



Att uppnå god lufttätet

En studie av faktorer som påverkar byggnadens lufttätet

Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet Byggingenjör

EMMA ELIASSON

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Byggnadsfysik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2010
Examensarbete 2010:24

EXAMENSARBETE 2010:24

Att uppnå god lufttätthet

En studie av faktorer som påverkar byggnadens lufttätthet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

EMMA ELIASSON

Institutionen för Bygg- och miljöteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

Byggnadsfysik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2010

Att uppnå god lufttätethet
En studie av faktorer som påverkar byggnadens lufttätethet
Examensarbete inom högskoleprogrammet
Byggingenjör

EMMA ELIASSON

© EMMA ELIASSON 2010

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2010:24

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Byggnadsfysik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Plastfolie används som lufttätande skikt i lätta konstruktioner med luftgenomsläppliga material. Bild från Isover (2010).

Chalmers reproservice/ Institutionen för bygg- och miljöteknik

Att uppnå god lufttätthet

En studie av faktorer som påverkar byggnadens lufttätthet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

EMMA ELIASSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

Byggnadsfysik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

De byggnader som byggs idag har ofta ett specifikt lufttätetskrav att nå upp till. På Skanska har funnits ett behov av att veta vilka täthetslösningar och faktorer som leder till vilka täthetsresultat. Detta för att kunna lägga täthetsarbetet på rätt nivå i förhållande till det krav som ska uppnås. Syftet med det här examensarbetet har därför varit att studera faktorer som påverkar byggnadens lufttätthet samt att undersöka vad som krävs för att uppnå de krav som ställs på klimatskalets lufttätthet. För att kunna göra detta har ett antal av Skanskas byggprojekt studerats. Alla byggnader är småhus i Göteborgsregionen där plastfolie använts som lufttätande skikt. De olika byggnadernas luftläckage varierar mellan 0,1 – 0,8 l/sm². Intervjuer med produktionschefer och produktionsledare för respektive projekt har gjorts för att få en bild över hur täthetsarbetet är utfört samt vilka förutsättningar som funnits för lufttäteten i projektet. Även inventeringar av information kring de olika projekten har gjorts genom granskning av ritningar samt boendekataloger. All information från intervjuerna och inventeringarna har sammanställts och jämförts med de täthetsresultat som funnits tillgängliga från provtryckningar. De olika täthetsresultaten har även analyserats och jämförts med varandra med avseende på olika faktorer och täthetslösningar. Till sist har rekommendationer sammanställts för de åtgärder som kan göras för att uppnå ett täthetskrav på 0,3 l/sm².

Det tekniska utförandet när det gäller kritiska konstruktionsdetaljer har stor betydelse för lufttäteten och det är viktigt att dessa tätas noggrant. Men för att uppnå god lufttätthet krävs även noggrann planering samt en diskussion kring lufttäteten. Därför studeras både tekniska lösningar samt förutsättningar för god lufttätthet i detta arbete. Frågeunderlaget inför intervjuerna har behandlat:

Konstruktionsdetaljer

- Installationsskikt
- Genomföringar
- Skarvar
- Anslutningar
 - Yttervägg – platta på mark
 - Yttervägg – mellanbjälklag
 - Fönsteranslutningar
- FTX-system
- Spotlights
- Vindsluckor

Förutsättningar

- Fokus på lufttätthet
- Engagemang i produktionen
- Tidigare erfarenhet av att fokusera på lufttätthet
- Byggnadens komplexitet
- Krav på lufttätthet

Resultatet och analysen har visat på följande:

För att uppnå låga luftläckage krävs fokus på lufttätethet i byggprojektet. Inga av de studerade byggprojekten utan fokus på lufttätethet har uppnått lägre luftläckage än $0,4 \text{ l/sm}^2$. För att uppnå luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ bör lufttätetheten vara central genom hela byggprocessen vilket inkluderar noggrann planering, diskussion kring lufttätetheten, väl genomtänkta lösningar samt att alla inblandade tar sitt ansvar för att lufttätetheten säkerställs. Studien visar även att högt engagemang inför täthetsarbetet i produktionen underlättar för att uppnå låga luftläckage. För att höja engagemanget kan kunskapen ökas genom utbildning och information, stöttande referensprojekt kan användas samt yrkesarbetarnas kunskaper kan utnyttjas genom att de lär och visar varandra olika moment.

