



Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar

Paula Wahlgren

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar

Paula Wahlgren

Abstract

Good examples of airtight details

The need for airtight buildings has been highlighted in the last few years, resulting in specifications for airtight buildings and increased monitoring of the airtightness. This project aims to describe, in a practical way, how airtight constructions can be obtained, with focus on construction details. In order to find good examples, interviews with designers, contractors and airtightness test engineers have been made and building sites have been visited. A literature review and airtightness data from laboratory measurements have also been gathered. The report presents advice on how to design airtight constructions, with details or systems obtained from buildings that have a proven (measured) good airtightness or from constructions evaluated in laboratory. Some advice is also given on other factors that affect the airtightness, such as information.

Key words: airtightness, airtight constructions, fan pressurization measurements

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2010:09
ISBN 978-91-86319-45-8
ISSN 0284-5172
Borås 2010

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord	5
1 Introduktion	6
2 Varför lufttätt?	7
3 Drivkrafter för luften	9
4 Att mäta lufttäthet och söka luftläckage	13
5 Att bygga lufttätt	16
5.1 Erfarenheter från Brogården	18
5.2 Erfarenheter från Dalgången	18
5.3 Erfarenhet från Frillesås	18
5.4 Övriga kommentarer om svårigheter och möjligheter	19
5.5 Beständighet	19
6 Mätresultat för konstruktionsdetaljer	20
7 Täta konstruktionsdetaljer	21
7.1 Skarvar mellan lufttäta skikt	21
7.2 Anslutningar	27
7.3 Anslutning betongbjälklag/vägg	31
7.4 Anslutning mellanbjälklag/vägg	32
7.5 Anslutning yttervägg/fönster	33
7.6 Genomföringar	37
7.7 Eldosor, elrör och VVS-installationer	37
7.8 Spotlights	40
7.9 Tillfälliga genomföringar	40
7.10 Öppningsbara detaljer	41
8 Föreskrifter för en lufttät byggnad	42
9 Några tips för en lufttät byggnad	43
10 Referenser	46
Bilaga 1. Projektorganisation	47
Bilaga 2. Instruktion för tidig läckagesökning	48
Bilaga 3. Rapport från läckagesökning	52
Bilaga 4. Mätresultat för konstruktionsdetaljer	53

Förord

Projektet ”Lufttätthet i byggprocessen, Etapp C: Projektörens och entreprenörens arbete för att skapa god lufttätthet” startade 2008 med medel från SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond). 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.

Ett antal goda exempel har undersökts i projektet. För hjälp med dessa objekt, med kunskap och med litteratur vill jag särskilt tacka:

Henrik Carlsson, WSP

Stefan Holmberg, LB-hus

Martin Jorlöf, Skanska

Elvy Karlsson, Tyréns/Martin & Co

Charlotte Odbratt, Egnahemsbolaget

Owe Svensson, SP

Lars Tirén, Eksta Bostads AB

Jon Tjärnström, Skanska

Arnoud Vink, WSP

Hans Wetterlund, WSP

Förhoppningsvis kan projektet bidra till att ge ökad kunskap om hur man går tillväga för att få en lufttät byggnad, och inspiration till att satsa på ett lufttätt byggande.

Borås 26 februari 2010

Paula Wahlgren

1 Introduktion

Medvetenheten om behovet av lufttäta byggnader har ökat på senare år. Det finns flera anledningar till detta. Främst är det de energiförluster som luftläckage orsakar som har väckt intresset för lufttätethet, men också att man i högre grad har uppmärksammat de fukt-skador som läckande luft har orsakat. Det ökande intresset för passivhus har medvetande-gjort att det faktiskt är möjligt att bygga täta hus och att det också är ett måste för att ett passivhus¹ skall vara just ett passivhus.

I projektet ”Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen” har ett flertal projekt utförts som be-handlar just lufttäthetsfrågor. Den första delen, Sandberg (2004), beskrevs kunskapsläget och attityder när det gäller lufttätethet samt vad för information eller metoder som saknas i nuläget. Det framgår att dåliga ritningar samt bristande kunskap, motivation och utbildning är orsaker till en bristfällig lufttätethet. Mätningar utfördes också på ett antal kritiska detaljer. I andra delen, Sandberg (2007), riktas arbetet mot byggherrarna. Där beskrivs de tekniska konsekvenserna av dålig lufttätethet och information ges om hur man gör lönsamhetskalkyler och ställer krav på lufttätt byggande.

Detta är tredje delen i ”Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen”. Syftet med projektet är att ta fram hjälpmedel, t ex tekniska lösningar och kontrollmetoder, för ett lufttätt byggande så att man kan klara de krav som ställs. Vi vet från tidigare att det ofta saknas kunskap hos projektören om hur lufttäta lösningar skall utformas och hos entreprenören hur de skall utföras för att fungera. Ofta finns det ett glapp i informationen mellan projektör och entreprenör och en nyckelfråga är att skapa en bättre samverkan projektör/entreprenör för att uppnå berättigade krav på lufttätethet.

För att kunna hitta bra tillvägagångssätt och tekniska lösningar för att bygga lufttäta byggnader har vi undersökt ett antal projekt där man lyckats bygga lufttäta byggnader. De exempel som finns med i kapitel 7 är byggnader som haft en uppmätt lufttätethet på 0,3 l/m²s eller bättre (de flesta bättre än 0,2 l/m²s). En del byggnader/byggprojekt är ana-lyserade mer i detalj och andra mer översiktligt. Information om bra lösningar har också inhämtats från projektörer, konstruktörer, skadeutredare, personer som täthetsprovar byggnader och litteraturstudier. I projektet har också de tidigare mätningarna av lufttätethet hos ett antal detaljer tagits tillvara och kompletterande mätningar har gjorts. De före-slagna detaljerna har diskuterats i projektgruppen och granskats av referensgruppen.

Det finns också två fortsättningar på detta lufttäthetsarbete. Det ena projektet, Bygga L, handlar om utveckla en generell metod för byggande av lufttäta byggnader som omfattar kravformulering, projektering och produktion. I projektet skall kvalitetsstyrande rutiner och tillhörande checklistor tas fram. Det andra projektet, Beständighet hos täthetslös-ningar, utvärderar lufttäta konstruktioner med avseende på lufttäthetens förändring över tiden (t ex på grund av att tejp lossar eller att fogmassor krymper).

¹ Passivhus är enligt Passivhuscentrum ”välisolerade byggnader som till stor del värms upp genom den energi som redan finns i huset”. Energin kommer ifrån exempelvis solstrålning, personer och elektrisk utrustning. Kravspecifikation finns, där kravet på maximalt luftläckage är 0.3 l/m²s.

2 Varför lufttätt?

Det finns många bra anledningar till att bygga en lufttät byggnad. En ofta drivande anledning är att det krävs för att få **energieffektiva** byggnader. Ifall en byggnad är otät medför det att ventilationsgraden ökar, framför allt när det blåser, vilket i sin tur ökar energianvändningen. Ett otätt klimatskal kan även medföra att luften blåser in i isoleringen och minskar isolerförmågan, samt att inte värmeväxling av ventilationsluften fungerar tillfredställande. Ifall byggnaden är otät går ju en del av luften igenom klimatskalet istället för igenom värmeväxlaren. I Boverkets byggregler ställs krav på maximal energianvändning i nya byggnader. Detta krav, som infördes i juli 2006, har bidragit till byggsektorns ökade fokus på byggnadsskalets lufttätthet.

Ytterligare en anledning till att bygga lufttät är för att minska risken för **fuktskador**. Inneluft som läcker ut genom otätheter i klimatskalet kyls av. Om temperaturen sjunker till daggpunkter kondenserar vattenånga ur luften och fukt ansamlas i byggnadskonstruktionen. En vanligt förekommande fuktskada p g a detta är mögelangripna kallvindar. På grund av att det ofta är övertryck i de övre delarna av byggnaden transporteras fuktig luft via fuktkonvektion upp till kallvinden där vattenånga kondenserar på insida yttertak och ger höga fukttillstånd samt mögelpåväxt.

Att ha god lufttätthet är också en **komfortfråga**. Luft som läcker in i byggnaden på oönskade ställen ger upphov till drag och till nedkylda ytor. Vanliga effekter av inläckande luft är drag kring fönster och dörrar samt kalla golv (orsakat av luftläckage in i bjälklaget).

Även **luftkvaliteten** i byggnaden påverkas av klimatskalets täthet. För att kunna filtrera tilluften från partiklar, såsom pollen, krävs att luften tillförs genom ventilationssystemet och inte genom otätheter i klimatskalet. Mellan olika delar av en byggnad krävs täthet för att inte gaser och partiklar skall spridas inom byggnaden. Exempel på oönskad spridning är matos mellan lägenheter, radon från källarutrymme eller mark och spridning av brandgaser. Såsom tidigare nämnts är det inte bara den totala ventilationsgraden i en byggnad som påverkas av ifall byggnaden är otät. Otätheterna kan också medföra att vissa delar av en byggnad får otillräcklig mängd friskluft och för låg luftkvalitet, och att andra delar får mycket hög ventilationsgrad p g a ”kortslutning” i systemet.

Ytterligare två möjliga konsekvenser av ett otätt klimatskal är ökad bullerspridning utifrån samt ökad frysrisk hos installationer.

En viktig parameter för att få ett bra inneklimat i en byggnad är tillförsel av uteluft. När man bygger nytt är oftast byggnadens ventilationssystem väldimensionerat och luftkvaliteten inomhus god. Tyvärr finns det en del fall då man tätat befintliga byggnader men glömt bort att säkerställa att byggnaden har en fungerande ventilation efter tätning. I vissa fall har problem med hög luftfuktighet och dålig luftkvalitet uppstått. Med andra ord: byggnadens luftväxling skall ske genom avsett ventilationssystem och inte genom klimatskalet.



(Eric Werner Tecknaren)

Figur 1. För att få en energisnål byggnad med gott inneklimat krävs bland annat att byggnaden är lufttät och att den har ett väl fungerande ventilationssystem.

Så vem bestämmer hur lufttät en byggnad skall vara? Det fanns tidigare normkrav på lufttäthet men de är sedan 2006 borta. Däremot finns det krav i BBR på byggnadens energianvändning och för att klara detta krav är det viktigt att ha bra lufttäthet. För passivhus kan kravspecifikation enligt FEBY (Forum för energieffektivt byggande) användas och där är maximalt tillåtet luftläckage $0.3 \text{ l/m}^2\text{s}$ vid 50 Pa. I övrigt är det upp till byggherren att ställa krav. Beskrivning av byggherrens arbete med hur man ställer och följer upp lufttäthetskrav finns i Sandberg et al. (2007).

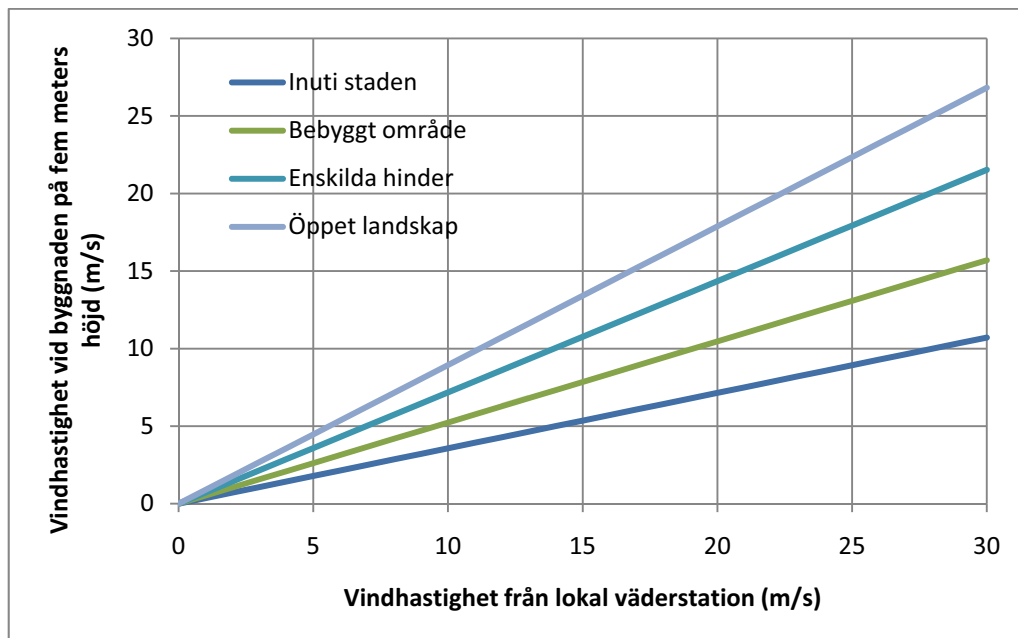
En ytterligare viktig faktor att ta hänsyn till är beständighet hos konstruktionen med avseende på tätheten. För att säkerställa att det finns rätt förutsättningar att få en täthet som inte försämrats över tiden bör man välja konstruktioner där material/produkter har utvärderats som en helhet. I Olsson (2009) föreslås en metod för att utvärdera och prova tätheten hos en fullständig lösning/system. I det tidigare nämnda projektet, Beständighet hos täthetslösningar, behandlas just frågan om hur tätheten förändras över tiden.

En ofta förekommande positiv effekt med att arbeta för en lufttät byggnad är att kvaliteten ofta blir bättre. Detta beror på att det krävs en genomtänkt planering och ett bra arbetsutförande för att åstadkomma en byggnad med hög lufttäthet, vilket i sin tur ökar kvaliteten på byggnaden.

3 Drivkrafter för luften

Som tidigare beskrivits i föregående kapitel så kan luftläckage få allvarliga konsekvenser för byggnaden i form av t ex fuktskador och ökat energibehov. För att luft skall röra sig genom klimatskalet krävs två saker: att det finns en tryckskillnad över klimatskalet och att det finns en läckageväg för luften att transporteras i. Med andra ord, om man vill hindra luftläckage kan man antingen ta bort drivkrafterna eller stänga till läckagevägarna. De drivkrafter som finns för luften i en byggnad kan delas upp i följande tre områden: vindpåverkan, termisk drivkraft (skorstenseffekt) och mekanisk ventilation.

Vindpåverkan skapas av att vinden blåser mot en byggnad. Möjligheten att minska vindpåverkan är begränsad men det är en tydlig fördel att placera byggnaden i ett skyddat landskap med träd och kullar jämfört med i ett öppet landskap. I en stadsbebyggelse blir vindpåverkan ännu mindre. Nedanstående exempel visar på hur mycket vindhastigheten vid byggnaden reduceras av omgivningen. Exemplet är beräknat på en höjd av 5 meter över markytan, vid byggnaden. Väderstationers höjd är vanligtvis 10 m.

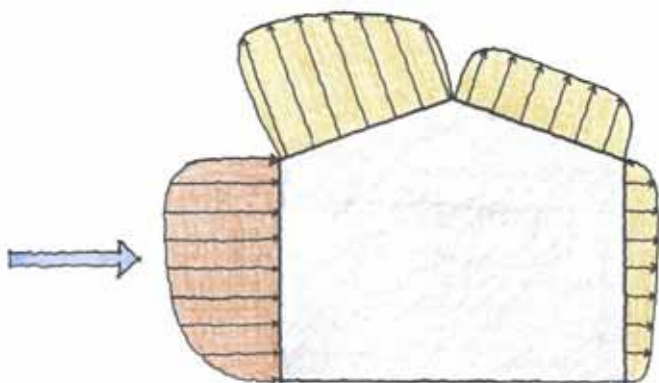


Figur 2 Reduktion av vindhastighet på grund av omgivningens beskaffenhet.

I figuren kan man avläsa att vindhastigheten som påverkar en byggnad (på 5 meters höjd) är ungefär halverad (jämfört med hastighet vid väderstation) om byggnaden finns i bebyggt område och är en tredjedel om byggnaden finns i stadsbebyggelse.

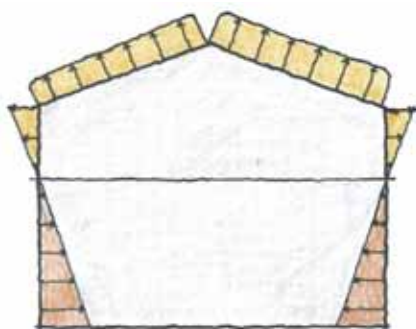
Vindens påverkan märks ofta i gamla otäta hus (främst i kustnära bebyggelse) där det kan vara svårt att hålla en bra inomtemperatur när det blåser mycket. Det är också vanligt med lokal nedkylning i byggnader på grund av vind. Man kan t ex få kalla golv ifall det blåser in i ett golv- eller mellanbjälklag.

Vindpåverkan är olika på olika sidor av en byggnad. På lovartsidan ger vinden upphov till att luft pressas in i byggnaden och på läsidan sugas luft ut ur byggnaden.



Figur 3 Tryckbild kring en byggnad orsakad av vind.

Nästa drivkraft, termisk drivkraft, orsakas av att varm luft är lättare än kall. Detta innebär att luften kommer att stiga i byggnaden när den värms upp. Det innebär att det blir varmare i de övre delarna men det innebär också att varm (ibland fuktig) luft läcker ut i de övre delarna av byggnaden och kall luft sugas in i otätheter vid de lägre delarna av byggnaden (t ex vid golv/vägganslutningar). I några fall där flerbostadshus har byggts med garage i undervåningen har det hänt att avgaslukt har spridits in i trapphusen på grund av sugverkan från skorstenseffekt. I höga byggnader kan skorstenseffekten orsaka stora tryckskillnader och byggnaden kan behöva sektioneras för att minska dessa tryckskillnader.



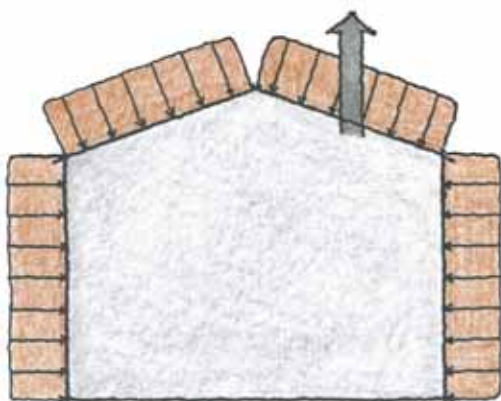
Figur 4 Tryckbild kring en byggnad orsakad av skorstenseffekt.

