relativ fuktighet

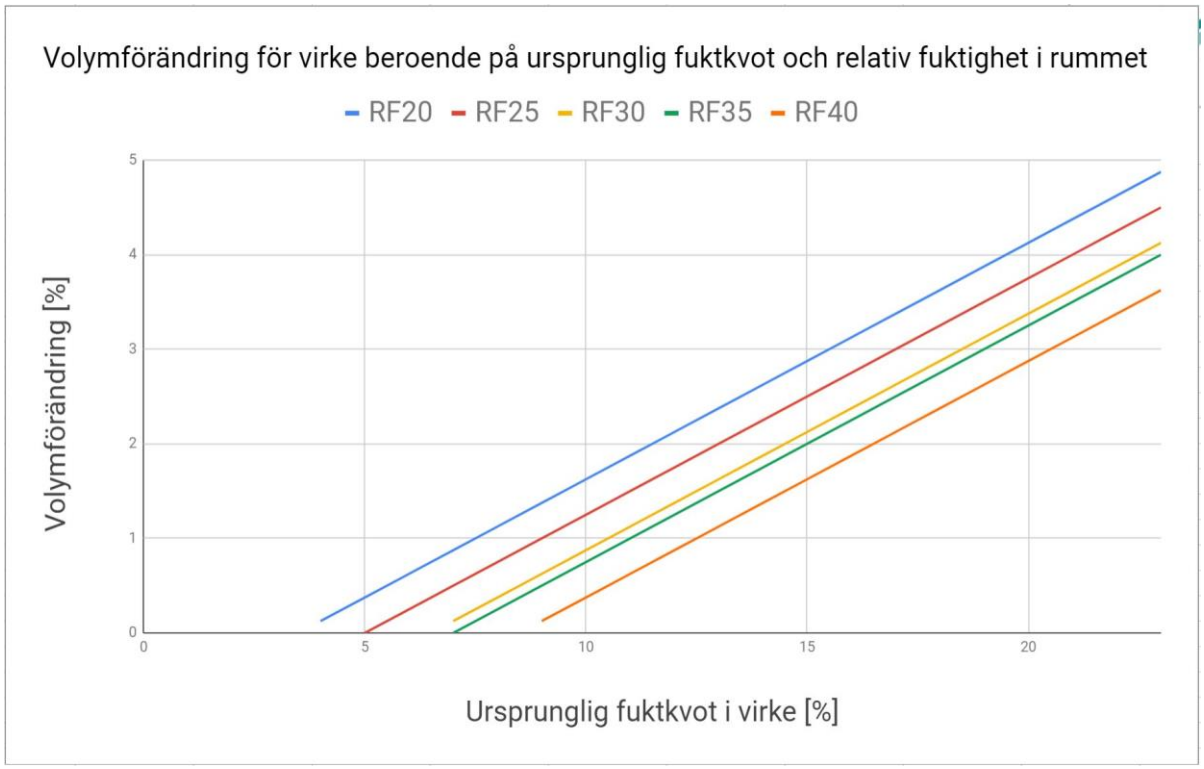
`

RF35	Ursprungsfuktkvot virke [%]	RF inomhus [%]	Jämviktsfuktkvot [%]	Erforderlig desorption [%]	Volymförändring [%]	Längdförändring [mm]
			Jämvikt vid 20C och 35% RF	*Desorptionskurva Gran*	*Erf Desorp*0,26%*	*45x170 förändring endast 170-led*
	25	20	9	16	4,16	162,928
	24	20	9	15	3,9	163,37
	23	20	9	14	3,64	163,812
	22	20	9	13	3,38	164,254
	21	20	9	12	3,12	164,696
	20	20	9	11	2,86	165,138
	19	20	9	10	2,6	165,58
	18	20	9	9	2,34	166,022
	17	20	9	8	2,08	166,464
	16	20	9	7	1,82	166,906
	15	20	9	6	1,56	167,348
	14	20	9	5	1,3	167,79
	13	20	9	4	1,04	168,232
	12	20	9	3	0,78	168,674
	11	20	9	2	0,52	169,116
	10	20	9	1	0,26	169,558
	9	20	9	0	0	170