Installationsskiktet är troligen den tekniska lösning som påverkar klimatskalets lufttätethet mest. Studien visar att luftläckage under $0,5 \text{ l/sm}^2$ bör uppnås med installationsskikt och det är därför en stark rekommendation för att uppnå ett krav på $0,3 \text{ l/sm}^2$. När det gäller genomföringar så har byggnader som uppnått luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ använt plåtstosar kring ventilationskanaler. Dessa har bidragit med en bra vidhäftningsyta och plastfolien fästs med fördel mot plåtstosen med dubbelhäftande butylband. Vid fönsteranslutningar har alla byggnader som uppnått luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ vikt in plastfolien i fönstersmyg. Även svälldrev har använts i anslutningen mellan yttervägg och fönsterkarm. Anslutningen mellan yttervägg och mellanbjälklag benämns ofta som kritisk i produktionen. I denna anslutning har de byggnader som uppnått luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ antingen skarvat och klämt plastfolien mot mellanbjälklaget eller låtit plastfolien löpa kontinuerligt förbi mellanbjälklaget. När det gäller anslutningen mellan yttervägg och platta på mark så har de byggnader som uppnått luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ klämt plastfolien under syll tillsammans med sylltätning. För ytterligare säkerställning av lufttätetheten har plastfolien även fogas mot betonggolvet. En vanlig metod för att tätas skarvar är tejpning. Det finns dock en osäkerhet kring tejpens beständighet och huruvida den försämras över tid. Därför bör tejp användas med försiktighet. Om tejp används är det viktigt att den är åldersbeständig. Den metod som använts i de studerade byggprojekt med luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ är klämda skarvar, d.v.s. plastfolien kläms mellan fasta material tillsammans med butylband.

När FTX-system finns i byggnaden ökar antalet genomföringar för tilluftskanaler genom bjälklaget och därmed även risken för luftläckage. För att minska risken för luftläckage kan kanalerna exempelvis placeras i ett nedpendlat undertak. I de byggnader där någon åtgärd vidtagits för att minska antalet genomföringar genom bjälklaget har betydligt lägre luftläckage uppnåtts än hos de som inte vidtagit någon åtgärd alls. Spotlights och vindsluckor är typiska riskkonstruktioner när det gäller lufttätetheten i en byggnad. Många av de byggnader som uppnått låga luftläckage har valt att prioritera bort sådana riskkonstruktioner. Detta rekommenderas för att uppnå luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$. En tidig läckagesökning kan ha en positiv inverkan på den slutliga lufttätetheten. Den kan användas under byggskedet för att förmedla bristfälligt utförande och förbättringsmöjligheter till kommande utförande och rekommenderas för att uppnå luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$. Sammanställda rekommendationer för att uppnå ett täthetskrav på $0,3 \text{ l/sm}^2$ ses på s. 82.

Nyckelord: Lufttätethet, luftläckage, täthetslösningar, täthetsresultat, plastfolie, kritiska konstruktionsdetaljer, genomföringar, anslutningar, skarvar, fokus, täthetskrav, engagemang, erfarenhet, intervjuer, $0,3 \text{ l/sm}^2$

To achieve good air-tightness
A study of factors affecting the building's airtightness
Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering
EMMA ELIASSON
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of Building Technology
Building physics
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The purpose of this thesis has been to study the factors that affect the building's air tightness and to determine necessary measurements to fulfill air tightness requirements for a building's thermal envelope. In order to do this, a number of Skanska's construction projects have been studied. Interviews with production managers and production leaders of the projects have been made to obtain an overview of how the tightness work has been done and also the conditions that have existed for air tightness in the projects. All information has been compiled and compared with air tightness results available from fan pressurization tests. The different air tightness results have been analyzed and compared with each other with respect to various factors and air tightness solutions. Finally, recommendations have been compiled for the measures that can be done to achieve an air tightness requirement of $0,3 \text{ l/sm}^2$.

The results and analysis have revealed the following:

In order to achieve low air leakage, a focus on air tightness is required in the building project. None of the studied building projects without focus on air tightness has reached lower air leakage than $0,4 \text{ l/sm}^2$. The study also shows that high commitment in the production considering tightness work will help to achieve low air leakage. To achieve an air leakage rate of $0,3 \text{ l/sm}^2$, action should be taken to increase the commitment in production. An early search for leakage in the building can be done to notice shortcomings in the air barrier and to pass on information and improvement opportunities for subsequent performance.