En relativt vanlig effekt av skorstenseffekten är att övertrycket vid innertaket i en villa under vintertid gör att varm, fuktig luft läcker upp på en kallvind. På kallvinden kondenserar sedan fukten i luften och i ogynnsamma fall orsakar detta fukt- och mögelskador på vinden.



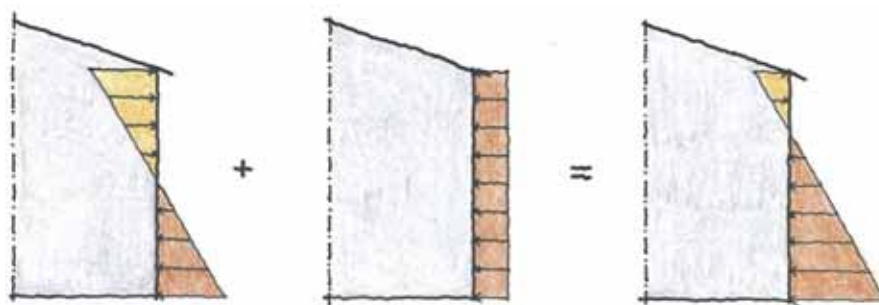
Figur 5 Mögelpåväxt på insidan yttertak.

Vilken ventilationsprincip som används i en byggnad påverkar också tryckbilden. I Figur 4 visas en typisk tryckbild för en byggnad med självdrag under vintertid, d v s övertryck i övre delarna av byggnaden och undertryck vid de lägre delarna. I en byggnad med frånluftsventilation är det oftast undertryck i byggnaden. Ett från- och tilluftssystem ger oftast små tryckskillnader.



Figur 6 Tryckskillnad över klimatskalet, orsakad av frånluftsventilation.

De olika orsakerna till tryckskillnader över klimatskalet samverkar sedan till en resulterande tryckbild för byggnaden. I exemplet nedan visas tryckbilden som orsakas av frånluftsventilation i kombination med skorstenseffekt. Den resulterande tryckbilden är ett litet övertryck i byggnadens övre delar och ett stort undertryck i byggnadens nedre delar.



Figur 7 Skorstenseffekt i kombination med frånluftsventilation.

Hur mycket luft det läcker genom byggnaden beror dels på hur tryckbilden ser ut men naturligt också på hur stora läckagevägar det finns.

Det finns tre sätt att beskriva relationen mellan luftläckage och tryck. När luftströmning är jämt fördelad genom ett poröst material kan luftflödestäthet per kvadratmeter material och sekund, r ($\text{m}^2/\text{m}^2\text{s}$), beräknas som funktion av tryckskillnaden enligt

$$r = k \cdot \frac{\Delta p}{d} \quad (1)$$

där k är det porösa materialets permeabilitet, d (m) är materialets tjocklek och Δp (Pa) är tryckskillnaden över materialet.

Luftflödet genom springor och spalter kan beskrivas på två sätt. Det mest vedertagna, och som också används för att beskriva luftflödet vid lufttäthetsmätningar, är

$$q = C \cdot \Delta p^n \quad (2)$$

Här är q ($\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$) luftflödet per meter spalt, Δp (Pa) är tryckskillnaden och C och n är faktorer som beskriver flödet. Exponenten n ligger mellan 0.5 och 1, där 0,5 motsvarar turbulent flöde och 1 motsvarar laminärt flöde. Ett vanlig förekommande värde är 2/3. Koefficienten C är olika för olika sorters springor, spalter och hål och spridningen är mycket stor (0- >100).

Ett alternativt sätt att beskriva luftströmning är

$$\Delta p = Aq + Bq^2 \quad (3)$$

Tryckskillnaden är uttryckt som en funktion av luftflödet där den linjära termen Aq beskriver strömningen i spalten och Bq^2 beskriver strömningen vid inlopp och utlopp för spalten.

4 Att mäta lufttäthet och söka luftläckage

Den vanligaste metod att mäta lufttäthet i en byggnad presenteras i den europeiska normen EN 13829:2000. Metoden innebär att man skapar en tryckskillnad över byggnadens klimatskal och mäter luftflödet vid ett antal olika tryckskillnadsnivåer.

Det praktiska förfarandet är som följer. En fläkt monteras i en öppning till utrymmet som skall mätas, ventilationsdon och andra öppningar som inte ingår i klimatskalet tätas (öppen spis, tomma vattenlås etc.) och tryckmätare anbringas för att mäta tryckskillnaden mellan ute och inne. Med hjälp av fläkten skapas ett undertryck samt ett övertryck i byggnaden. Oftast ger övertryck och undertryck något olika resultat beroende på att luftströmningsvägarna är något olika. Detta kan exempelvis bero på att en plastfolieskarv är mer öppen vid undertryck än övertryck.

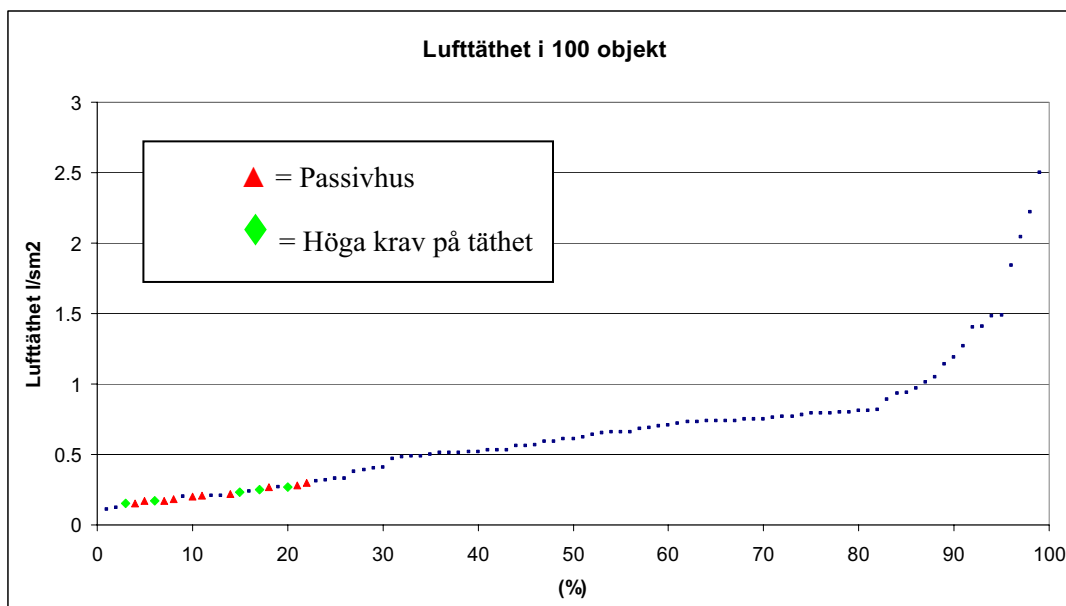
För varje trycknivå mäts vid fläkten vilket luftflöde som behövs för att skapa respektive tryckskillnad. Ekvation 2 används för att beskriva luftflödet som funktion av tryckskillnad. I Sverige uttrycks en byggnads lufttäthet som specifikt luftflöde (l/m^2s) $d v s$ som luftflöde (liter) per kvadratmeter klimatskal vid en tryckskillnad på 50 Pa.



Figur 8 Utrustning för mätning av en byggnads täthet.

Så vad har vi då för täthet på våra byggnader? Som tidigare nämnts har vi i detta projekt valt att ta med exempel från byggnader med en maximal uppmätt lufttäthet på $0,3 l/m^2s$ (de flesta är under $0,2 l/m^2s$). Kravspecifikationen enligt FEBY (Forum för energieffektivt byggande) är också maximalt $0,3 l/m^2s$. I Svensson (2009) visas resultatet av lufttäthetsmätningar i 100 byggnader i Sverige. Här ligger lufttätheten mellan $0,11$ och $2,5 l/m^2s$ för ”vanliga” byggnader och under $0,3 l/m^2s$ för passivhus och övriga byggnader med särskilt fokus på energi och/eller lufttäthet. Mätningarna är utförda på nybyggda objekt

och flerbostadshus, villor, skolor och förskolor. Både lätta och tunga konstruktioner, finns representerade.



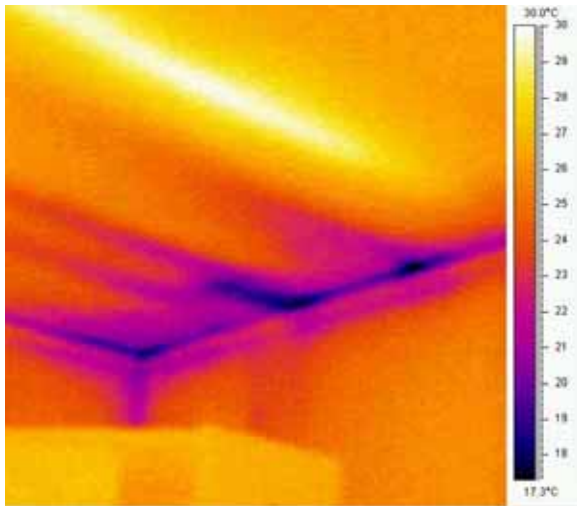
Figur 9. Mätningar av lufttäthet i 100 byggnader.

I samband med täthetsprovning utförs ofta läckagesökning för att hitta var bristerna i klimatskalet finns. Detta görs enklast med hjälp av värmekamera i kombination med luft-hastighetsmätare. Förutsättningen för att använda värmekamera är att det finns en viss temperaturskillnad mellan ute och inne. Lokalisering av läckage kan även ske med enbart lufthastighetsmätare, samt med hjälp av rök eller med spårgas. Användning av spårgas är begränsat till lokalisering av läckage genom lägenhetsskiljande väggar, bjälklag över kryprum etc.

Instruktioner till hur man utför en luftläckagesökning finns i bilaga 2. En utförligare beskrivning till läckagesökning i ett tidigt byggskede finns i Sikander (2008).

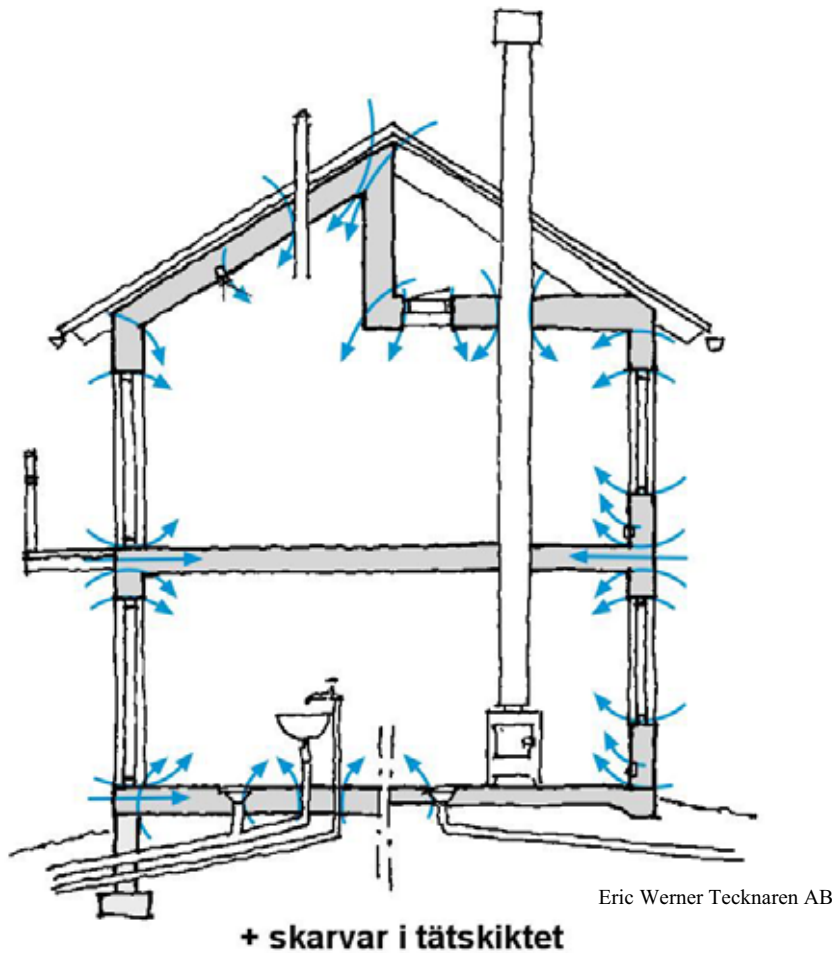


Figur 10 Termograferingsbilder (lila är kallt och vitt är varmt). Till vänster visas hur det drar vid en altandörr och till höger vid en golvlister. Vid altandörren är det endast 0,2 °C.



Figur 11 Drag vid takvinkel. Det "flickiga" mönstret är typiskt för att luft läcker in.

Vanliga läckagevägar är vid anslutningar och genomföringar. I Sandberg (2004) gjordes intervjuer där man identifierade de mest kritiska detaljerna och anslutningarna. I fallande ordning blev resultatet: genomföringar allmänt, eldosor/elrör, täta mot stålstomme/ståldetaljer, mellanbjälklag, fönster/dörrar (karm-vägg), ventilationskanaler/skorstenskanaler samt täta mot betong. I Figur 12 illustreras vanliga läckagevägar i en byggnad.



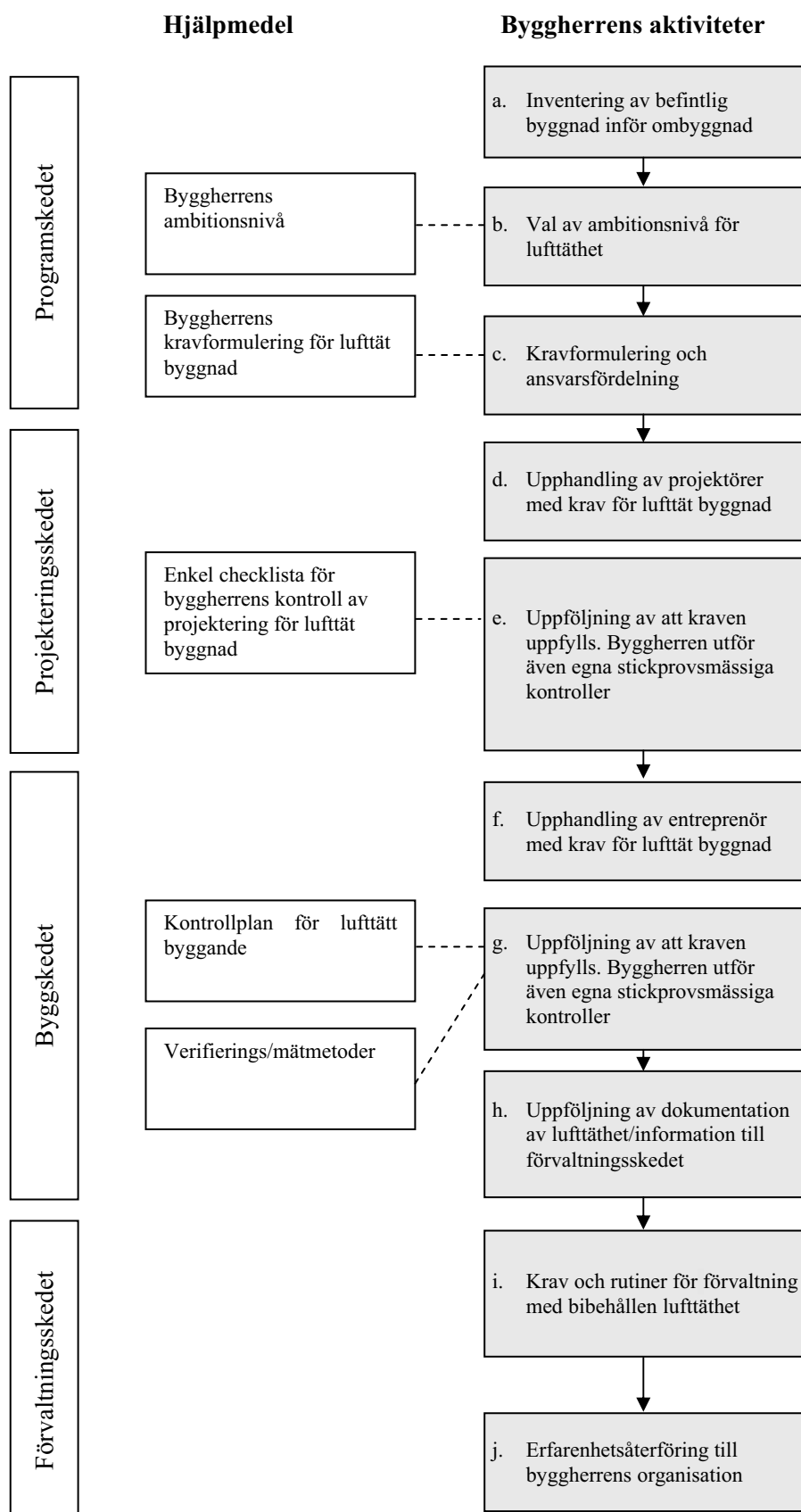
Figur 12 Vanliga läckagevägar finns vid genomföringar och anslutningar.

5 Att bygga lufttätt

Ifall en byggnad blir lufttät eller inte beror på flera faktorer. Lufttätheten bör beaktas i byggprocessens alla skeden och ansvaret ligger på alla nivåer. Förslag på olika aktiviteter som kan göras i olika byggskeden presenteras nedan.