Tabell 4 - Potentiell volymförändring vid 35% relativ fuktighet

RF40	Ursprungsfuktkvot virke [%]	RF inomhus [%]	Jämviktsfuktkvot [%]	Erforderlig desorption [%]	Volymförändring [%]	Längdförändring [mm]
			Jämvikt vid 20C och 40% RF	*Desorptionskurva Gran*	*Erf Desorp*0,26%*	*45x170 förändring endast 170-led*
	25	20	10,5	14,5	3,77	163,591
	24	20	10,5	13,5	3,51	164,033
	23	20	10,5	12,5	3,25	164,475
	22	20	10,5	11,5	2,99	164,917
	21	20	10,5	10,5	2,73	165,359
	20	20	10,5	9,5	2,47	165,801
	19	20	10,5	8,5	2,21	166,243
	18	20	10,5	7,5	1,95	166,685
	17	20	10,5	6,5	1,69	167,127
	16	20	10,5	5,5	1,43	167,569
	15	20	10,5	4,5	1,17	168,011
	14	20	10,5	3,5	0,91	168,453
	13	20	10,5	2,5	0,65	168,895
	12	20	10,5	1,5	0,39	169,337
	11	20	10,5	0,5	0,13	169,779

Tabell 5 - Potentiell volymförändring vid 40% relativ fuktighet



Figur 6 - Graf över potentiella volymförändringar vid olika relativa fuktigheter

Bilaga B Fuktmätningar

nr	Uteprov	Mätpunkt	Fuktkvot [%]		Mätpunkt	Fuktkvot [%]		Mätpunkt	Fuktkvot [%]
1		1	13		2	9,4		3	15,5
2		1	9,1		2	9,1		3	12,4
3		1	8,5		2	8,5		3	11,8
4		1	8,7		2	9,2		3	11,7
5		1	9,2		2	9,1		3	11,8
6		1	9,5		2	8,3		3	13,3
7		1	9,4		2	8,7		3	11,6
8		1	9,6		2	9,5		3	11,2
9		1	9,2		2	8,9		3	10,2
10		1	9,9						

Tabell 7 - Fuktkvotsmätning vid olika mätpunkterna från uteprov

nr	Tidigt prov	Mätpunkt	Fuktkvot [%]		Mätpunkt	Fuktkvot [%]		Mätpunkt	Fuktkvot [%]
1		1	11,3		2	8,9		3	9,5
2		1	10,7		2	9		3	9,7
3		1	9,6		2	8,6		3	8,7
4		1	13,6		2	9,2		3	9,9
5		1	13,5		2	8,3		3	8
6		1	16,7		2	10,4		3	10,5
7		1	13,8		2	12,8		3	8,5
8		1	8,6		2	9,5		3	9,5
9		1	9,4		2	8,4		3	8,8
10					2	11,4			
11					2	8,5			
12					2	8,8			
13					2	10,3			