The installation layer is probably the one technical solution that affects the building envelope's air tightness most. The study shows that an installation layer usually results in an air leakage lower than $0,5 \text{ l/sm}^2$ and should therefore be used to fulfill a requirement of $0,3 \text{ l/sm}^2$. Methods that can be used to achieve an air leakage of $0,3 \text{ l/sm}^2$ are: Metal plate spigots around vents. Plastic foil should be folded into the window recesses and swelling insulation should be used in the connection between external wall and window frame. In the connection between the external wall and bottom slab the plastic foil is clamped with sealing. In order to seal joints, the plastic foil is clamped between solid materials together with butyl rubber strip. With FTX-systems in the building, action should be taken to reduce the number of penetrations through the plastic foil, for example by the use of a suspended ceiling. Risk structures, such as spotlights and wind gaps, should be avoided.

Key words: fan pressurization measurements, air leakage, air tightness results, plastic foil, penetrations, connections, joints, air tightness requirements

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	III
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	IV
FÖRORD	VII
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte och mål	1
1.2 Avgränsning	1
1.3 Metod	1
1.4 Rapportens disposition	2
2 KONSEKVENSER AV BRISTANDE LUFTTÄTHET	3
2.1 Ökad energiförbrukning	3
2.1.1 Minskat värmemotstånd	3
2.1.2 Okontrollerat ventilationsflöde	4
2.1.3 Mindre effektiv värmeåtervinning	5
2.2 Försämrad termisk komfort	5
2.3 Ökad risk för fuktskador	6
2.4 Försämrad luftkvalitet	6
3 ATT BYGGA LUFTTÄTT	7
3.1 Krav på lufttätethet	8
3.1.1 Provtryckning	9
3.2 Lufttäta konstruktionsdetaljer	11
3.2.1 Genomföringar	12
3.2.2 Skarvar	16
3.2.3 Anslutning mellan platta på mark och yttervägg	17
3.2.4 Anslutning mellan yttervägg och mellanbjälklag samt mellan yttervägg och yttertak	19
3.2.5 Fönsteranslutning	20
3.3 Beständighet	22
4 INTERVJUSTUDIE OCH INVENTERING	23
4.1 Tillvägagångssätt	23
4.2 Intervjufrågor	24
4.3 Sammanställning av projekten	26

5	ANALYS AV OLIKA FAKTORERS PÅVERKAN PÅ LUFTTÄTHETEN	50
5.1	Fokus på lufttäthet	50
5.2	Engagemang, kunskap och erfarenhet	51
5.3	Kravets betydelse	53
5.4	Installationsskikt	55
5.5	Byggnadskomplexitet	58
5.6	Konstruktionsdetaljer	59
5.6.1	Genomföringar	59
5.6.2	Anslutningar	61
5.6.3	Skarvar	65
5.7	Tidig läckagesökning	67
5.8	Andra faktorer som påverkar lufttätheten	69
6	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	71
6.1	Förutsättningar för god lufttäthet	71
6.2	Konstruktionslösningarnas påverkan på lufttätheten	72
6.3	Rekommendationer för luftläckage under $0,3 \text{ l/sm}^2$	73
6.4	Förslag på fortsatta studier	75
7	LITTERATURFÖRTECKNING	76

Förord

Den här rapporten beskriver mitt examensarbete som är utfört på Chalmers tekniska högskola som en del av min utbildning till byggnadsingenjör. Examensarbetet är utfört på avdelningen för Byggnadsteknologi vid institutionen Bygg- och Miljöteknik. Jag har även haft förmånen att samarbeta med Skanska Sverige AB, Teknik och Projekteringsledning, som har varit initiativtagare till ämnet för arbetet.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare på Chalmers, Paula Wahlgren, som har varit ett stort stöd under hela arbetets gång och bidragit med värdefull kunskap och vägledning inom ämnet.