- **Programskede**
Byggherrens kravformulering, kompetensupphandling, engagemang, erbjudande av utbildning/information, uppföljning, gratifikationer
- **Projektering**
Genomtänkta/genomförbara konstruktioner, redovisning av lufttäthet på detaljnivå (även för udda detaljer såsom burspråk), föreskrifter för lufttäthet, minimering av genomföringar, beskrivning av arbetsmoment och av lufttäthetens betydelse till entreprenörer m m.
- **Byggskede**
En ansvarig för täthetsarbeten utses, uppstartsmöte med planering inför täthetsarbete och med utbildning av personal, plan för egenkontroller av tekniska lösningar och arbetsutförande, läckagesökning och täthetsmätning. Verifierande mätning och jämförelse med krav, erfarenhetsåterföring och dokumentation.
- **Förvaltningsskedet**
Rutiner för bevarande av lufttäthet, information till förvaltare och brukare.

En utförligare beskrivning finns i Sandberg (2007), där även följande checklista för byggherrens arbete för en lufttät byggnad presenteras.



Figur 13 Byggherrens checklista är formulerad utgående från en generalentreprenad eller delad entreprenad. Genom att välja ut relevanta delar är checklistan med tillhörande hjälpmedel tillämpbar oavsett entreprenadform (från Sandberg, 2007).

I projekteringsskedet är det mycket viktigt att detaljerna är väl beskrivna och genomtänkta så att det går att förstå hur man skall göra dem lufttäta, och att det också är möjligt med en rimlig arbetsinsats. Sedan är det också viktigt att minimera antalet genomföringar och att ha det lufttätande skiktet indraget i konstruktionen. I ett optimalt fall skulle det kunna röra sig om endast en genomföring för ventilation och en för vatten/avlopp/el. Den för vatten/avlopp/el innebär oftast inte något problem med luftläckage. Det är också möjligt att anpassa arkitekturen för att få en konstruktion som är lättare att göra lufttät.

Behovet av motivation och av information till personalen skall inte underskattas. En positiv aspekt med att arbeta för en lufttät byggnad jämfört med att arbeta för en fuktsäker byggnad är att det går att få ett värde på lufttätheten genom mätning när det lufttäta skiktet är färdigställt i en byggnad eller lägenhet. I ett objekt genomförde man tävlingar mellan olika arbetslag där vinnare var det arbetslag som byggt de tätaste byggnaderna. Nedan beskrivs några projekt och det man gjort för att öka kunskap och motivation.

5.1 Erfarenheter från Brogården

Det första huset som färdigställdes användes som **demonstrationshus** där man provade olika lösningar och höll utbildningar. Huset är nu ett visningshus där det t ex finns information om projektet och modeller av väggkonstruktionen. (I ett tidigare projekt byggdes provväggar där tätheten mättes för olika utförande.)

Arbetslagen fick en dags **utbildning** om ombyggnaden till det första huset som byggdes och en halv dag till hus nummer två. Utbildningen innehöll bland annat information om lufttätt byggande.

I möjligaste mån arbetar **samma personer** på alla byggnader.

Varje lägenhet täthetsprovas och resultatet jämförs mot kravet. En ansvarig finns för provningarna men varje **snickare är med på minst en täthetsprovning** efter det att han färdigställt en lägenhet.

Erfarenhetsbank i form av arbetsberedning där exempelvis plastning och dess kritiska moment, material och utförande beskrivs.

5.2 Erfarenheter från Dalgången

Inför byggstart gick ett antal snickare, samt platschef och projektledare på en dags **utbildning** om varför byggnader bör vara täta samt hur man gör för att få god täthet. Snickarna fick göra täthetsarbeten på ett fönster i en **provvägg**. Efter utbildningen fick snickarna ett **certifikat** för täthetsarbeten.

Snickarna som var med på utbildningen **ansvarade** sedan för täthetsarbetena. De var även med på täthetsprovning av hela huskroppen.

5.3 Erfarenhet från Frillesås

Innan byggstart åkte arbetslaget på studiebesök till Lindåshusen. Lindåshusen är lågenergihus byggda i Lindås utanför Göteborg, som har god lufttäthet och där man samlat på sig mycket erfarenheter om hur man bygger energisnålt och lufttät. Hans Eek, som var ansvarig arkitekt, visade byggnaderna och förklarade vad man gjort för att få bra resultat.

5.4 Övriga kommentarer om svårigheter och möjligheter

”Platschefen bör vara kunnig och intresserad och ha förmåga att motivera och entusiasmera.”

”Fönster är svåra att rita så att utförandet blir tydligt.”

”Det är bra att tala om att lufttätheten skall mätas.”

”Det fungerar bra där konstruktören, eller annan kunnig person, möter hantverkarna på arbetsplatsen.”

”Det är bra om projektören är med på kontrollronder eftersom han vet vad man skall informera om och kontrollera.”

”Man kan lägga ut termograferingsbilder i fikarummen för att motivera och förklara svåra konstruktionslösningar.”

”Efter byggnadens färdigställande bör konstruktören se till att få återföring av information från byggskedet, eventuellt under ett byggsplatsmöte sent i byggskedet.”

”Det behöver ju inte vara så många genomföringar om man planerar bra.”

5.5 Beständighet

Det är viktigt att byggnaden är lufttät under hela livstiden. Därför är det väsentligt att de ingående materialen var för sig har god beständighet samt att de olika materialen inte påverkar varandra på ett negativt sätt. Dessutom är det viktigt att de tillsammans klarar av de påkänningar i form av tryckstötter, tryckskillnader (dragpåkänningar) och rörelser som uppkommer.

CE-märkning och P-märkning av produkter (Flexibla spärrskikt) är vanligt idag. CE-märkningen är en deklaration av ett antal egenskaper. P-märkningen innebär att det krävs redovisning av fler egenskaper än vid CE-märkning och fler kontroller. Vid P-märkning ställs det även krav på egenskaperna för att de skall kunna svara upp till branschens krav och Boverkets byggregler.

Från mars 2009 är det möjligt att P-märka luftspärrsystem, alltså inklusive skarv, tätning, och anslutningsmaterial, som verifieras som en komplett lösning. Meningen är att systemet ska ha de förutsättningar som krävs för att kunna utföra montaget och för att säkerställa god och beständig lufttäthet i byggnad.

6 Mätresultat för konstruktionsdetaljer

Det finns många laboratoriemätningar av lufttätheten hos detaljer. Ett antal av dessa finns redovisade i bilaga 4. För att säkerställa att de konstruktioner som mätts är relevanta för svenska byggnader, material och byggtradition är endast svenska studier redovisade i bilagan. Lufttätheten hos en detalj eller byggnad mäts genom att exponera den för en tryckskillnad och mäta luftflödet som krävs för att hålla den aktuella tryckskillnaden, såsom beskrivet i kapitel 4.

Detaljerna kan studeras i större eller mindre skala. För mindre konstruktioner används ofta en mätlåda och för större konstruktionsdelar har tryckkammare använts. Förhållandet mellan tryckskillnad över detaljen och luftflöde genom detaljen är inte linjärt och i följande undersökningar har ekvation 2 i kapitel 3 använts för att beskriva förhållandet.

Resultaten från laboratoriemätningarna av lufttäthet finns redovisade i bilaga 3. I kapitel 7 finns erfarenheterna från mätningarna tillvaratagna i rekommendationerna. Det gäller exempelvis rekommendationen att använda en flexibel och lufttät tätning där plastfolie skall klämmas vid anslutning tak/vägg eller golv/vägg.

Mätningarna på detaljer finns grupperade inom följande områden: skarvar och material, anslutningar och genomföringar. Se även rapporterna Sikander (1997), Sandberg (2004), Johansson (2004), Mattsson (2004) och Mattsson (2007) för lufttäthetsmätningar.

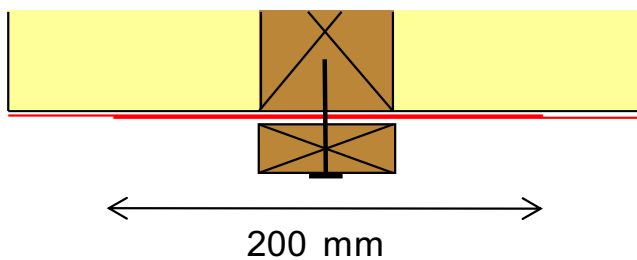
7 Tätta konstruktionsdetaljer

I det följande presenteras konstruktionslösningar som visat sig vara täta. För alla konstruktioner gäller att även den bästa detalj går att göra otät med ett dåligt arbetsutförande. Dessutom finns det konstruktioner som är i stort sätt omöjliga att göra täta. En bra regel är att inte komplicera byggnaden, med utbyggnader o s v, samt att försöka minimera antal genomföringar.

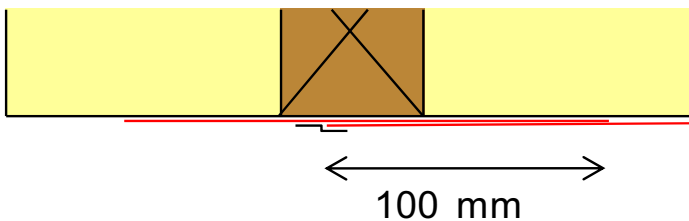
Flertalet detaljer som är redovisade i kapitlet kommer från byggnader där man mätt lufttätheten och där den varit god. De flesta byggnader hade ett luftläckage under $0,2 \text{ l/m}^2\text{s}$. En del detaljer kommer även från mätningarna som redovisats i bilaga 3 och en del från litteratur om täthet. Detaljerna har granskats av referensgruppen och av erfarna konsulter som provar täthet. Konstruktionerna har inte utvärderats ur täthetssynpunkt men detta arbetet har påbörjats i det tidigare nämnda projektet Beständighet hos täthetslösningar. En översikt över material som används till lufttätning och till skarvning finns i Adalberth (1998).

7.1 Skarvar mellan lufttäta skikt

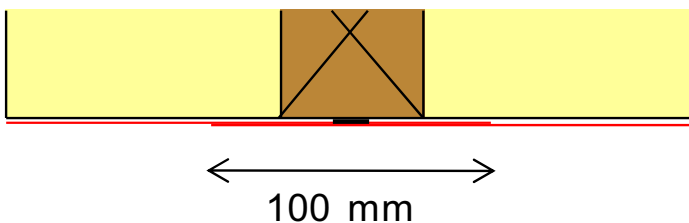
De flesta av de undersökta byggnaderna med god lufttäthet har plastfolie som diffusions-spärr och lufttätning. Följande skarvmeter rekommenderas i danska Byg-Erfa.



Figur 14 Klämd skarv. Skarven kläms mellan två fasta material (överlapp minst 200 mm).



Figur 15 Tejpad skarv. Skarven tejpas över fast material (överlapp minst 100 mm).



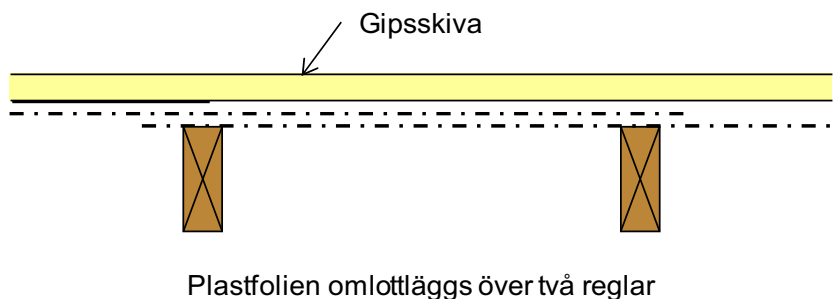
Figur 16 Butylband (överlapp minst 100 mm).

Tejpning skall göras med för ändamålet avsedd tejp som har god beständighet och som inte skadar plastfolien. Beskrivning av beständighet och märkningar finns i kapitel 5.5. Tejpning skall helst göras mot fast underlag och noga så att det inte blir veck i plastfolien.

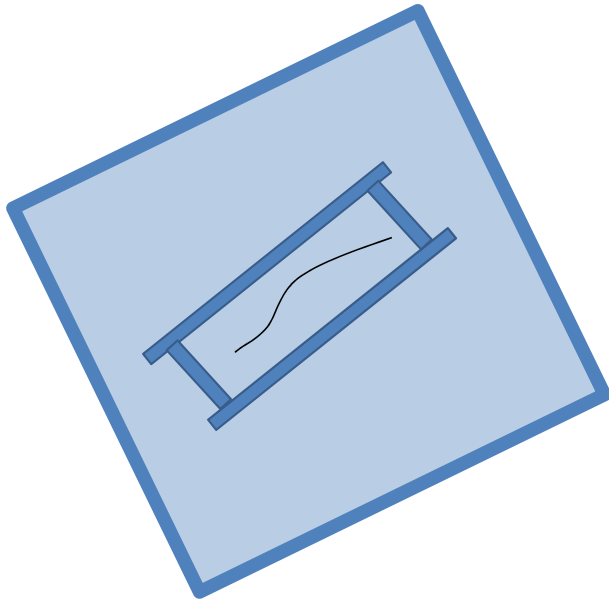
I vissa fall används även fogmassa, svetsad skarv och vikt skarv (som dock kan ge ett knöligt underlag för skivorna). För alla lösningar skall de ingående materialens egenskaper beaktas så att de inte påverkar varandra negativt. När fogmassa, tejp eller dubbelhäftande tätningsband används skall ytorna vara väl rengjorda och häftningsegenskaperna säkerställda för de aktuella materialen.

Ytterligare strategier för att få god lufttätethet hos plastfolie och skarvar är:

1. Minimera antalet skarvar och genomföringar
2. Indragen plastfolie för att undvika genomföringar och punkteringar. (Ett installationsskikt finns alltså mellan den inre skivbeklädnaden och plastfolien. Skiktet kan vara med eller utan isolering.)
3. Plastfolien läggs omlott över **två** regler och kläms mellan regel och gipsskiva (se Figur 17).
4. Plastfolien placeras i konstruktionen mellan två fasta skikt, av exempelvis isolerskivor. Skarvöverlappet kläms då på en större yta.
5. Dubbel plastfolie.
6. Extra tjock plast för att undvika skador (0,4 mm istället för vanliga 0,2 mm).
7. Skydda plastfolien mot åverkan under byggskede och mot vassa kanter genom bra planering eller skyddande material, exempelvis mineralull.
8. Vid eventuella skador uppsätts ny plastfolie, helst med anläggning mot fast underlag och med minst 100 mm överlapp i alla riktningar, se Figur 18.



Figur 17 Skarvning av plastfolie över regler.



Figur 18 Principskiss för lagning av skada i plastfolie: först dubbelhäftande tejp runt skadan sedan en bit plastfolie som tejpas mot ursprungliga plastfolien.

Det finns några detaljer att tänka på för de olika förslagen i listan. När det gäller indragen plastfolie bör man tänka på att plastfolien oftast inte skall vara indragen mer än en tredjedel av vägg tjockleken. Annars kan plastfolien ligga för kallt i konstruktionen och det finns risk för fuktproblem (t ex kondens). Goda exempel finns med tre stålreglar där plastfolien sitter en tredjedel in i väggen. Vid tveksamheter skall fuktdimensionering göras för att bestämma plastfoliens läge.

För skarvning av plastfolie i hörn finns det färdiga produkter, i form av ett färdigt plastfoliehorn, som säkerställer överlapp av folien även i hörn.



Figur 19 Exempel från renovering: indragen plastfolie och omsorgsfull anslutning av tätskikt mot fönster med tejping och fogning kring fönstret.

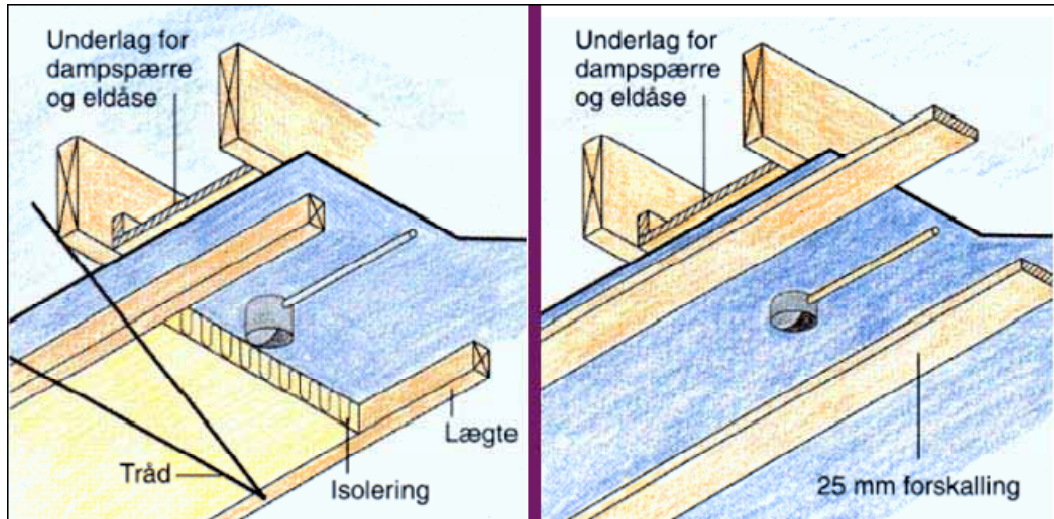


Figur 20 Exempel på indragen plastfolie (innan inre isolering är på plats).

Indragen plastfolie är vanligt i väggar men också i tak. Även där kan elinstallationer och kablar placeras helt innanför plastfolien. I Figur 21 visas lampputtag i tak där det lufttäta skiktet inte bryts. Ofta bekläds takets undersida med skivmaterial. I vanliga fall fästs

skivan i ≥ 28 mm glespanel som ligger innanför plastfolien. Om bara enkel skiva används som beklädnad kan det eventuellt vara lämpligt med ≥ 34 mm tjock glespanel för att få plats med hela eldosan innanför plastfolien (vanlig djup på eldosa är ca 47 mm).