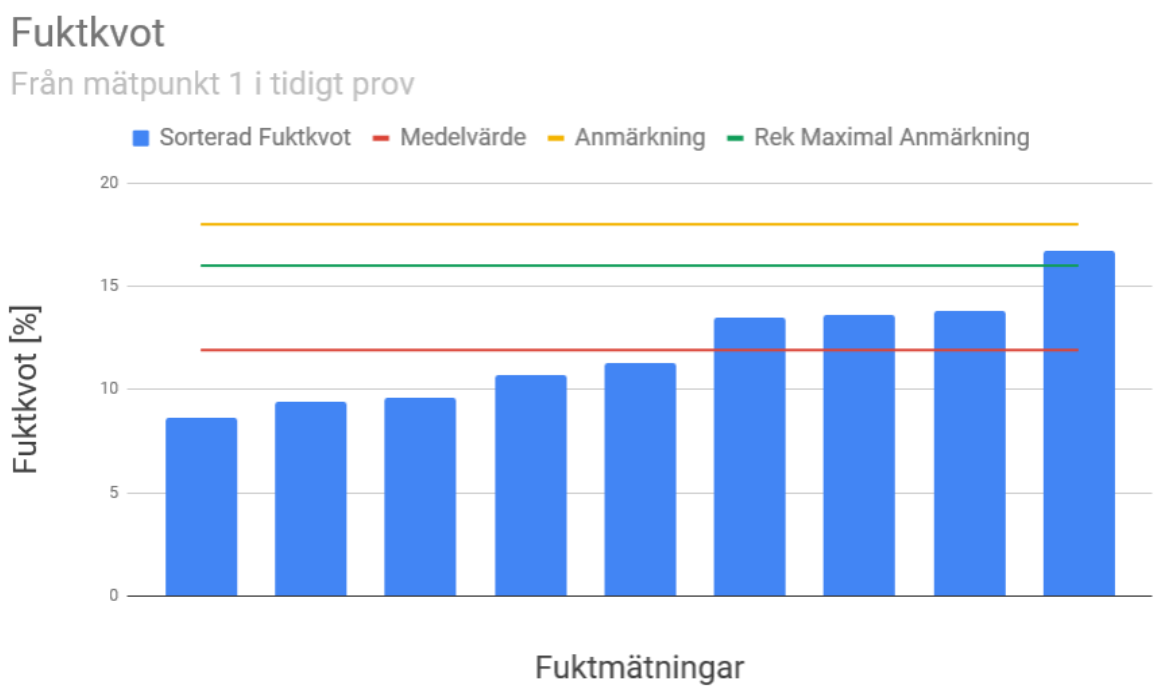
Tabell 8 - Fuktkvotsmätning vid olika mätpunkterna från tidigt prov

nr	Såghall	Mätpunkt	Fuktkvot [%]		Mätpunkt	Fuktkvot [%]		Mätpunkt	Fuktkvot [%]
1		1	13,1		2	9		3	10,7
2		1	12,2		2	8,8		3	9,9
3		1	13,6		2	7,8		3	9,5
4		1	12,6		2	10,2		3	11,7
5		1	12,4		2	9		3	11,9
6		1	12,8		2	8,5		3	9,9
7		1	13,4		2	9,1		3	10,8
8		1	11,4		2	8,2		3	8,9
9		1	10,4		2	10,2		3	12
10		1	10,1		2	9		3	10

Tabell 9 - Fuktkvotsmätning vid olika mätpunkterna från såghall

nr	Leveransredo	Mätpunkt	Fuktkvot [%]
1		1	11,2
2		1	9,8
3		1	9,5
4		1	7,8
5		1	8,9
6		1	9,1
7		1	13,2
8		1	10
9		1	8,8
10		1	16,5

Tabell 10 - Fuktkvotsmätning vid de olika mätpunkterna från väggelement som är leveransredo



Figur 11 - Sorterat urval av uppmätta fuktkvoter

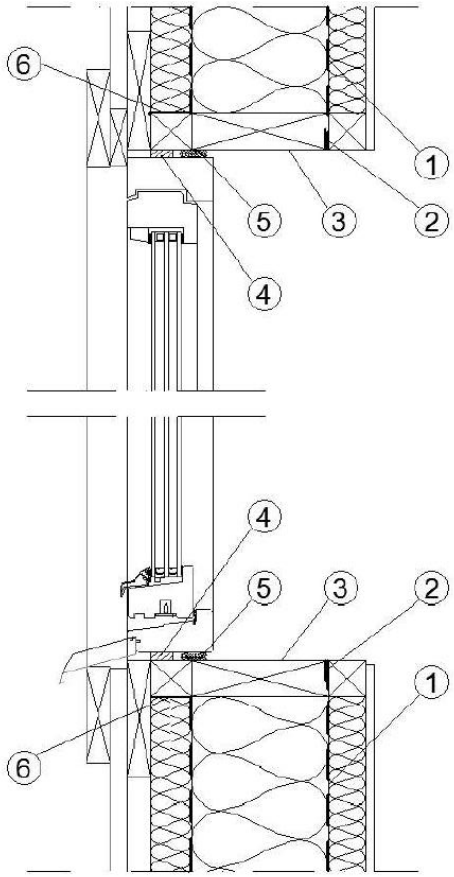
Bilaga C Anvisningar

TÄTNING KRING FÖNSTER OCH DÖRRAR

Fönster och dörrar utsätts för stor påverkan utifrån och en otäthet kan ge upphov till fuktskador och påverka boendekomforten negativ.
Nedan beskrivs utförande och de material som används. Se även detaljritning på nästa sida.
För tätning av brandklassade fönster och dörrar se sidan 22.