Jag vill tacka avdelningen Hus och bostad inom Skanska Teknik för möjligheten att genomföra det här projektet. Ett speciellt tack vill jag rikta till min handledare, Ene Lindén, som delat med sig av sina kunskaper samt varit en stor inspirationskälla. Även gruppchef Helena Burstrand Kutsson har varit till stor hjälp och bidragit med mycket uppmuntran längs vägen. Jag vill dessutom rikta ett stort tack till hela avdelningen Hus och Bostad på Skanska Teknik för det varma och vänliga mottagandet.

Det här arbetet hade inte varit möjligt utan de produktionschefer och -ledare som engagerat deltagit i mina intervjuer. De som har medverkat är Patrik Fallbring, Glenn Johansson, Efraim Ljung, Andrew MacRae, Oskar Nilsson, Christian Nygård, Lennart Nylin, Andreas Sjölund och Leif Öjersson. Tack till alla er!

Ett stort tack!

Göteborg juni 2010

Emma Eliasson

1 Inledning

De senaste åren har hållbart byggande hamnat allt mer i fokus och samhället efterfrågar lösningar som belastar naturen så lite som möjligt. Detta har lett till skärpta energikrav för byggnader och därmed även högre krav på klimatskalets lufttäthet.

När ett krav ställs på klimatskalets lufttäthet krävs kunskap om hur det ska uppnås. På Skanska finns ett behov av att veta vilka täthetslösningar och faktorer som leder till vilka täthetsresultat. Detta för att underlätta att täthetsarbetet läggs på rätt nivå i förhållande till det täthetskrav som ställs. Det finns en ungefärlig uppfattning om vilka lösningar som krävs för att uppnå olika krav, men inga studier eller uppföljningar som kan bekräfta det.

Provtryckningar är gjorda i ett antal av Skanskas bostäder och slutliga lufttäthetsresultat finns tillgängliga. Med hjälp av dessa har en uppföljning varit möjlig att göra.

1.1 Syfte och mål

Syftet med projektet är att studera de faktorer som påverkar den slutliga lufttätheten i en byggnad. Syftet är vidare att få en bild över vilka förutsättningar och utförande som krävs för att uppnå olika täthetskrav. Målet är att dra slutsatser från undersökningen som kan ligga grund för lufttäthetsarbete i framtida projekt.

1.2 Avgränsning

Studien innefattar Skanskas småhus i främst Göteborgsregionen. Fokus ligger uteslutande på hus med lätta konstruktioner där plastfolie använts som tätande skikt. De olika lufttäthetslösningarna kommer att studeras utan någon ingående studie i de olika lufttätande materialen.

1.3 Metod

En litteraturstudie av främst forskningsrapporter samt examensarbeten inom lufttäthet har utgjort en teoretisk grund till rapporten. Utöver det har även information från konstruktörer och produktionschefer inom Skanska utnyttjats. Ett studiebesök på ett byggprojekt i Niklasberg har gjorts för att se hur en provtryckning av en färdigställd byggnad utförs.

I samarbete med Skanska Sverige AB, Teknik och Projekteringsledning har ett antal byggprojekt tagits fram för att kartläggas. En insamling av täthetsresultat har genomförts för respektive byggprojekt. Totalt har 11 olika projekt med sammanlagt 28 olika täthetsresultat studerats.

Därefter har fokus legat på att kartlägga det täthetsarbete som utförts samt de förutsättningar som funnits i de olika byggprojekten (t.ex. vilka krav som ställts av beställaren, vilket engagemang som funnits i produktioinen samt hur stort fokus som funnits på lufttäthet i projektet). Detta har gjorts genom intervjuer ute på byggarbetsplatser med produktionschefer och arbetsledare för respektive byggprojekt.

Inför intervjuerna har ett intervjuunderlag tagits fram och samma frågor har ställts till samtliga intervjuade för att få ett gemensamt underlag inför den jämförande studien. Intervjuunderlaget har främst tagits fram i samarbete med Ene Lindén som är konstruktör på avdelningen Hus och Bostad inom Skanska Teknik och väl insatt i lufttäthetsfrågor. Även information från litteraturstudien har använts för att ta fram intervjuunderlaget.

Förutom intervjuerna har även en inventering av information kring de olika byggprojekten gjorts genom studerande av ritningar, boendekataloger samt muntligt inom Skanska Teknik. På så sätt har fasadritningar kunnat tas fram, konstruktionsmaterial fastslagits och även projekterade konstruktionsdetaljer kunnat ses.