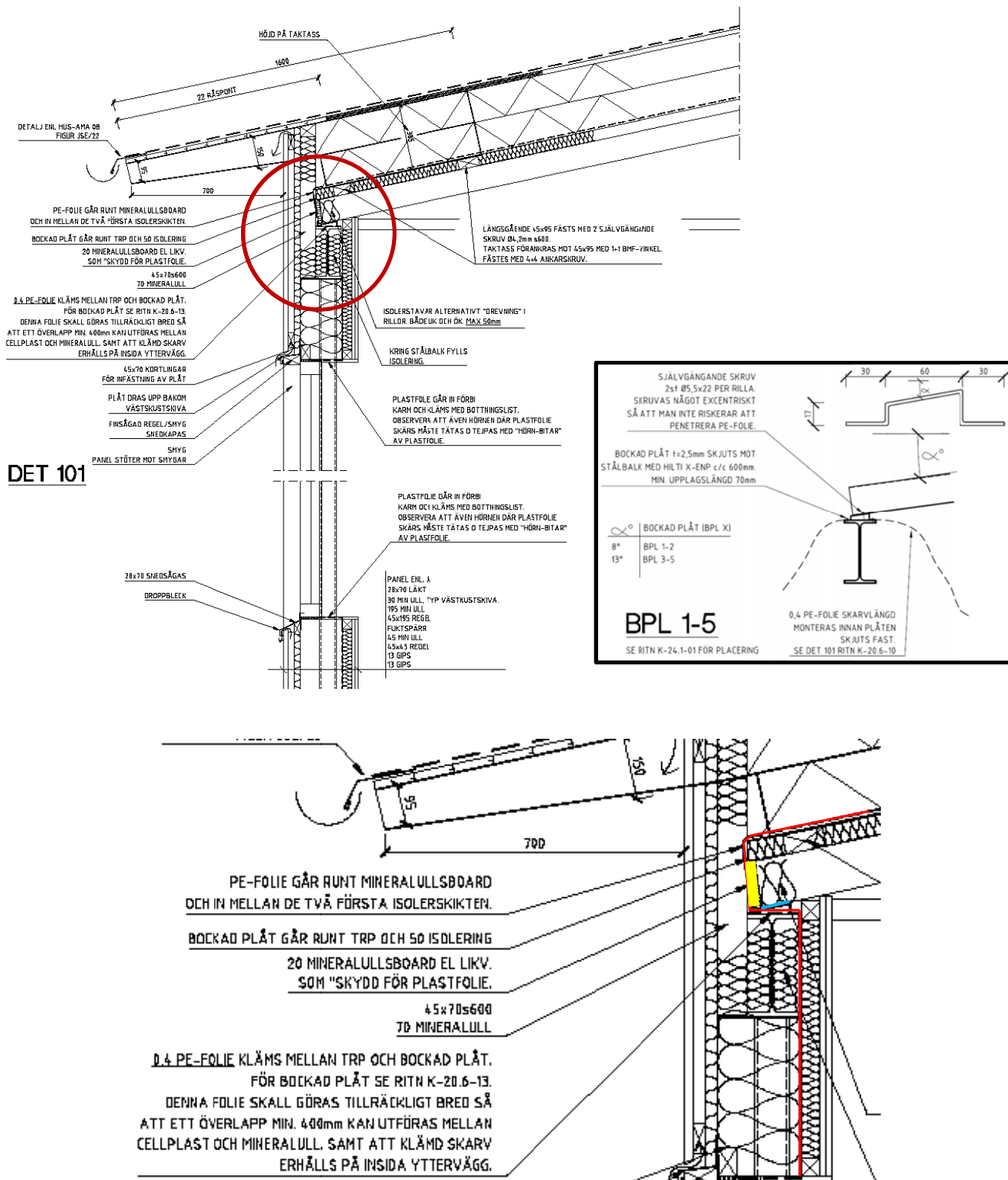
Det är också möjligt att använda sig av dubbla skivor för att komma i nivå med eldosan. Eldosan monteras mot fast underlag enligt figur och plastfolien fästs mot det fasta underlaget med butylband (Byg-erfa, 1997).



Figur 21 Indragen plastfolie i tak (Byg-Erfa, Erfaringsblad 970704).

Det är ju önskvärt att skarvar kläms mellan två fasta material. Ett problem som dock kan uppkomma när plastfolien kläms mellan regel och skiva är att det kan finnas ojämnheter i linje med reglarna. Det kan finnas små skillnader i dimensioner mellan reglar som skarvats, skadade reglar, spikhuvuden som sticker ut och liknande detaljer som gör att inte skivan och regeln ligger an ordentligt och en läckageväg kan skapas. Problemet kan undvikas genom skarvning med tejp, tätningsband, butylband eller fogmassa och problemet blir också mindre om skarven läggs över två reglar.

Plastfolien kan skadas av vassa kanter, t ex plåtregrar eller TRP-plåt. En extra tjock plastfolie är starkare och det är också lämpligt att planera konstruktionen så att plastfolien inte kommer i kontakt med de vassa kanterna. Följande exempel är ifrån en förskola i Borås.



Figur 22 Exempel på hur plastfolien skyddats mot vassa kanter där TRP-plåt möter yttervägg. Observera att plastfolien läggs över den bärande stål balken före den bockade upplagsplåten som TRP-plåten vilar mot appliceras. Observera även att plastfolien inte får placeras så långt ut i konstruktionen att höga fuktillstånd kan uppstå vid foliens insida.

I Figur 22 visas en konstruktion med ett tak av TRP-plåt (självbärande takprofil av plåt). TRP-plåten har en vass kant som kan skada plastfolien. Den valda konstruktionen behöver vara genomtänkt för att fungera bra ur lufttäthetssynpunkt. Följande detaljer är intressanta. Där TRP-plåten slutar finns en 20 mm mineralullsboard (gul i figur) som skyddar plastfolien (röd) mot plåten. Dessutom är plastfolien extra tjock, 0,4 mm. Utanpå

plastfolien och mineralullsboarden finns en bockad plåt. Plastfolien runt änden på TRP-plåten är så lång att den kan ansluta väl till takkonstruktionen och till väggkonstruktionen. I taket ansluter den till plastfolien mellan det översta mineralullsskiktet och cellplasten, med ett överlapp på minst 400 mm, och i väggen kläms den med väggens plastfolie.

Nedanstående bild visar hur utsatt plastfolien är när den inte skyddas från TRP-plåten.



Figur 23 Risk att plastfolien skadas av vass plåt.

7.2 Anslutningar

Anslutningar mellan lufttäta delar görs enligt ett antal olika principer beroende på de ingående materialen. När det lufttätande skiktet är plastfolie och plastfolien från två byggnadsdelar skall anslutas så finns principer beskrivna i kapitel 7.1. Generellt kan sägas att:

- Plastfolie mot plastfolie: överlapp, klämt eller tejpat. Om plastfolien kläms mellan trä och trä finns det risk att klämningen blir ofullständig när träet har torkat.
- Plastfolie mot annat material: fogmassa, tejp, tätningsband samt deformationsupptagande material (gummi, extruderad polystyren etc) som kläms.

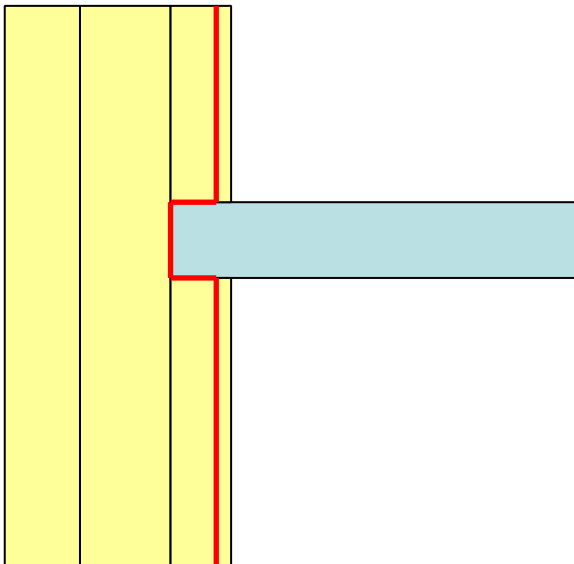
Som tidigare nämnts så skall de ingående materialens egenskaper beaktas så att de inte påverkar varandra negativt. När fogmassa, tejp eller dubbelhäftande tätningsband används skall ytorna vara väl rengjorda och häftningsegenskaperna säkerställda för de material som det skall fästa emot. Beständighet hos täthetslösningar kommer att undersökas ytterligare i ett följande projekt.

Vid anslutning mot vägg krävs ibland att plastfolien dras ut på golv eller vid tak i väntan på att väggen kan byggas färdigt. I dessa fall är det viktigt att inte den utstickande plastfolien skadas. I vissa fall når inte informationen om plastfoliens betydelse fram och om det är risk att plastfolien skadas kan det vara bättre att skära av folien (för att den inte skall trasas sönder) och sedan skarva eller täta. Ifall en byggnad är avlång och det är möjligt att de bärande balkarna i ett bjälklag löper parallellt med långsidorna är det bra ur lufttätessynpunkt eftersom det ofta är lättare att täta och skarva då.

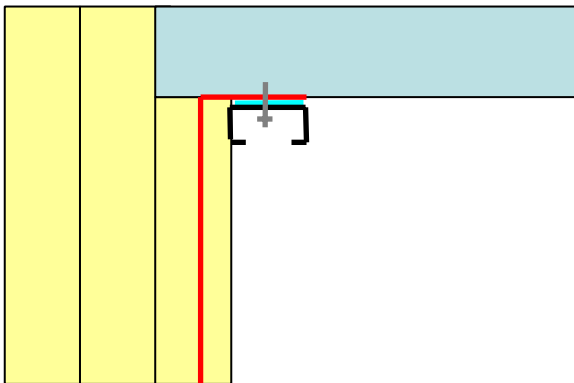
Anslutning av plastfolie mot tak eller golv görs ofta genom att klämma plastfolien. Där plastfolien kläms bör också anbringas en flexibel och lufttät tätning såsom gummitätning, extruderad polyeten eller tätningsband eller en dubbelhäftande tätning. Detta gäller både lätta och tunga konstruktioner där plastfolie utgör tätskikt. En flexibel tätning rekommenderas i träkonstruktionen eftersom krympning av trä p g a torkning kan resultera i att plastfolien inte längre kläms. Vid anslutning mot betongplatta skall betongen vara slät och rengjord. Mellan betongplatta och syll bör syllisolering användas eftersom den kan formas efter eventuella skevheter så att luftläckage undviks. Det betyder att syllisolering inte bara har en fuktskyddande funktion utan även säkrar lufttätthet. Det betyder också att den bör användas både till träsyll och till plåtsyll.

När anslutning skall göras mellan två betongelement med fogbruk krävs det att fogbruket fyller ut fogen ordentligt.

Nedan följer fyra exempel där lätt konstruktion möter tung konstruktion samt ett exempel med lätt konstruktion.



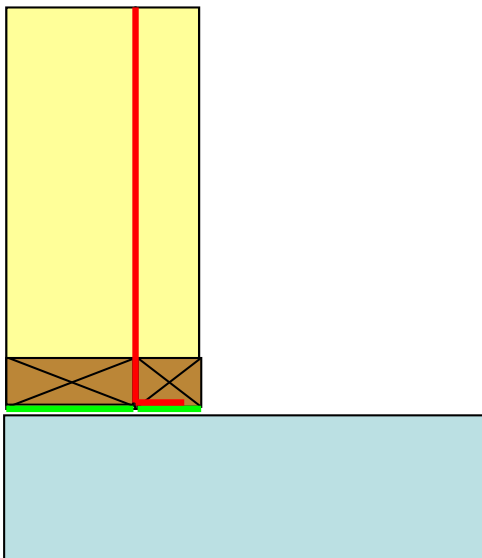
Figur 24 Lätt yttervägg mot tungt mellanbjälklag. Plastfolien är kontinuerlig och förs förbi anslutningen.



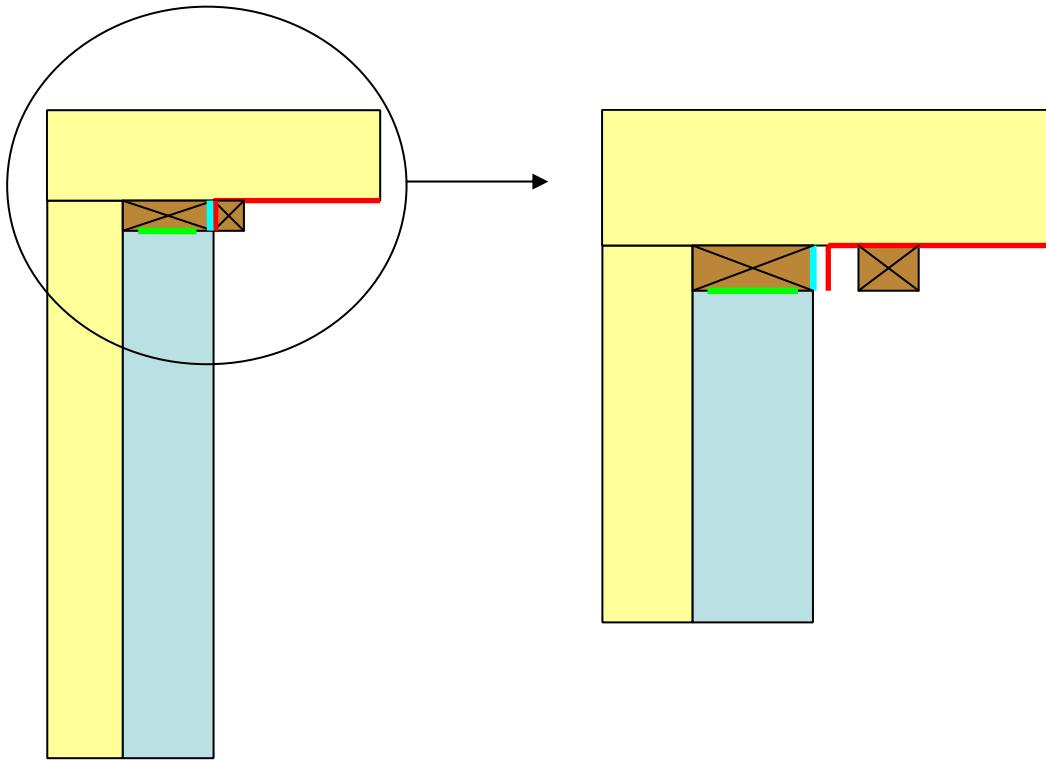
Figur 25 Lätt yttervägg mot tungt bjälklag. Plastfolien kläms med regel (stålregel eller träregel). Mellan regel och betongbjälklag anbringas en flexibel tätning som kan kompensera för eventuella ojämnheter och skevheter, eller butylband.



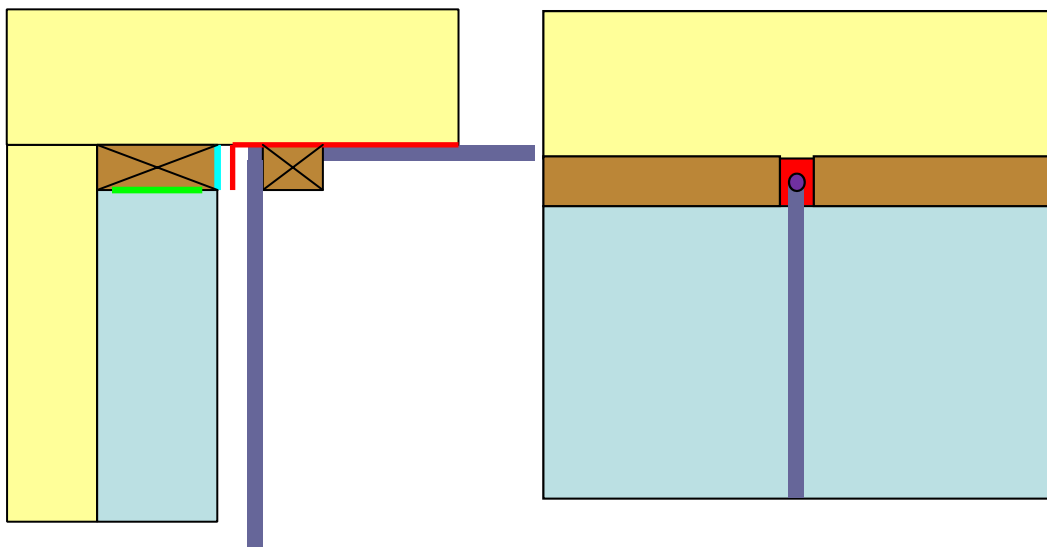
Figur 26 Exempel på lufttät anslutning mot golvkonstruktion. Plastfolien går bakom installationsskiktet, under plåtregel (som har pålimmad flexibel syllisolering) och därefter fogas plastfolien mot betongen.



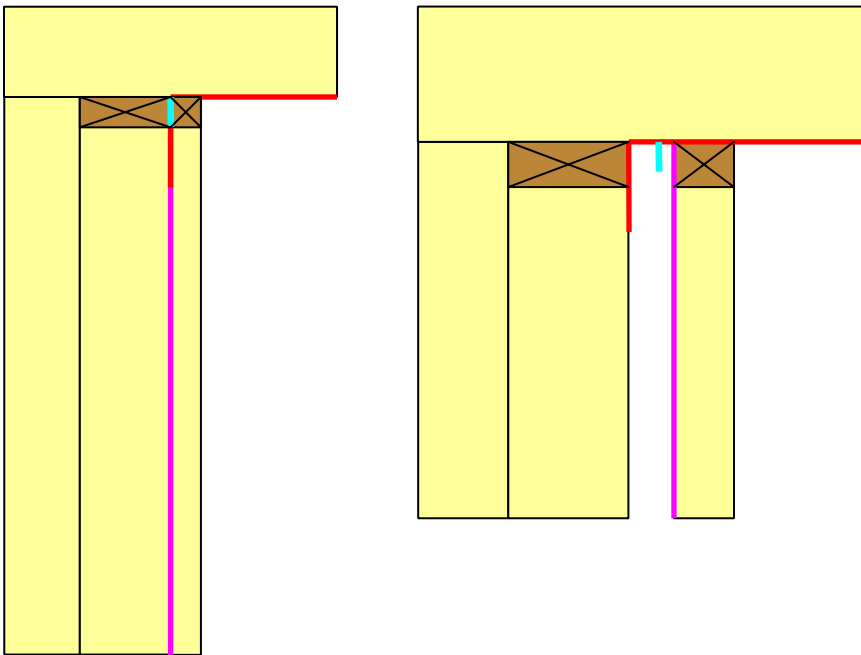
Figur 27 Anslutning lätt yttervägg mot bottenbjälklag av betong. Plastfolien kläms mellan syll och regel. Grönt-gummilist. Vid klämning krävs att reglarna är helt raka och inte krymper, därför ansluts plastfolien även emot gummilisten.