1. PLASTFOLIE: Plastfolien skärs av vid öppning och kläms av regeln i invändigt skikt.
2. BUTYLMASSA: Skarven mellan plastfolie och 170-stomme tätas med butylmassa. En sträng butylmassa läggs mellan plasten och 45x170 regeln. När regeln i invändigt skikt fästs uppstår klämning och butylmassan smetas ut.
3. MJUKFOG: Läggs i 90° vinkeln mellan väggreglarna i 45x170 skiktet. (Röd på bild nedan) Motverkar luftläckage om virket vrider sig.
4. FOGBAND: Skyddar mot vind och regn samt isolerar. Viktigt att denna fyller ut hela utrymmet ända ut i 90° hörnet.
5. PLASTAD DREVREMSA: Isolerar, samt är diffusions- och lufttät.
6. VINDDUK RUNT FÖNSTER: Vindduken viks upp mot 45x45 regeln och kläms av fasadskivan.

Bilaga 12 – Täthetsanvisningar s.1(2)



A-hus Täthetsanvisning Byggplats 21

Bilaga 13 – Täthetsanvisningar s.2(2)

Figurförteckning

Figur 2.1: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Profiler av en yttervägg*

Figur 2.2: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Installationslösning fönster*

Figur 4.1: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Beskrivning av Blower Door testutrustning*

Figur 4.2: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Illustration byggnad undertryck*

Figur 4.3: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Illustration byggnad övertryck*

Figur 4.4: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Persiennhål*

Figur 4.5: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Termograferingskamera*

Figur 4.7: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Illustration av luftströmning genom otätheter*

Figur 4.8: Wahlgren. (2010). *plastfolien kläms mellan regelstommarna.* (SP Rapport 2010:09). Hämtad från: http://byggal.se/wp-content/uploads/2016/11/SP-Rapport-2010_09.pdf

Figur 5.1: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Prioriterade mätpunkter i väggelement*

Figur 5.2: Svenskt Trä. (2017). *Formförändringar*. Hämtad från: https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/formforandringar-och-atgarder/formforandringar/

Figur 5.3: Svenskt Trä. (2017). *Sorptionskurva vid* $20^{o}C$. Hämtad från: https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/

Figur 6.1: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Formförändring vid olika ursprungsfuktighet och relativ fuktighet inomhus*

Figur 6.2: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Potentiell formförändring 1*

Figur 6.3: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Potentiell formförändring 2*

Figur 6.4: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Potentiell formförändring 3*

Figur 6.5: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Mätpunkter vid fuktkvotsprov*

Figur 6.6: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Fuktmätningar*

Figur 7.1: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *svar på frågan "Hur stor effekt tror du att butylfogen har?"*

Figur 7.2: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *svar på frågan "Vad skulle kunna göra era element ännu tätare?"*

Figur 7.3: RISE för A-hus. (Hämtad 2019). *Provtryckningsresultat*

Figur 8.1: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Spricka vid fönster pga formförändring*

Figur 8.2: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Sprucken regel pga formförändring*

Figur 8.3: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Bröstning- och längsgående regel med butylfog och plastfolie invikt i smyg, med kompletterande plasthörn ovan mjukfog*

Figur 8.4: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Bröstning- och längsgående regel med butylfog och plastfolie invikt i smyg, med kompletterande plasthörn tejpad i övrig plastfolie ovan mjukfog*

Figur 8.5: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Bröstning- och längsgående regel med butylfog och plastfolie samt mjukfog i hörn*

Figur 8.6: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Bröstning- och längsgående regel med butylfog och plastfolie samt tätningstejp ovan mjukfog i hörn*

Figur 8.7: Oscar Konkell & Emanuel Billemar. (2019). *Bröstning- och längsgående regel med butylfog och plastfolie samt plasthörn ovan mjukfog i hörn*