All information från intervjuerna och inventeringarna har sammanställts för respektive projekt. Resultaten har jämförts med de lufttäthetsresultat som funnits tillgängliga genom provtryckningar. Mätresultaten har även analyserats och jämförts med varandra i diagram och tabeller med avseende på olika faktorer och lösningar. Slutligen har rekommendationer sammanställts för åtgärder som kan utföras för att uppnå täthetskravet $0,3 \text{ l/sm}^2$.

1.4 Rapportens disposition

Kommande delar av rapporten delas in i fyra huvudområden enligt följande:

- **Kapitel 2. Konsekvenser av bristande lufttäthet.** I detta teorikapitel presenteras anledningar till varför vi bygger lufttätt samt konsekvenser som följer av att inte göra det. Kapitlet är främst till som bakgrund för resterande del av rapporten.
- **Kapitel 3. Att bygga lufttätt.** Kapitlet beskriver hur ett lufttätt klimatskal uppnås och vad som är viktigt att tänka på genom byggprocessen. Goda exempel på lufttäta konstruktionsdetaljer presenteras. Dessa är hämtade både från byggprojekt som studerats i denna rapport samt från Wahlgren (2010).
- **Kapitel 4. Intervjustudie och inventering.** Kapitlet beskriver hur intervjuerna med produktionschefer och produktionsledare är utförda samt resultatet av dessa. I tabeller presenteras den information som sammanställts från intervjuerna samt inventeringarna för respektive projekt.
- **Kapitel 5. Analys av olika faktors påverkan på lufttätheten.** Här analyseras resultatet i diagram och tabeller. De olika mätresultaten jämförs med varandra med avseende på olika faktorer och lösningar.
- **Kapitel 6. Slutsats och diskussion.** I detta kapitel presenteras de slutsatser som kunnat dras av studien och olika faktors påverkan på lufttätheten sammanfattas. Slutligen presenteras rekommendationer på hur täthetsarbetet bör utföras för att uppnå luftläckage under $0,3 \text{ l/sm}^2$.

2 Konsekvenser av bristande lufttätethet

Otättheter i klimatskalet skapar ett okontrollerat luftläckage som gör det svårt att kontrollera hur luften strömmar genom konstruktionen. Detta leder till en rad olika konsekvenser och många skador kan uppstå till följd av dålig lufttätethet. Enligt Sandberg & Sikander (2004) är vanliga negativa konsekvenserna av dålig lufttätethet:

- Ökad energiförbrukning
- Försämrad termisk komfort
- Ökad risk för fuktskador i konstruktionen
- Ökad spridning av lukter och föroreningar
- Sämre ljudmiljö

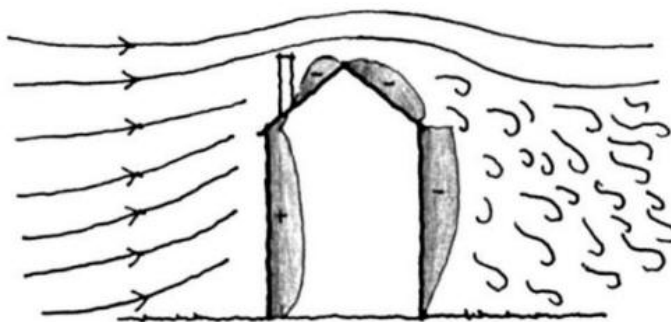
I nästkommande kapitel redovisas de olika konsekvenserna mer detaljerat.

2.1 Ökad energiförbrukning

Flera undersökningar visar på en ökad energiförbrukning i otäta hus. Bland annat har Arnetz & Malmberg (2006) jämfört energiåtgången i bostadshus med olika lufttättheter och kommit fram till att energiförbrukningen stiger med 30 % när luftläckaget¹ ökar från 0,4 l/sm² till 0,8 l/sm². Det finns flera anledningar till varför energiförbrukningen ökar i en otät byggnad. Vanliga anledningarna är enligt Sandberg m.fl., (2007) minskat värmemotstånd hos isoleringen, okontrollerat ventilationsflöde samt mindre effektiv värmeåtervinning.