Figur 28 Tung yttervägg mot lätt bjälklag. Bjälklagets tätskikt klistras mot regel med butylband. Mellan betongvägg och regel finns en flexibel tätning såsom gummi eller extruderad polystyren. (Höger del är förstoring där mellanrummen bara är till för att förtydliga var tätningarna finns.)

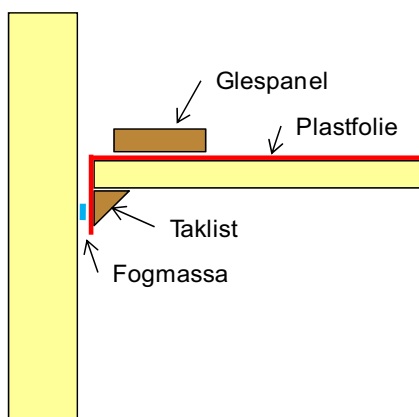


Figur 29 Som Figur 28 men med elinstallation. Den styva bärläkten delas för att lämna utrymme för elinstallationen (lila) i hörnet. Installationen går här inte igenom det lufttäta skiktet. Se även kapitel 7.1 Skarvar mellan lufttäta skikt.



Figur 30 Anslutning lätt yttervägg mot lätt mellanbjälklag. Röd- takets plastfolie, rosa- väggens plastfolie, turkos- butylband. (Höger del är förstoring.)

Ett annat exempel på en bra anslutning kommer från mätningarna som är redovisade i bilaga 3. Där undersöks anslutningen mot en putsad väggyta, se Figur 31. När det finns en fogmassa mellan plastfolien och den putsade väggen, som sedan kläms av taklisten, är luftläckaget genom konstruktionen mycket litet.



Figur 31 Klämning av plastfolie i ett undertak vid anslutning till en putsad vägg.

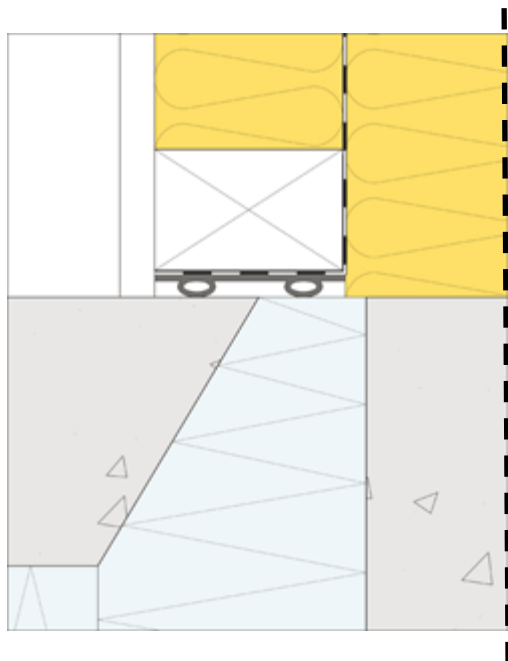
7.3 Anslutning betongbjälklag/vägg

I föregående stycke finns generella beskrivningar för anslutningar. Där anges t ex att anslutningen skall vara flexibel eller dubbelhäftande samt det krävs att betongplattan är slät och väl rengjord för att sylltätning skall fungera bra. När det gäller anslutning mellan ett betongbjälklag och vägg finns två bra alternativ beskrivna i Figur 26 och Figur 27 (en

plåtregelvägg och en träregelvägg). Mätningar har gjorts på lufttätheten hos syllisoleringsringar mellan syll och betong. Dessa visas i bilaga 3.

För träregel visar mätningarna att en S-list (polyetenfolie med två stycken o-lister av EPDM-gummi) gav klart tätast anslutning. Övriga testade syllisoleringar var extruderad polystyren (5 mm), extruderad polyetenremsa (4 mm) och asfaltspapp. Det är också viktigt att betongen är slät för att det skall bli bra tätning. För plåtsyll testades enbart extruderad polystyren. Denna erhöll inte samma goda lufttäthet som träsyll med S-list.

Figur 32 visar principen med s-list. Vid montering kan plastfolien fästas mot syllisoleringsringen med dubbelhäftande tejp och sedan klämmas med regeln.



Figur 32 Exempel på lufttät anslutning mellan betongplatta och vägg. Syllisolering placeras mellan betongplattan och regel så att plastfolien kläms (Isover, 2009). (Observera att diffusionsspärren inte får placeras för nära den kalla sidan, vid tveksamheter gör fuktdimensionering.)

7.4 Anslutning mellanbjälklag/vägg

Ytterväggar bör ha heldraget tätskikt förbi mellanbjälklag. Som alternativ till att föra förbi tätskiktet, enligt Figur 24, kan man bygga en kraftigare, bärande inre regelstomme (installationsskikt) som bär upp mellanbjälklaget. Hela yttre delen av väggen, inklusive tätskiktet uppförs före den inre stommen och mellanbjälklaget. Betänk att tätskiktet får befinna sig max en tredjedel ut i konstruktionen.

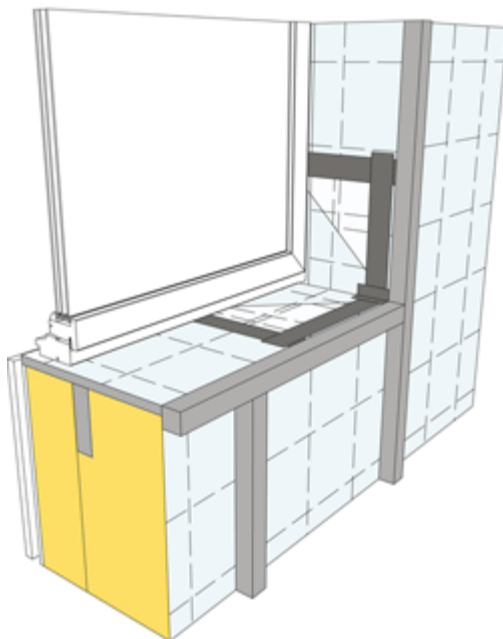
Ett lätt mellanbjälklag kan även infästas med balkskor mot ytterväggen, se Figur 33. Eventuell inre regelstommen (installationsskikt) behöver i det fallet ej vara bärande.



Figur 33. Infästning av mellanbjälklag mot yttervägg med balksko. Väggens plastfolie är heldragen förbi bjälklaget.

7.5 Anslutning yttervägg/fönster

Vi har sett tre olika varianter på utförande för anslutning av plastfolie mot karm. En variant är att plastfolien släpps ut något förbi insida karm och att fogning utförs mellan plastfolien och karmen. Denna konstruktion kan utföras med extra plasthörn, se Figur 34.



Figur 34 Kompletterande plastfolie i fönsterhörn (Isover, 2009)

En annan variant är att med dubbelhäftande tejp fästa plastfolie mot karmen innan karmen monteras i väggen. När karmen monterats fast i väggen tejpas sedan denna folie mot väggens folie. Om smygarna är sneda krävs att folien som tejpas mot karmen är större än karmen varvid man måste göra veck i folien vid karmhörnen vilket kan vara svårt att få helt lufttätt, se Figur 35 och Figur 36. Fördelen är att man i detta fall kan slippa att montera extra plasthörn. Anslutningen mellan plastfolie och vägg vid karm kan fogas utifrån innan anslutningen drevas utifrån.

En tredje variant är att tejpa folien i smygen mot karmens insida. För att inte tejpens ska synas i färdigt tillstånd får inte tejpens ha allt för bred anliggning mot karmen, vilket kan leda till att bredden på kontaktytan mellan tejp och karm endast blir ca 1 cm, vilket förefaller vara i minsta laget.

Av ovanstående lösningar är de säkraste metoderna att låta plastfolien gå ut något förbi karmen. Betänk dock alltid att vid fogning måste fogen vara åldersbeständig och får ej spricka samt att folie och plast inte får påverka varandra negativt.



Figur 35 Vikning av plastfolie kring fönsterhörn.



Figur 36 Tejpning på det vikta plastfoliehörnet.



Figur 37 Fönstret är monterat i stommen och plastfolien ansluts mot väggens plastfolie.

En liknande konstruktion 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 säkerställt över tid.

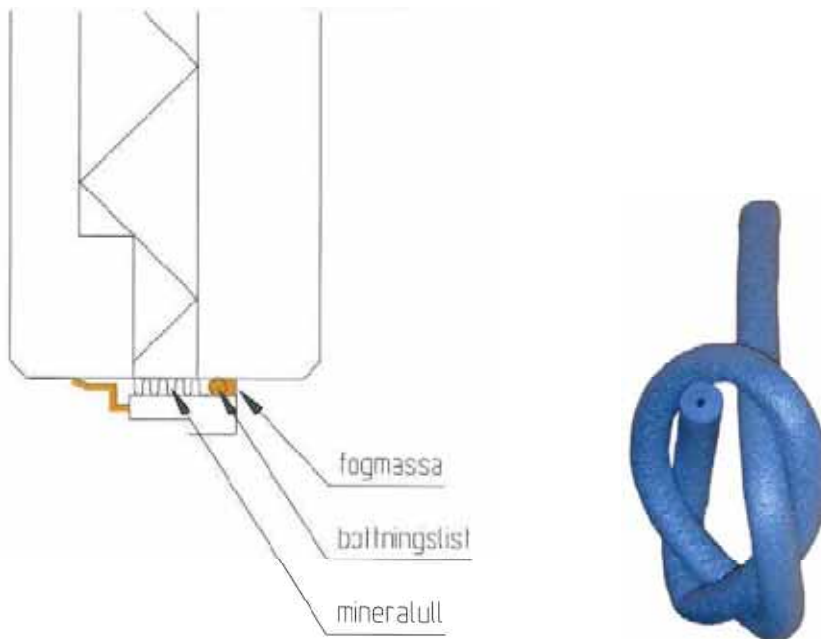


Figur 38 Plastfolien kläms mellan regelstommarna.



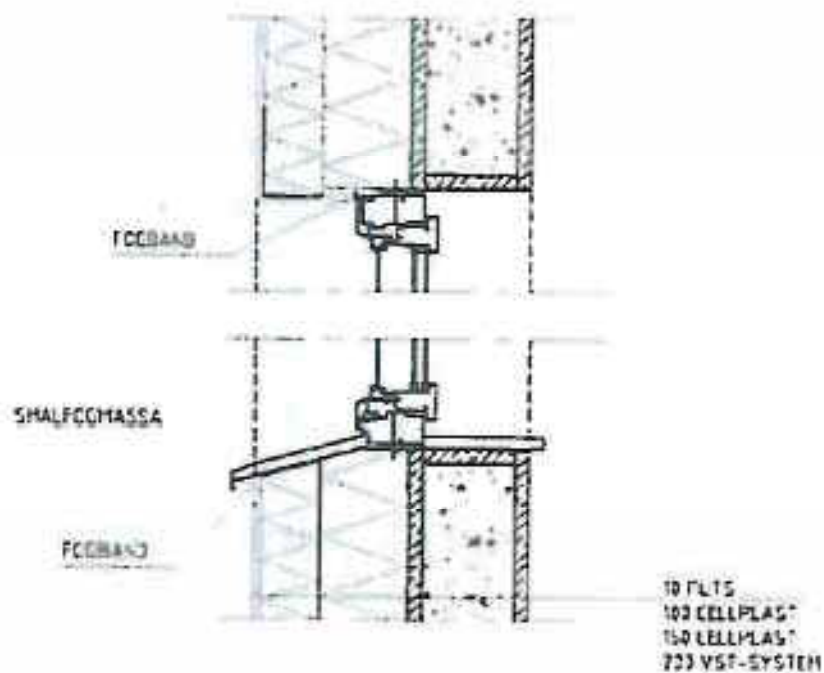
Figur 39 Fönstret är noga drevat (med plastad mineralull) och tätat (med svällist).

Montering av fönster i betongstomme görs vanligtvis på följande sätt. Utrymmet mellan karm och konstruktion drevas från utsidan och en bottningslist placeras innanför drevningen. Bottningslisten skall vara något större än utrymmet så att den sluter an ordentligt överallt. Innerst, mot rummet, fogas anslutningen med en diffusionstät, elastisk och beständig fogmassa, se Figur 40.



Figur 40 Lufttätning runt fönster i betongstomme (Adalberth, 1998) samt bottningslist.

Följande lufttäta exempel finns på montering av fönster i ett passivhus i platsgjuten betong med stommen av så kallat VST-system. Systemet innebär att formarna (cementbundna träfiberskivor) levereras prefabricerade. Fasadisoleringen består av två lager cellplast klistrat på utsidan som putsas, se Figur 41. Infästning av fönster i platsgjuten stomme. Montering av fönstren har gjorts genom att sätta vinkelprofiler runt fönstret. Drevning och infästning utförs mellan plåt och fönsterkarm. På insidan av drevningen monteras rund bottningslist med slutna celler och innerst elastisk fogmassa såsom beskrivet ovan. Konstruktionen finns beskriven i Mattsson (2009).



Figur 41. Infästning av fönster i platsgjuten stomme.

Ifall arbetsutförandet är gott är det normalt inte svårt att få tätt kring fönster i betongkonstruktioner.

7.6 Genomföringar

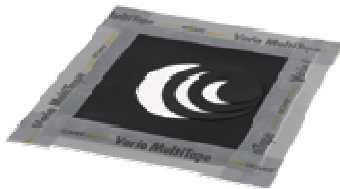
Antalet genomföringar i tätskiktet kan minimeras med bra planering. Ett installations-skikt, d v s indragen diffusionsspärr, är effektivt för att minska antalet genomföringar. En tumregel är att diffusionsspärren kan dras in max en tredjedel in i väggen från den varma sidan. Alla genomföringar måste utföras i ett tillräckligt tidigt skede så att det går att tätat dem, sent tillkomna genomföringar som görs genom en färdigställd väggkonstruktion är svåra/omöjliga att tätat på ett bra sätt.

7.7 Eldosor, elrör och VVS-installationer

Tänk igenom vilket material som behövs för att tätat kring genomföringar så att inte genomföringarna behöver lösas på plats med material som inte är anpassat till konstruktionen (exempelvis fel tejp). Placering av genomföringar behöver också tänkas igenom så att det går att komma åt att arbeta och tätat. Flera genomföringar precis jämte varandra bör undvikas ifall inte stosar som är gjorda för detta används, eftersom det kan var svårt att komma åt att tätat annars. Färdiga stosar kan även köpas för exempelvis rör som gjuts in i betongbjälklag, elektriska genomföringar och ventilationskanaler.



Figur 42 Elgenomföring med stös.



Figur 43 Exempel på stös bestående av en flexibel EPDM-duk med tejp som tejpas mot plastfolien. Används till ventilationskanaler, eldosor och elrör. (Isover, 2009)



Figur 44 Stös kring avloppsluftare.

När inte en stös används är det lämpligt med följande tillvägagångssätt. Gör hål i plastfolien där genomföringen skall vara (så litet hål som möjligt, gärna "kragfunktion"). För att det sedan skall bli så tätt som möjligt används ytterligare en bit plastfolie, en krage. Denna har ett hål som är något mindre än genomföringen och dras över röret eller kanalen. Den extra plastfolien tejpas fast med ett överlapp på minst 100 mm runt om mot tätskiktet, och sedan tejpas rörgenomföringen och kragen mot varandra. Det är lättare att

tejpa mot ett fast underlag ifall genomföringen kan placeras så. Det är viktigt att undvika veck vid tejping.



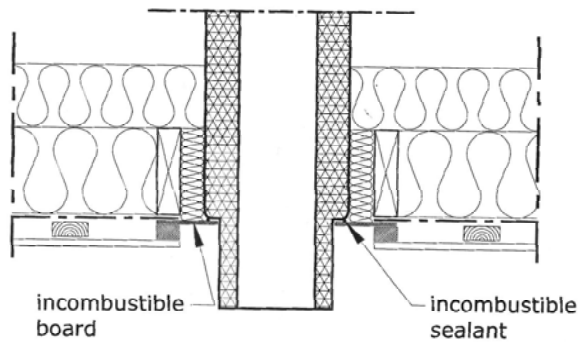
Figur 45 Ventilationskanal med extra plastfolie och tejping mot tätskikt och mot rör.

För ventilationskanaler där kanalisoleringen måste omge kanalen vid genomföring genom tätskiktet uppstår problemet att luft kan läcka genom isoleringen samt mellan isolering och tätskikt. En möjlighet är att använda någon typ av speciell avslutning på kanalen som medför att kanalisoleringen täcks av en omkringliggande plåt vid genomföringen genom tätskiktet, se Figur 46.



Figur 46. Kanalen avslutas med en ljuddämpare eller dylikt som innebär att kanalens isolering är helt täckt av plåt vid genomföring genom tätskikt, varvid tätskiktet kan anslutas lufttätt mot plåten.

För genomföring av kamin visar mätningar av Mattsson (2007) att det går att göra en lufttät genomföring genom att använda sig av en icke brännbar skiva och fogmassa. Runt kamingenomföringen byggs en ramp, under rampen kläms plastfolien och den obrännbara skivan med panel eller läkt. Skivan i sin tur ansluts kanten av kaminen med fogmassa. Lösningen visas i Figur 47.

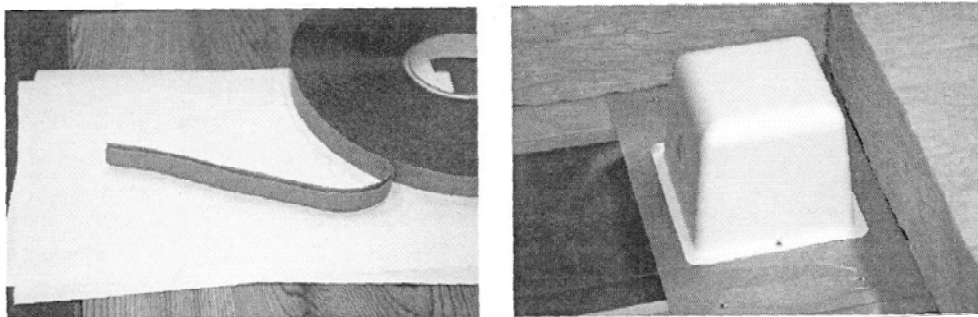


Figur 47. Anslutning mellan kamin och tätskikt.

7.8 Spotlights

För infällda spotlights (downlights) finns det två alternativ för att inte riskera lufttäteten. Dels kan man ha en indragen diffusionsspärr så att man inte behöver göra hål i det lufttäta skiktet. Ifall många spotlights skall placeras på ett ställe kan detta vara lämpligt. Dels kan man använda en infällningsburk (som är lufttät) och som placeras över spotlightsen. Infällningsburken ansluts mot diffusionsspärren och tätning kan åstadkommas med antingen med en manschett, dubbelhäftande tejp eller butylband. För de olika alternativen skall material och avstånd beaktas med hänsyn till brandsäkerhet. Det är också viktigt att tejp, manschett och butylband är beständig för de aktuella temperaturerna. För att få lufttätt kring spotlights är det viktigt att elektrikern kan komma in i rätt skede i byggprojektet så att han kan utföra sitt arbete på bästa sätt. Det är svårare att få lufttätt kring spotlights ifall infällningsburken trycks upp underifrån men även det kan fungera. Då är det bra att använda en stos eller gummiduk kring infällningsburken men det fungerar även att göra ett hål i plastfolien som är något mindre än burken och trycka burken igenom (kompletterande tejpning kan göras). Det vara svårt att kontrollera utförandet om det utförs sent i byggskedet.

I Figur 48 visas ett lufttätt exempel där en skiva med hål för spotlight placerats ovanpå glespanelen och under plastfolien. Kanten på infällningsburken tätas med butylband mot plastfolien och burken skruvas mot skivan.



Figur 48. Tätning kring infällningsburk med butylband (Mattsson, 2007).

7.9 Tillfälliga genomföringar

Det förekommer ofta att det görs tillfälliga genomföringar i tätskiktet för att spruta lösull i väggar och parallelltak. Håltagning görs i varje regelfack, vilket innebär att det kan bli

många hål. I de fall enbart slangen förs igenom blir hålen relativt små, men det förekommer även att så stora hål tas att personen som sprutar lösullen kan krypa in i konstruktionen. Vanligen utför lösullsentreprenören lagning av de upptagna hålen. En erfarenhet är att det väldigt ofta finns relativt stora otätheter vid dessa lagningar. Ur fuktsäkerhetssynpunkt har dessa otätheter dessutom mycket ofördelaktig placering eftersom de ofta är belägna i taket. Om det är möjligt skall sprutning av lösull genom inre tätskiktet helt undvikas. I annat fall skall samma krav ställas på dessa lagningar som de krav som ställs på övriga lagningar och skarvningar, inklusive kunskapskrav på utföraren.



Figur 49. Hål i plastfolien för att spruta lösull.

Hål eller skador i plastfolien repareras förslagsvis med tejp samt en bit ny plastfolie, se Figur 18. Om möjligt anbringas lagning mot fast underlag och med minst 100 mm överlapp i alla riktningar.

7.10 Öppningsbara detaljer

Detaljer såsom fönster och dörrar skall kunna öppnas och stängas med bibehållen lufttät-het.

En mycket viktig detalj är vindsluckor. Ifall fuktig inomhusluft tillåts läcka upp genom en vindslucka kan det bli svåra fuktskador på vinden. Det förekommer ofta läckage vid vindsluckor, både mellan lucka och ”ram” och mellan ”ram” och bjälklagskonstruktion. För enplanshus kan ur lufttätetssynpunkt med fördel den invändiga vindsluckan ersättas med en utvändig.

Andra öppningsbara detaljer där man behöver tänka på lufttätet är brevinkast och nyckelhål. Drag igenom dessa orsakar ibland komfortproblem, förutom den energiförlust det medför.

8 Föreskrifter för en lufttät byggnad

För att tydliggöra lufttätethets betydelse kan det vara lämpligt att ha en särskild del i föreskrifterna som behandlar lufttäteten. Exempel på vad som kan finnas i föreskrifterna ges nedan.

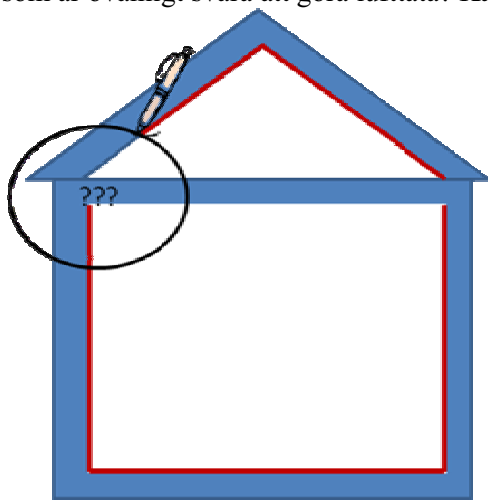
- Skarvar skall alltid göras över fast underlag och med ett överlapp på minst 200 mm.
- Vid tätning av genomföringar används i första hand stosas, och i andra hand fogmassa, butylband eller godkänd tejp.
- Vid eventuella skador uppsätts ny plastfolie, helst med anläggning mot fast underlag och med minst 100 mm överlapp i alla riktningar.
- Där plastfolien skall klämmas i anslutningar, anbringas en flexibel och lufttät tätning (t ex gummitätning, extruderad polyeten, tätningsband).. Vid anslutning mot betongplatta skall betongen vara slät och rengjord.

9 Några tips för en lufttät byggnad

För att sammanfatta det som är beskrivet tidigare så finns det några viktiga huvudsteg för att bygga en lufttät byggnad. Dessa är beskrivna kortfattat i fem punkter. Punkterna behandlas inte endast en gång under byggprocessen utan måste revideras allt eftersom arbetet fortskrider och ändringar görs.

1. Var finns det lufttäta skiktet?

Rita in det lufttäta skiktet. Var sammanfogas olika lufttäta delar? Om det lufttäta skiktet går från ett material till ett annat. Var finns skarven? Finns det några detaljer som är ovanligt svåra att göra lufttäta? Kan de förenklas?



Figur 50. Tänk igenom hur det lufttäta skiktet går runt hela klimatskalet.

2. Beskriv anslutningar och skarvar

Hur ser anslutningarna ut? Tänk igenom och beskriv anslutningar: vägg/golv, vägg/tak, vägg/fönster, mellan element etc. Framför allt ovanliga konstruktioner eller detaljer bör tänkas igenom.

På vilket sätt skall anslutningarnas täthet säkerställas: klämning, tejp, fog, gjutning m m? Att minimera skarvar i tätskiktet och beskriva hur skarvarna utförs är också viktigt. Se kapitel 7 för exempel på bra anslutningar och skarvar.

Beskrivning av anslutningar och skarvar kan göras i form av ritningar, anvisningar, monteringsanvisningar, demonstrationer eller provkonstruktioner.

3. Minimera antalet genomföringar i klimatskalet.

Genom att planera väl kan antalet genomföringar minimeras. Ett installationsskikt innanför det lufttäta skiktet minskar antalet genomföringar avsevärt.

Gör anvisningar för hur genomföringar skall tätas. Beskrivning av genomföringar finns i kapitel 7.6.



Figur 51. Planera genomföringarna: om det inte går att eliminera dem så gör dem bra.

4. Arbetsutförande och utbildning

Alla moment går att göra mer eller mindre bra. En god förståelse för lufttätethet bidrar till en bättre lufttätethet. Tänk igenom hur lufttätetheten skall tas upp under projektets gång. På vilka möten skall lufttätethet diskuteras? Vilka utbildningsmoment är aktuella (informationsmöte, studiebesök, provkonstruktioner etc.)? Se kapitel 5 för exempel på hur lufttätethet behandlats i byggprocessen där lufttätetheten blivit bra. Det är också bra att tänka på hur erfarenhetsåterföring skall fungera i projektet och till andra projektet.

LUFTTÄTHETSUTBILDNING
Kantarellstigen

Steg 1 (alla). Introduktion av lufttätethet.
 Varför skall det vara lufttätt? Hur skapar man lufttätethet? Hur skall vi arbeta?

Steg 2 (alla). Studiebesök
 Erfarenheter från objekt med god lufttätethet. Intervjuer. Byggsplatsbesök.

Steg 3 (täthetsansvariga). Lufttäthetsverkstad
 Uppbyggnad och provning av kritiska detaljer. Övning och utveckling av konstruktion.

Steg 4 (alla). Luftläckagesökning
 Demonstration av hur man gör läckagesökning. Alla provar och förbättringar görs.

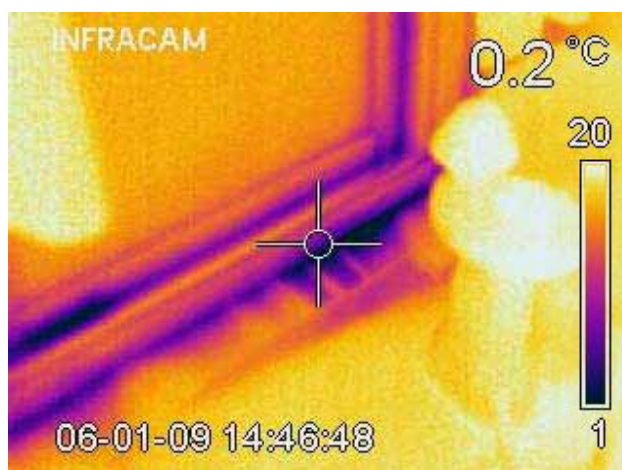
Steg 5 (alla). Täthetsprovning
 Första huskroppen täthetsprovas. Utvärdering och diskussion.

Figur 52 Exempel på lufttäthetsutbildning.

5. Gör läckagesökning och mät lufttäthet

Läckagesökning under byggskedet har två positiva effekter. Dels upptäcker man var det finns brister i tätskiktet så att de kan åtgärdas och dels är det lärorikt. Ifall man hittar luftläckage måste konstruktionen göras bättre eller noggrannare. När man bygger i enheter (t ex lägenheter) kan man läckagesöka en enhet och sedan föra vidare erfarenheterna till nästa enhet. Om snickare, elektriker och andra entreprenörer som kan påverka tätskiktet är med på läckagesökningar ger detta en ökad förståelse för luftläckage och hur viktigt det är med bra arbetsutförande vid detaljer.

För beskrivning av läckagesökning under byggskedet se bilaga 2.



Figur 53 Termograferingsbild som visar hur det drar under en altandörr. (Lila kallt, vitt varmt.)

När byggnaden är färdigställd bör lufttätheten mätas enligt EN 13829 (Fan pressurization method).

10 Referenser

Adalberth K, 1998, God lufttätthet, TS:1998, Byggeforskningsrådet, ISBN 91-540-5809-0, Stockholm

Byg-Erfa, Erfaringsblad 970704, SfB (39), Byggeteknisk erfahrungsformidling, www.byg-erfa.dk, Danmark

Johansson M, 2004, Byggnaders lufttätthet- en studie av utformning och praktiskt utförande av konstruktionsdetaljer i klimatskärmens lufttäta skikt, Examensarbete, Institutionen för byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola

Löfström R, 2004, Mätningar utförda 2003-2004, Internt material, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Mattsson S, Lövgren J, 2009, Design av fönsterinfästning i väggar med tjock värmeisolering - med avseende på fukt, värmeisolering och estetik, Examensarbete no 383, Byggeteknisk, Kungliga tekniska högskolan

Mattsson B, 2004, Luftläckage i bostäder- litteraturstudier, modellering och mätningar, Licentiatavhandling, P-04:3, Institutionen för byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola, ISSN 1400-2728

Mattsson B, 2007, Studies on building air leakage- a transient pressurisation method, measurements and modelling, Doktorsavhandling, Avdelningen för byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola, ISBN 978-91-7291-958-7

Olsson L, 2009, P-märkning av byggsystem av ytterväggar och fasader, Bygg & Teknik, nr 8, 2009

Roots P, 1997, Heat transfer through a well insulated external wooden frame wall, Report TVBH-1009, Byggnadsfysik, Lunds universitet, ISBN 91-88722-09-0

Sandberg PI, Sikander E, Wahlgren P, Larsson B, 2007, Lufttätthetsfrågorna i byggprocessen - Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler, SP Rapport 2007:23, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Sandberg PI, Sikander E, 2004, Lufttätthetsfrågorna i byggprocessen - Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning, SP Rapport 2004:22, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Sikander E, Wahlgren P, 2008, Alternativa metoder för utvärdering av byggnadsskalets täthet, SP Rapport 2008:35, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Sikander E, Olsson-Jonsson A, 1997, Lufttätthet i hus med träregelstomme och utan plastfolie, SP Rapport 1997:34, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Svensson O, Hägerhed Engman L, 2009, Förbättringsmöjligheter av lufttättheten i byggnader – erfarenheter och exempel från lufttätthetsmätningar, sammanställning från konferens Passivhus Norden, april 2009

Bilaga 1. Projektorganisation

Projektledare: Paula Wahlgren

Projektsamordnare: Pär Åhman

Projektgrupp: FoU-Väst

Rolf Jonsson, Wäst-Bygg

Gert Freiholz, Peab

Dick Jimar, JK-Bygg

Johan Alte, SBS Entreprenad

Henrik Carlsson (WSP i Göteborg)

Elvy Karlsson (Tyrens / Martin & Co i Växjö)

Per Ingvar Sandberg, SP

Ingemar Nilsson, SP

Carl-Eric Hagentoft, Chalmers

Bilaga 2. Instruktion för tidig läckagesökning

Syfte med läckagesökningen

Läckagesökningen utförs för att tidigt i byggprocessen hitta och åtgärda brister i byggnadsskalets lufttätethet. Denna instruktion är inte avsedd för att ge ett mätvärde på lufttätetheten. För att erhålla ett mätvärde på lufttätethet skall en täthetsprovning utföras som beskrivs i standarden EN13829:2000. Se även informationsbladet "Lufttätethetens lov".

Metod

En byggnad, eller en del av en byggnad, sätts i undertryck. Den luft som läcker in genom klimatskärmen spåras med ett eller flera av följande instrument: lufthastighetsgivare, rökflaska/rökpenna och värmekamera. De funna läckagen åtgärdas.

Val av testutrymme

Välj utrymme som skall sättas i undertryck för att studera klimatskärmens lufttätethet. Utrymmet kan utgöras av ett helt hus (beroende på storlek och flätkapacitet), en lägenhet eller ett enskilt rum. Det lufttäta skiktet skall vara färdigställt, i väggar och vindsbjälklag är detta vanligtvis plastfolien. Fönster och dörrar i klimatskärmen skall vara monterade. Saknas dörr till trapphus kan dörröppningen plastas.

Utrustning

- Plastfolie
- Tejp
- Fläkt med reglerbart flöde. Erforderlig flätkapacitet beror av storleken på byggnaden/utrymmet och hur otätt det är. Exempelvis bör en flätkapacitet om 400 l/s vara tillräckligt för ett utrymme med 100 m² golvyta. Fläktar kan hyras på uthyrningsföretag.
- Tryckmätare/Manometer med plastslang
- Rökflaskor/rökpenna*
- Lufthastighetsmätare*
- Värmekamera*

*En eller flera metoder för läckagesökning väljs

För information om var utrustningen kan hyras/köpas, sök i "Gula sidorna" på "mätinstrument, testutrustningar" samt "bygg-, arbetsmaskiner".

Tidsåtgång

Tiden för en person för att genomföra den tidiga läckagesökningen kan för en lägenhet om cirka 70 m² golvyta uppgå till 2 h för etablering och avetablering, 1-2 h för spårning av läckage och förbättringar, 1 h för utvärdering och erfarenhetsåterföring till fortsatt arbete. Den totala tidsåtgången kan därför uppskattas till 4-5 h för en person. Det är dock lämpligt att vara två personer, vilket gör det lättare och snabbare.

Förberedelser

(Kryssa i efter hand)

- ☐ Gör en visuell kontroll av klimatskärmen. Observera särskilt anslutningar, skarvar, genomföringar och eventuella skador i plastfolien samt komplettera uppenbara brister. Om stora otätheter förekommer kan det bli svårt att uppnå och upprätthålla ett undertryck.
- ☐ Gör en visuell kontroll av otätheter mot angränsande utrymmen och komplettera brister.
- ☐ Täta tillufts- och frånluftsdon, liksom golvbrunnar och genomföringar i t ex mellanväggar och bjälklag. Tätning kan ske provisoriskt med tejp eller hårt packad isolering.
- ☐ Kontrollera att all utrustning finns på plats samt att det finns ström till fläkt inne i utrymmet.
- ☐ Stäng dörrar och fönster till testutrymmet



Figur 54 Hål kring genomföring i bjälklag, tätning med mineralull kring rör samt ventilationsrör tätat med ballong.