2.1.1 Minskat värmemotstånd

Det kan ske en försämring av isolerskiktets värmemotstånd när luft strömmar genom skiktet. Hur stor värmeförlusten blir beror på hur stor luftströmmen är, som i sin tur beror på tryckskillnaden över byggnaden. Tryckskillnaden kan exempelvis vara orsakad av vind, se illustrerande Figur 1 nedan. En minskad värmeisoleringsförmåga leder till ett ökat energibehov för att upprätthålla temperaturen i byggnaden (Sandberg m.fl., 2007).

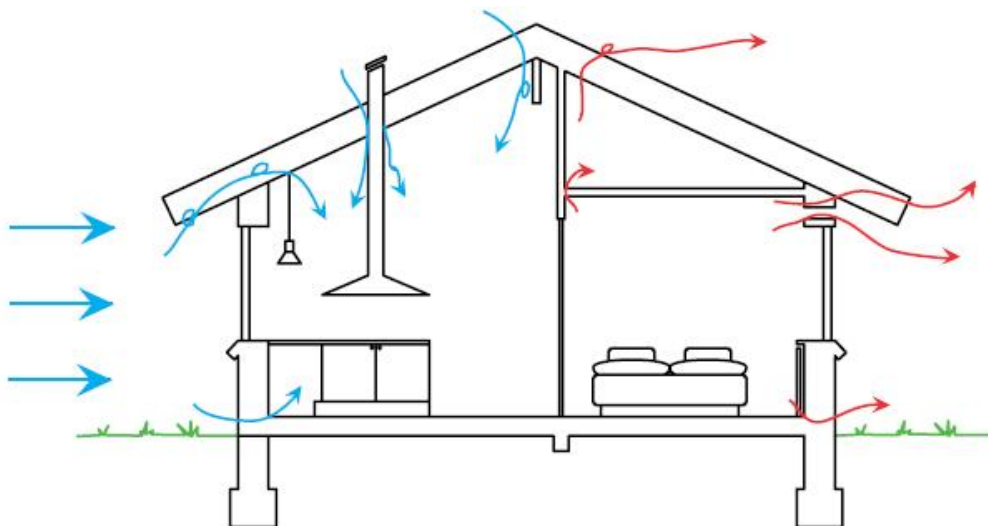


Figur 1. Vinden orsakar över- och undertryck som påverkar värmeförlusten i byggnaden. (SP, 2010)

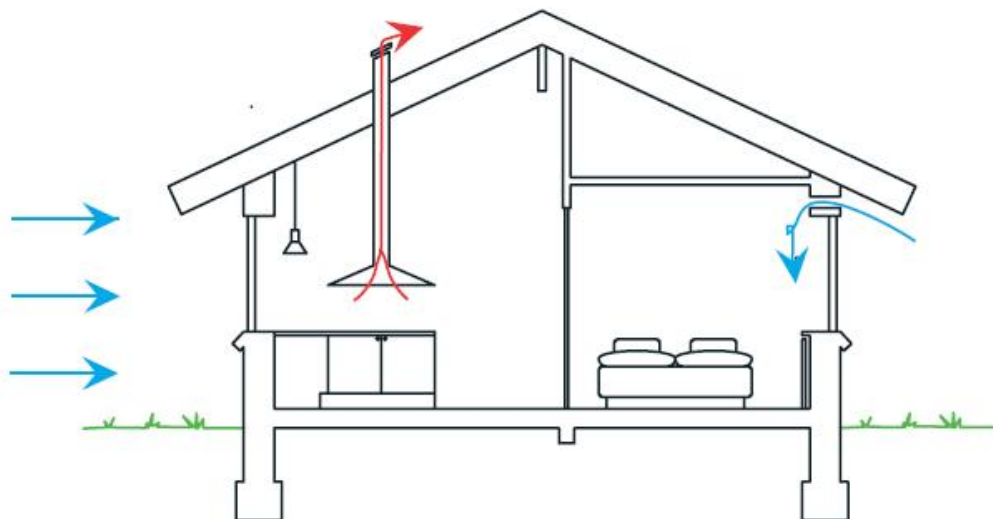
¹ Luftläckaget anges i liter/sekund och m² omslutande area, d.v.s. antal liter luft som läcker ut eller in per kvadratmeter klimatskal och sekund, vid 50Pa tryckskillnad.

2.1.2 Okontrollerat ventilationsflöde

I en otät byggnad strömmar delar av luftmängden genom otätheter i klimatskalet istället för genom ventilationssystemet, se illustrerande Figur 2 och 3 nedan. Det blir då svårt att kontrollera var och hur luften strömmar genom byggnaden och därmed även svårare att styra ventilationssystemet. Luftflödet i byggnaden påverkas av yttre omständigheter kring byggnaden och ökar i takt med vindens påtryckningar. Det är alltså av stor betydelse hur pass vindutsatt byggnaden är, vilket i sin tur beror på det geografiska läget, byggnadens höjd, närliggande bebyggelse, vindriktning samt vindstyrka.



Figur 2. Luftströmmar genom ett otätt klimatskal, leder till ett okontrollerat luftflöde (Isover, 2009).



Figur 3. Ett tätt klimatskal leder till ett kontrollerat luftflöde (Isover, 2009).

Energiförbrukningen i en byggnad stiger både i takt med mängden kall luft som tränger in i byggnaden samt med ventilationsflödets ökning. Faktorer som påverkar ventilationsflödet, förutom vindpåverkan, är fördelningen av otätheter i klimatskalet, ventilationssystemets utformning samt temperaturskillnader mellan ute och inne (Sandberg m.fl., 2007).

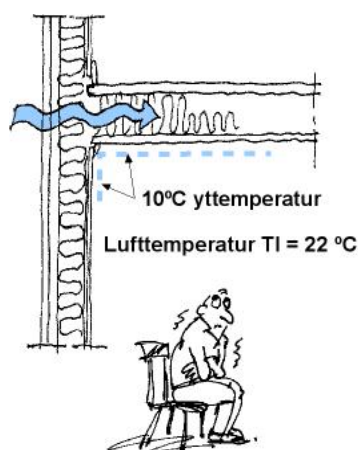
2.1.3 Mindre effektiv värmeåtervinning

I takt med ökade krav på energihushållning ökar också användandet av till- och frånluftsventilation med värmeväxling, så kallade FTX-system i byggnader. En värmeväxlare återvinner värmen i frånluften för att värma tilluften. Vid användandet av värmeväxlare är det extra viktigt att klimatskalet i byggnaden är lufttätt för att systemets kapacitet ska kunna utnyttjas fullt ut. Simuleringar som Sandberg m.fl. (2007) utfört visar att en värmeväxlare reducerar energiförlusterna via ventilationen i en byggnad samt energiförlusterna dessutom minskar ju tätare byggnaden är.

2.2 Försämrad termisk komfort

I en byggnad med dålig lufttätthet ökar risken för att drag och kalla ytor uppstår. Dessa två faktorer har stor inverkan på den termiska komforten, d.v.s. upplevelsen av inomhusklimatet. Människan upplever inomhusklimatet genom konvektion, strålning till omgivande ytor samt genom ledning till omgivande luft. Det finns alltså fler faktorer än luftens temperatur som påverkar hur människan upplever inomhusklimatet.

Stora luftläckage till följd av otätheter i konstruktionen upplevs som drag, d.v.s. en ökad lufthastighet intill kroppen som kan ha en avkylande effekt. Enligt den internationella standarden ISO 7730² besväras människor av lufthastigheter redan vid 0,10 – 0,15 m/s. De vanligaste ställena där drag uppstår är kring fönster, dörrar, vid anslutning mellan golv och yttervägg samt vid anslutning mellan tak och yttervägg. Luftläckage i byggnaden kan även orsaka kalla golv- och takytor som skapar en försämrad komfort. Kalla tak kan uppstå av läckage från kallvindar och mellanbjälklag medan kalla golv främst uppstår vid luftläckage mellan betongplatta och syll samt från mellanbjälklag. De kalla ytorna påverkar den termiska komforten genom strålning, se Figur 4. Enligt ISO 7730 ska golvet yttemperatur ligga mellan 18°C – 26°C vintertid för att 80 % av personerna ska trivas med klimatet (Sandberg m.fl., 2007).



Figur 4. Luftläckage orsakar kalla ytor som påverkar den termiska komforten genom exempelvis strålning (Sandberg m.fl., 2007).

² I den internationella standarden ISO 7730 Moderate Thermal Environments ges rekommendationer för termiskt inneklimat vintertid respektive sommartid.