Skapa undertryck

- ☐ En plastfolie (alternativt en skiva som är något större än öppningen) monteras i en dörröppning och ansluts med tejp mot karm eller vägg. Finns en öppning för ytterdörr väljs denna i första hand. Om det inte finns tillgång till en ytterdörr kan en dörröppning mot exempelvis trapphus väljas. I det fallet skall trapphusets ytterdörr stå öppen. Observera att möjligheterna att gå ut ur lägenheten/utrymmet kan vara begränsad efter det att plasten monterats.
- ☐ Ett hål tas i plastfolien, diameter 1-2 cm mindre än fläktens diameter
- ☐ Fläkten placeras i öppningen så att luften kan sugas ut ur testutrymmet. Fläkten pressas genom hålet i plastfolien, anslutningen mellan plastfolien och fläkten tejpas vid behov.
- ☐ Tryckskillnaden mellan utrymmet och ute kontrolleras med en manometer. Manometern placeras i utrymmet så att den inte påverkas av fläktens luftflöde. En plastslang ansluten till manometern placeras ute, även den en bit ifrån fläkten. Plastslangen förs genom ett litet hål i plastfolien där fläkten är monterad. Är plastfolien och fläkten monterad i en dörr mot trapphus så förs plastslangen ut genom en glipa i ett fönster, varefter glipan tejpas.
- ☐ Fläkten startas och varvtalet ökas tills en tryckskillnad om 20-30 Pa (allra minst 10 Pa) uppnåts. (Ifall det inte går att uppnå 10 Pa kan det finnas ett större läckage att täta.)
- ☐ Kontrollera att tryckskillnaden och luftriktning är korrekt genom att öppna en dörr eller ett fönster på glänt. Det skall dra in genom glipan. Stäng fönstret/dörren efter kontrollen.



Figur 55 Fläkt och manometer monterade i dörr mot trapphus, tätning kring dörr.

Identifiera läckageställen/förbättringsmöjligheter

Det är ofta problem med lufttätheten vid fönster- och dörranslutningar, skarvar, anslutningar mot golv, tak och mellanväggar samt genomföringar av kanaler och rör. Svaga punkter framgår av Figur 57.

- ☐ Bilda dig en första uppfattning om möjliga läckagepunkter med hjälp av handen efter det att ett undertryck upprättats.
- ☐ Sök läckageställen med hjälp av rökgas, lufthastighetsmätare eller värmekamera. Läs igenom manualer för en utförligare beskrivning av hur instrumenten används. I de fall som läckage noteras görs åtgärder för att minska eller ta bort läckaget helt.

Värmekamera

Om det är minst 5 grader kallare ute än inne (gärna 10 grader) kan värmekamera användas för att identifiera läckageställen. I vissa fall kan man höja temperaturen i utrymmet under minst 12 timmar före läckagesökningen för att få en större temperaturskillnad. Eftersom man kan förväxla luftläckage med köldbryggor bör värmekameran kompletteras med lufthastighetsmätare.

Lufthastighetsmätare

Placera lufthastighetsmätaren försiktigt vid ställen där luftläckage noterats med handen och/eller där man misstänker att läckage kan förekomma. Observera att lufthastighetsmätaren måste vara vänd så att eventuella luftrörelser passerar genom givaren.

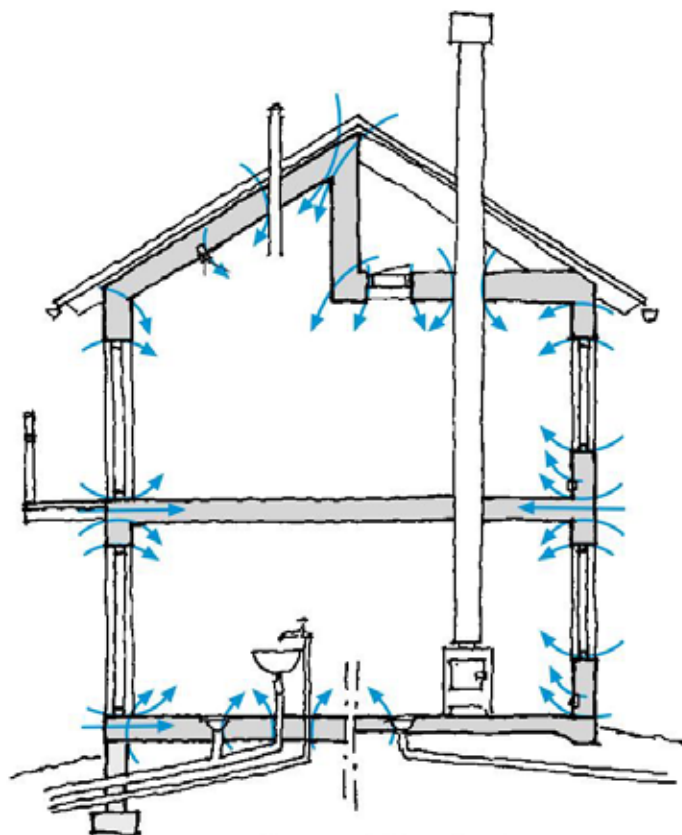
Rökgas

Använd rökgasflaska eller rökpena enligt tillverkarnas instruktioner. Vissa sorters rök får inte andas in- läs varningstext. Puffa rök försiktigt vid ställen där luftläckage noterats med handen och/eller där man misstänker att läckage kan förekomma. Ibland är det bättre att detektera läckage med hjälp av rök ifall byggnaden har övertryck, så att luften trycks ut i otätheterna. I det fallet måste den monterade fläkten vändas.



Figur 56 Läckagesökning med värmekamera, lufthastighetsmätare och rökgas.

- ☐ Stäng av fläkten och åtgärda läckageställen.
- ☐ Gör en förnyad kontroll genom att skapa undertryck (eller övertryck) igen. För att få en god lufttätethet skall det nu inte noteras några luftläckage.
- ☐ Skriv luftläckagerapport, se bilaga 3. Rapporten är ett hjälpmedel för att kunna förmedla erfarenheterna från undersökningen. Använd dessa erfarenheter till övriga utrymmen/lägenheter så att alla får lika god lufttätethet.
- ☐ Upprepa eventuellt kontrollen i flera utrymmen (lägenheter).



+ skarvar i tätskiktet

Eric Werner Tecknaren AB

Figur 57 Vanliga läckagevägar finns vid genomföringar och anslutningar.

Bilaga 3. Rapport från läckagesökning

Datum:

Utförare:

Testutrymme:

(Område, byggnad eller lägenhet)

Resultat:

(Beskriv de läckage som upptäckts och om möjligt även varför det blivit läckage.)

Åtgärder:

(Beskriv de tätningsåtgärder som utförts men även vad som är kvar att göra.)

Förmedling av erfarenheter:

(Gör en sammanställning av eventuella åtgärder som behöver upprepas i andra byggnader eller lägenheter. Notera ifall läckagesökning bör utföras i andra byggnader eller lägenheter. Vidarebefordra till berörd arbetsstyrka .)

Bilaga 4. Mätresultat för konstruktionsdetaljer

Det finns många mätningar av lufttäteten hos detaljer. För att säkerställa att de konstruktioner som mätts är relevanta för svenska byggnader, material och byggtradition är endast svenska studier redovisade. Lufttäteten hos en detalj eller byggnad mäts genom att exponera den för en tryckskillnad och mäta luftflödet som krävs för att hålla den aktuella tryckskillnaden, såsom beskrivet i kapitel 4.

Detaljerna kan studeras i större eller mindre skala. För mindre konstruktioner används ofta en mätlåda och för större konstruktioner har tryckkammare använts. Förhållandet mellan tryckskillnad över detaljen och luftflöde genom detaljen är inte linjärt och i följande undersökningar har ekvation 2 i kapitel 3 använts för att beskriva förhållandet.

För att kunna jämföra tätheten hos olika täthetslösningar redovisas luftflödet vid en tryckskillnad på 10 Pa och vid 50 Pa där dessa värden finns tillgängliga. Dessutom är en medelvärdesbildning gjord för mätningar där både övertryck och undertryck redovisas. I vissa fall redovisas läckaget för hela detaljen ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$) och i vissa fall redovisas läckaget per meter skarv e dyl ($\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{h}$).

Mätningarna på detaljer finns grupperade inom följande områden: skarvar, anslutningar och genomföringar.

Skarvar och material

För att få en lufttät konstruktion krävs lufttäta material. Dessa material kan vara exempelvis betong eller putsad lättbetong, men även skivmaterial (t ex gipsskiva) eller flexibla material (t ex byggpapp). Det vanligaste är att kombinera lufttätning och diffusionstätning och använda sig av plastfolie. Avgörande för om en god lufttätet skall erhållas är att skarvarna mellan element, skivor eller flexibla skikt är tillräckligt täta.

Det finns ett flertal mätningar på skarvar. Här redovisas skarvar mellan plastfolie (med olika överlapp o dyl), vindtät, vindpapp och gipsskiva.

I Sikander (1997) redovisas en mängd mätningar. Dels på enstaka material, med och utan skarvar, och dels på större element. De flexibla material som har mätts redovisas i Tabell 1. Plastfolie har ett antaget luftläckage på $0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

Tabell 1 Lufttäteten för alternativa tätskikt vid 50 respektive 100 Pa, medelvärde av övertryck och undertryck. Area $1,16 \text{ m}^2$.

Tryck, Pa	Luftläckage, $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$		
	Ekofiber Vindtät	Mataki vindpapp Walki 350	Mataki vindskydd Tyvek
50	0,12	0,09	0,66
100	0,25	0,18	1,55

För skarvar har mätningar gjorts på plastfolie, vindtät, vindpapp och gipsskiva (enkel, spacklad enkel, dubbel, dubbel med isolering). Skarvutförandena finns beskrivna i detalj i Sikander (1997) men en kortfattad beskrivning är att skarvutförande 1a, 1b och 2 är 20 cm överlappande skarv som kläms med skiva eller glespanel, skarvutförande 3 har överlapp 20 cm och tätning, skarvutförande 6, 7, 8, 11, 12 utan överlapp, 13, 14, 15 har olika överlapp som pressas ihop mellan cellulosaisolering och glespanel som har varierande

c/c. Mätningarna redovisas i nedanstående tabell. I Tabell 3 redovisas tätheten för enbart skarven, dvs. det flexibla materialets genomsläpplighet har räknats bort.

Tabell 2 Luftläckage vid 50 Pa, medelvärde av övertryck och undertryck. Läckage genom material och skarv.

Skarvutförande	Luftläckage m ³ /(m ² h)						
	Material						
	Plastfolie	Ekofiber Vindtät	Mataki vindpapp	Enkel gipsskiva	Enkel gips o spackel	Dubbla gipsskivor	Dubbla gips + isol
1a	0,14	0,34	0,57				
1b	0,13	0,19	0,29				
2	0,02	0,13					
3	0,02	0,15					
4				1,66	0,12		
5						0,27	0,13
5*						1,38	0,49
6	0,73	0,67					
7	0,08	0,24					
8		0,22					
11						1,00	
12		0,80					
13		0,29					
14		0,62					
15		1,05					

* Hål i gipsskivorna, Ø9 mm, för att undersöka inverkan av håltagning.

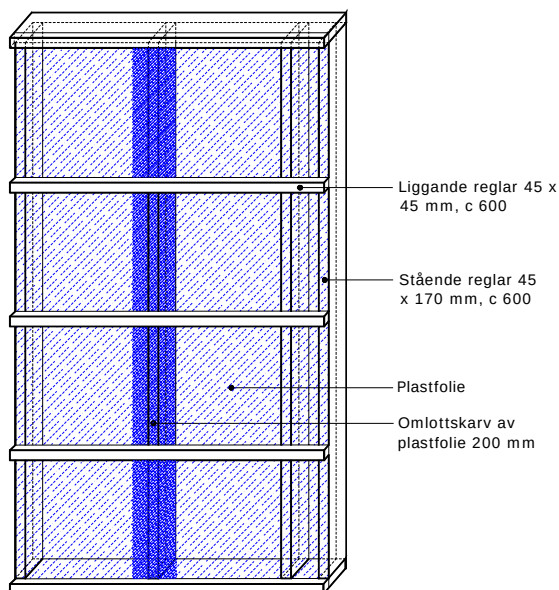
Tabell 3 Luftläckage vid 50 Pa för enbart skarven. Värdena i Tabell 2 har minskats med värdena för materialen i Tabell 1.

Skarvutförande	Luftläckage m ³ /(m ² h)		
	Material		
	Plastfolie	Ekofiber Vindtät	Mataki vindpapp
1a	0,14	0,22	0,48
1b	0,13	0,07	0,20
2	0,02	0,01	
3	0,02	0,03	
6	0,73	0,55	
7	0,08	0,12	
8		0,10	
12		0,68	
13		0,15	
14		0,50	
15		0,95	

Mätningarna visar att ett flexibelt material som skarvas med överlapp som kläms av glespanel eller klistras med ett tätningsband blir i stort sett helt tät.

Ytterligare mätningar beskrivs i Johansson (2004) och Mattsson (2004). Där har följande plastfolieskarvar studerats.

1. Överlapp 1200 mm, med och utan klämning av skarven med mineralullsskiva.
2. Överlapp 600 mm, med och utan klämning av skarven med mineralullsskiva
3. Överlapp 200 mm, med och utan klämning av skarven med mineralullsskiva
4. Överlapp 200 mm med extra häftning av skarven



Resultaten redovisas även kortfattat i Sandberg (2004). Där beskrivs följande resultat:

- Klämning av skarv med gips eller glespanel mot träregel ger ett läckage som är av samma storleksordning som läckaget vid 1200 mm och 600 mm omlottläggning över regel och med klämning med isolering.
- Vid 200 mm omlottläggning över regel och med klämning med isolering fördubblas läckaget jämfört med om 1200 mm överlapp används (vid 50 Pa tryckskillnad).
- Vid omlottläggning utan klämning (med isolering endast på ena sidan) ökar läckaget 30-300 gånger
- Klamringen c/c har betydelse för tätheten där ingen klämning på annat sätt sker. Endast klamring ger dock generellt sett otäta lösningar.

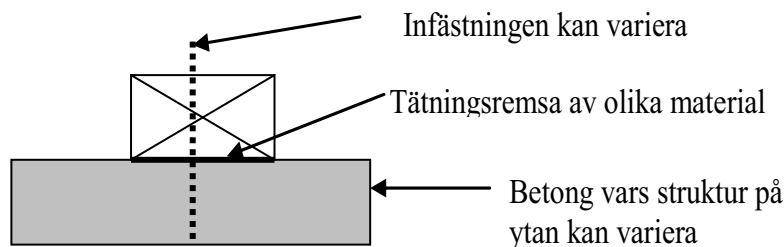
Den tätaste lösningen i den här studien är överlapp på 1200 mm som kläms mellan isolering. Tätheten är jämförbar med klämning av skarv med gips eller glespanel längs regeln. De lösningar som tillämpats den senaste tiden med tejpade skarvar kan man förmoda ha betydligt bättre lufttäthet.

Anslutningar

Anslutning mellan träsyll och betongplatta

Ett antal konstruktioner har provats med olika grov betongyta, olika tätningsremsor under syllen (s-list, extruderad polystyren, 5 mm samt asfaltpapp 2,5 mm) och olika infästning av syll (skruv c/c 600, expanderbult). Mätningarna är utförda av Roland Löffström på SP

Sveriges Tekniska Forskningsinstitut under 2003-2004 och finns redovisade i Sandberg (2004).



Figur 58 Anslutning bottenbjälklag/vägg (Sandberg, 2004).

Tabell 4 Täthet hos anslutning mellan träsyll och betongbjälklag.

Konstruktion	Läckage vid 10 Pa (m ³ /m·h)	Läckage vid 50 Pa (m ³ /m·h)	Referens
S-list, grov yta, skruv	1,57	4,12	Sandberg (2004)
S-list, slät yta, skruv	0,14	0,41	Sandberg (2004)
polystyren, grov yta, skruv	4,95	11,2	Sandberg (2004)
polystyren, slät yta	0,86	3,03	Sandberg (2004)
polystyren, slät yta, expanderbult	0,18	0,26	Sandberg (2004)
polystyren, slät yta, träskruv	0,24	0,68	Sandberg (2004)
Asfaltapp, grov yta	11,08	27,06	Sandberg (2004)
Asfaltapp, slät yta, skruv	6,05	15,96	Sandberg (2004)

Även Mattsson (2004) har testat anslutning mellan syll och betongbjälklag. Resultaten finns redovisade i Tabell 4 för träsyll mot betong. Betongytan som benämns grov är mycket skrovlig. Betongytan som benämns ”slät” är relativt slät, men inte lika slät som en stålslipad betongyta. Testad syllisoleringar är S-list (polyetenfolie med två stycken o-lister av EPDM-gummi), extruderad polyetenremsa, 4 mm, och asfaltapp.

Tabell 5 Täthet hos anslutning mellan träsyll och betongbjälklag, Mattsson (2004).

Konstruktion	Läckage vid 50 Pa ² (m ³ /m·h)	Referens
S-list, grov yta	4,0/3,7	Mattsson (2004)
Polyeten, grov yta	11,9/11,7	Mattsson (2004)
Papp, grov yta	28,2/28,1	Mattsson (2004)
S-list, slät yta	0,5/0,3	Mattsson (2004)
Polyeten, slät yta	3,0/2,6	Mattsson (2004)
Papp, slät yta	18,9/14,2	Mattsson (2004)

Följande slutsatser kan dras från Sandberg (2004). Den tättningsremsa som gav bäst resultat var S-list. I fallen som testades så var S-listen 6-10 ggr tätare än polyeten (vid tryckskillnad 50 Pa). I alla fall var det viktigt att ha en slät betongyta. Expanderbult gav bättre resultat än skruv.

² Övertryck/undertryck

Även Mattsson (2004) kom till slutsatsen att S-listen var tätast. Det är stor skillnad på slät och grov betongyta. Mattson jämförde också expanderbult och träskruv, och med expanderbult blev det betydligt tätare. I konstruktionen i Tabell 5 är syllen inte skruvad utan syllen belastas endast av väggens egenvikt.

Anslutning mellan plåtsyll och betongplatta

Plåtsyll mot betongplatta har testats med extruderad polystyren limmad på plåtsyllen, både slät och grov betong. Syllen är infäst med c/c 500 och i ett fall är perforeringarna i syllen tätade.

Tabell 6 Täthet hos anslutning mellan plåtsyll och betongbjälklag, Sandberg (2004).

Konstruktion	Läckage vid 10 Pa (m ³ /m·h)	Läckage vid 50 Pa (m ³ /m·h)	Referens
Polystyren, grov yta	4,26	8,87	Sandberg (2004)
Polystyren, slät yta	1,62	3,08	Sandberg (2004)
Polystyren, slät yta, tätad perforering	0,36	0,84	Sandberg (2004)

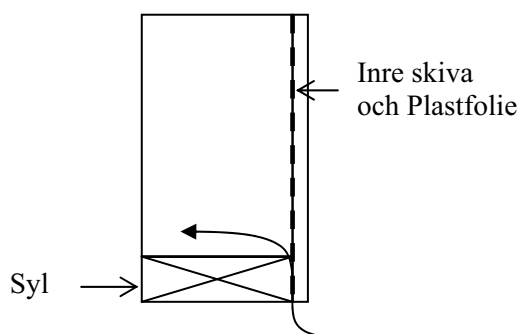
Tätheten hos plåtrekeln är av samma storleksordning som träregeln. Tätning av perforeringar minskar läckaget avsevärt. Mattsson (2004) utförde två mätningar på plåtrekel. Dessa visas i Tabell 7.

Tabell 7 Täthet hos anslutning mellan plåtsyll och betongbjälklag, Mattsson(2004).

Konstruktion	Läckage vid 50 Pa (m ³ /m·h)	Referens
Pålimmad polyeten , grov yta	9,6/9,1	Mattsson (2004)
Pålimmad polyeten , slät yta	4,1/2,3	Mattsson (2004)

Anslutning mellan syll och inre tätskikt

Luften som läcker ut vid anslutning vägg/bottenbjälklag kan läcka ut åt två håll. Dels som i föregående stycke, mellan syll och betongplatta, och dels via läckagevägen mellan kortsida syll och det inre tätskiktet, se Figur 59.



Figur 59 Läckage mellan syll och inre tätskikt

Syll av trä och av plåt har provats. Det inre tätskiktet består i en del fall av gipskiva (skruvad med c/c 200) med plastfolie utanför, endast plastfolie som kläms med träregel, skruvad med c/c 500, utegips utan plastfolie, vindskydd (typ ”vindtät”) som kläms med

träregel, skruvad med c/c 600. I ett fall sticker skruvskallarna som fäster plåtreglarna i plåtsyllen ut. Detta innebär att gipsskivan inte ligger an ordentligt mot plåtsyllen.

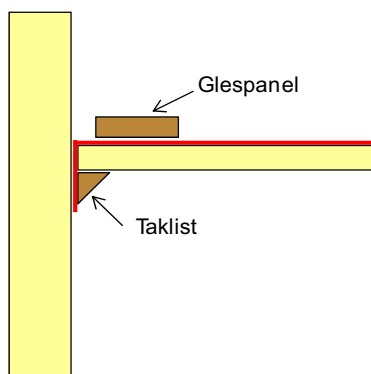
Tabell 8 Täthet hos anslutning mellan syll och inre tätskikt.

Konstruktion	Läckage vid 10 Pa (m ³ /m ² ·h)	Läckage vid 50 Pa (m ³ /m ² ·h)	Referens
Gips, plastfolie, plåtsyll	0	0	Sandberg (2004)
Gips, plastfolie, plåtsyll, skruvskallar	0,40	0,98	Sandberg (2004)
Plastfolie, träregel som klämmer mot plåtsyll	0,12	0,41	Sandberg (2004)
Utegips, plåtsyll	0,22	0,68	Sandberg (2004)
Vindtät, träregel som klämmer mot plåtsyll	0,05	0,22	Sandberg (2004)

Värt att notera är att ifall skivmaterialet (gipsskivan) ansluter väl emot regeln så blir det inget läckage.

Anslutning mellan putsad väggyta och plastfolie från vindsbjälklag.

Mätningar har utförts på en putsad väggyta där plastfolien från vindsbjälklaget kläms mot väggen med hjälp av en skruvad trälist (c/c 600). I ena fallet har den putsade ytan en tät-massa som plastfolien kläms emot, se Figur 60.



Figur 60 Klämning av plastfolie i ett undertak vid anslutning till en putsad vägg.

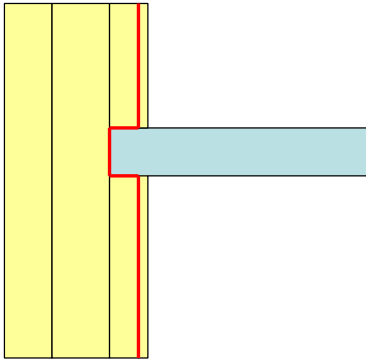
Tabell 9 Täthet hos anslutning mellan vindsbjälklag och yttervägg

Konstruktion	Läckage vid 10 Pa (m ³ /m ² ·h)	Läckage vid 50 Pa (m ³ /m ² ·h)	Referens
Putsad yta, trälist	0,34	1,30	Mattsson (2004)
Putsad yta, trälist, tätmassa	-	0,02	Mattsson (2004)

Läckaget är mycket litet med tätmassa mellan putsad yta och plastfolie. Även utan tät-massan är läckaget förvånansvärt litet med tanke på att den putsade ytan inte är helt slät.

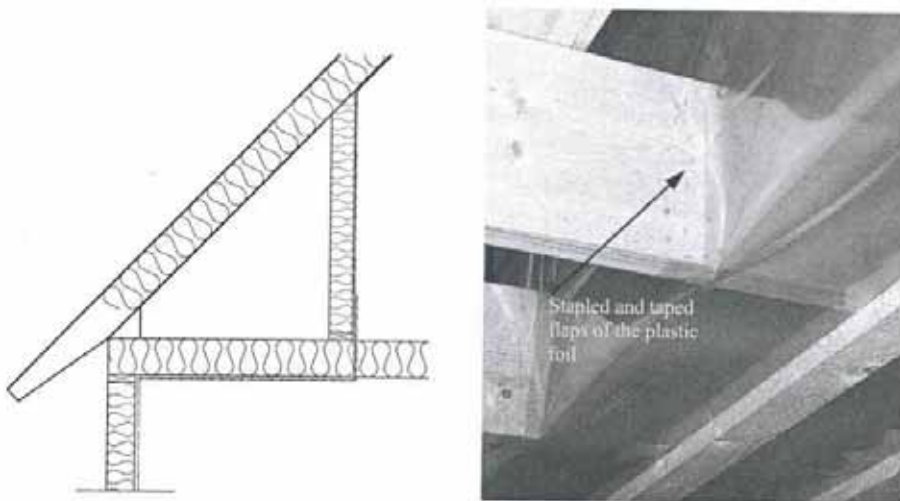
Anslutning mellanbjälklag/yttervägg

I de fall där tätskiktet är en plastfolie som skall förbi ett mellanbjälklag kan det bli svår att göra en bra lösning. Det lämpligaste är att dra plastfolien förbi bjälklaget, t ex enligt Figur 61.



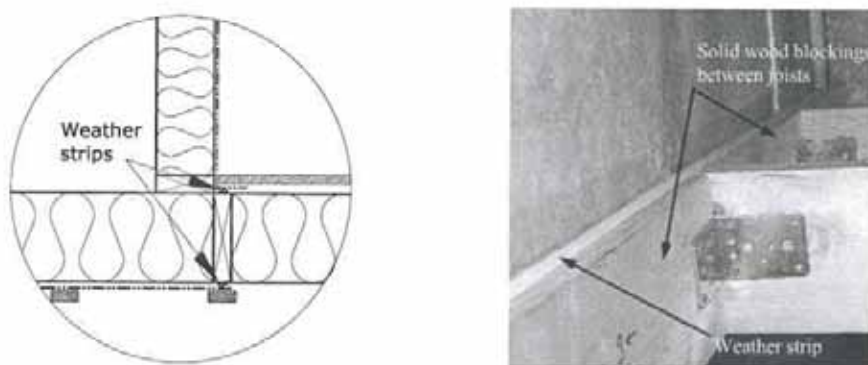
Figur 61 Plastfolien dras förbi bjälklagskanten.

Det är inte alltid möjligt att gå tillväga på detta sätt och Mattsson (2004) har gjort täthetsmätningar på en konstruktion där tätskiktet bryts av takstolarna. Han har undersökt olika sätt att säkerställa tätheten runt underramen. Såsom visas i Figur 62 är första alternativet att skära två snitt så att det formar ett T mitt för takstolen och sedan vika ut plastfolien mot underramen. Lufttätheten har provats när plastfolien är häftad mot underramen, när den inte är häftad och när den är häftad och tejpad. Det finns också ett alternativ där plastfolien är slarvigt skuren och inte fastsatt mot underramen.



Figur 62 Plastfolie som dras förbi underramar (Mattsson, 2007).

Istället för att föra plastfolien förbi underramen har ytterligare en variant provats. Här har träreglar med samma höjd som underramen placerats mellan takstolarna, se Figur 63. Därefter fogas plastfolien från innertaket med en mjukfog mot regeln och likadant fogas plastfolien uppifrån mot regeln. Springan som skapas mellan underram och regeln har i ett fall lämnats som den är och i ett fall fogats. I vissa fall placeras regler mellan underramar för att fördela lasten.



Figur 63 Plastfolie från innertak och ovanifrån fogas mot regel mellan takstolar (Mattsson, 2007).

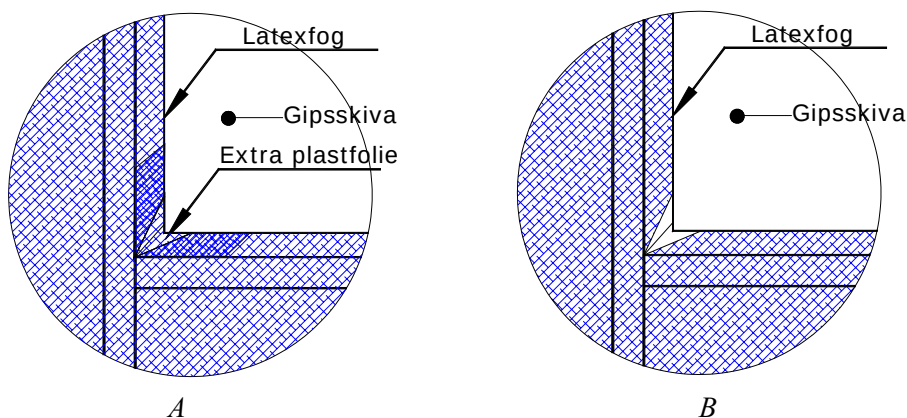
Resultaten från undersökningen visar att den bästa lösningen är att skära ett T i plastfolien, vika den kring underramen och sedan häfta och tejpa plastfolien mot underramen. Läckaget i detta fallet är mycket litet. Den näst bästa lösningen är den med regler mellan takstolarna. För en bra lufttätet krävs dock, förutom noga anslutning mellan plastfolie och trä, att fogning görs mellan underramar och regler.

Båda dessa lösningar gav tillfredsställande lufttätet men alternativet med träreglar mellan takstolarna kräver något mindre noggrannhet och arbete. Mattson påpekar också att det finns en möjlighet att tätet minskar med tiden om underramen krymper något p g a att den torkar.

Anslutning yttervägg/fönster

I Johansson (2004) visas två principer för anslutning av fönster i yttervägg. Den ena principen innebär att plastfolien vikts in i fönstersmygen och den andra innebär att plastfolien skärs av vid regeln bröstningen som fönstret är monterat intill. Vid mätningen ersattes fönsterglasat av en gipsskiva. För ytterligare beskrivning av försökupställningen se Johansson (2004).

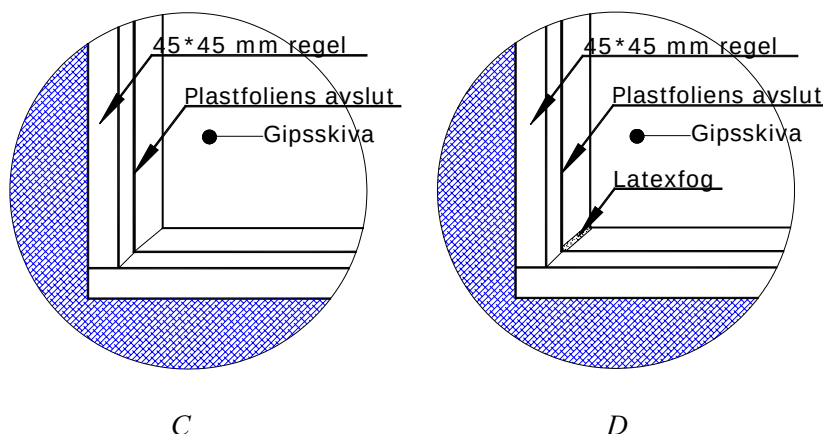
Två varianter där plastfolien har vikts in har provats. I variant A har plastfolien vikts in i fönstersmygen och därefter har en extra bit plastfolie häftats fast i hörnet. Plastfolien har fogats längst in, se Figur 64. Variant B har fog med ingen extra plastbit.



Figur 64 Två olika arbetsutföranden för fönstersmyg där plastfolien vikts in i smygen. I fall A har komplettering skett i hörn med en tillskuren plastfolie. Bild från Johansson (2004).

Provningsen av invik av plastfolien i fönstersmyg visar att läckage blir betydligt mindre när en komplettering av folien görs i hörnet med en tillskuren plastbit. För mätdata se Tabell 10.

Två varianter där inte plastfolien har vikts in i fönstersmygen har också testats. (Se Figur 64 och Figur 65). Lufttäteten säkerställs genom att plastfolien kläms mot väggen med hjälp av en mindre regel. Detta kräver att det inte finns för stora ojämnheter runt fönstret. Exempelvis måste insidan av bröstningsregeln och insidan av den stående regeln vara i liv. Täthetsprovning utfördes med och utan fog i fönstersmygens fyra hörn.



Figur 65 Två olika arbetsutföranden vid fönstersmyg där plastfolien skärs av vid väggregel och kläms med en 45x45 mm regel. Lösning D har kompletterats med en fog i vinkeln mellan stående regel och bröstningsregel. Bild från Johansson (2004).

Vid jämförelse av de två provuppställningarna där plastfolien inte viks in i fönstersmygen visades att läckaget minskar till en tredjedel om anslutningen mellan reglarna i hörnet kompletteras med en fog.

Tabell 10 Mätuppställning och mätresultat för fönsteranslutning. Läckaget är angivet per löpmeter fönsteromkrets.

Utförande	A	B	C	D
Plast indragen till fönsterkarm	X	X		
Fog vid anslutning plastfolie/fönsterkarm/regel	X	X		
Extra plastfolie i fönstersmyg	X			
Klämning med reglar			X	X
Fog mellan stående regel/ bröstningsregel				X
Läckage vid 10 Pa (m ³ /m·h)	0,089	0,61	0,58	0,14
Läckage vid 50 Pa (m ³ /m·h)	0,29	1,59	1,6	0,44

Av de uppmätta konstruktionerna var det alternativ A, med invikt plastfolie och kompletterande plastfolie i hörn, som gav det bästa resultatet. Det är också den mest arbetskrävande konstruktionen. Alternativ D ger näst bäst resultat och är mindre arbetskrävande.

vande. För att få god täthet med denna konstruktion krävs att bröstningsregelns insida är i liv med den stående regelns insida så att plastfolien kläms väl runt fönsterkonstruktionen.

Genomföringar

Eldosa

I Johansson (2004) och Mattsson (2004) finns mätningar på tre olika fall med en eldosa i det lufttäta skiktet. Följande fall har studerats:

1. Slarvigt utskuret hål i plastfolien kring eldosan (springa 0-5 mm). Det finns ingen isolering som trycker mot springan och minskar springbredd eller luftläckage.
2. Noggrant utskuret hål något mindre än eldosans diameter. Kragen av plastfolie som bildas runt eldosan är mellan 2 och 3 mm hög.
3. Manschett av självhäftande plast kring eldosan. En kvadratisk självhäftande duk med hål träs över eldosan och tejpas mot dosan och mot plastfolien.

Ett slarvigt utskuret hål (1) ger ett mycket stort läckage (cirka 8 m³/h vid 50 Pa). Roots (1997) studerar en liknande konstruktion fast med hela väggkonstruktionen, d v s isolering och skivmaterial och vindskydd. Läckaget är då betydligt mindre (0,4 m³/h) men naturligtvis skall ett sådant här utförande undvikas. Lösning 2 med en krage av plastfolie runt eldosan ger ett mycket litet läckage (ca 0,1 m³/h), trots att bara plasten svarar för lufttätningen, och lösning 3 med en manchett runt eldosan ger inget mätbart läckage runt genomföringen.

Ventilationskanaler och rör

Mätningar på ett ventilationsrör (spirorör) redovisas i Sikander (1997). Kring ventilationsröret sitter en gummistos. Denna gummistos ansluter mot det lufttäta skiktet ("vindtät"). Tre olika fall har undersöks:

1. Gummistosen och det lufttäta skiktet kläms ihop mellan ett lätkors och en gips-skiva.
2. Tätningen kompletteras med en tätning kring röret för att undvika läckage vid spirorörets plåtfalsar.
3. Butylsträng används som tätning mellan gummistosen och det lufttäta skiktet.

För alla tre fall är lufttätheten god d v s gummistos är ett bra alternativ för tätning kring ventilationsrör.

Spotlights

Mattsson (2007) har utfört mätningar på ett vindsbjälklag med spotlights. Åtta stycken spotlights har placerats i bjälklaget och följande fall studerades.

1. Infällningsburkar trycks igenom i hål i plastfolien som är något mindre än burken.
2. Som ovan men även med tejpnig av plastfolie mot burk.
3. Något större hål i plastfolien så att inte plastfolien sluter an mot infällningsburken.
4. Skiva med hål för spotlight placerats ovanpå glespanelen och under plastfolien. Kanten på infällningsburken tätas med butylband mot plastfolien och burken skruvas mot skivan.

Mätningarna visade att ett dåligt arbetsutförande, fall 3, gav ett mycket högt luftläckage (drygt 150 m³/h vid 50 Pa övertryck). Övriga utförande var i samma storleksordning (drygt 10 m³/h vid 50 Pa).

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 är organiserat i åtta tekniska enheter och sex dotterbolag varav CBI, Glafo och JTI ägs till 60 % av SP och 40 % av Industrin.



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

Energiteknik

SP Rapport 2010:09

ISBN 978-91-86319-45-8

ISSN 0284-5172