2.3 Ökad risk för fuktskador

I en otät byggnad kan luftflödet genom klimatskalet bära med sig fukt in i väggkonstruktionen. Detta kallas fuktkonvektion och innebär att vattenånga transporteras med en luftström. Drivkraften för luftflödet är skillnad i lufttryck mellan inne och ute. Vid invändigt övertryck finns därför risk för att varm och fuktig inomhusluft läcker ut i klimatskalet. När den varma inomhusluften tränger in i väggkonstruktionen kyls den av. Om luftens temperatur sedan sjunker till daggpunkten kommer vattenånga kondensera ur luften och vatten bildas i konstruktionen.

Inomhusluftens ånghalt kan variera beroende på ventilationen, antalet personer som vistas där, verksamhet samt uteluftens ånghalt, men innehåller alltid fukt. Det finns också alltid någon form av tryckskillnad i byggnaden. Särskilt stor risk för övertryck finns i övre delen av byggnader. För att förhindra fuktkonvektion används ett lufttätande skikt, exempelvis plastfolie, som förhindrar luftläckage genom klimatskalet (Sandberg m.fl., 2007; Isover, 2009).

Särskilt viktigt är det att förhindra lufttransport genom klimatskalet i lågenergi- och passivhus där extra tjocka värmeisoleringskikt förekommer. Dessa hus har i och med sitt tjocka isoleringskikt en kallare ytterkonstruktion. Den kalla ytterkonstruktionen leder till en hög relativ fuktighet när temperaturen hos den varma och fuktiga inomhustemperaturen sjunker (Martinsson, 2007).

2.4 Försämrade luftkvalitet

Luftflöden kan bära med sig föroreningar och lukter genom otätheter i klimatskalet och genom lägenhetsavskiljande väggar. Otätheterna bildar en ofrivillig spridningsväg och kan leda till dålig luftkvalitet inomhus. Spridningen kan omfatta föroreningar utifrån omgivningen, brandgaser, radon från marken samt oönskade lukter. För att minska intaget av föroreningar utifrån är det vanligt att reducera föroreningskällor utanför samt placera luftintag på strategiska platser. Ett annat sätt är att föra in luften via ett ventilationssystem vilket gör att hälsofarliga gaser och partiklar kan filtreras bort innan luften tillförs rummet. Extra viktigt är det för byggnader i förorenade område att intaget av luft sker genom ventilationssystemet och inte via otätheter i klimatskalet. Till de föroreningar som kan skada hälsan om de inte filtreras bort hör ozon, partiklar, bly, kolmonoxid, kvävedioxid och svaveldioxid (Sandberg m.fl., 2007).

3 Att bygga lufttätt

Beroende på byggnadens konstruktion uppnås ett lufttätt klimatskal på olika sätt. Klimatskalet kan vara uppbyggt av ett homogent material som är lufttätt i sig självt som betong, lättbetong eller puts. Då behövs inget ytterligare lufttätt material, men dock lufttäta skarvar. I en lätt konstruktion som består av luftgenomsläppliga material används oftast plastfolie som ett lufttätande skikt, se Figur 5 nedan. Plastfolien i sig är mycket lufttät men måste skarvas och anslutas till andra material och konstruktionsdetaljer. Det är här luftläckage riskerar att uppstå. Här beskrivs bara konstruktioner med plastfolie som lufttätande skikt.



Figur 5. I en lätt konstruktion används plastfolie ofta som lufttätande skikt (Isover, 2010).

Det tekniska utförandet har stor betydelse för lufttätheten i en byggnad och det är därför viktigt att kritiska detaljer tätas noggrant och med god planering. Det är viktigt att tänka igenom lösningarna före utförandet för att undvika akuta lösningar på plats med felaktiga material.

För att en byggnad ska uppnå bästa möjliga lufttäthet krävs dock mer än bra utförda tekniska lösningar. Det krävs att lufttätheten är central genom hela projektet, från programskede till förvaltningsskede, och att alla inblandade tar ansvar för att lufttätheten säkerställs. Sandberg m.fl. (2007) har formulerat en checklista för att underlätta styrningen av byggprocessen så att den önskade lufttätheten lättare uppnås. Denna checklista ger förslag på rutiner för de olika aktörerna i byggsektorn genom de olika byggskedena. Sikander (2010) har sedan fortsatt att vidareutveckla denna checklista i ett pågående projekt, Bygga L. Nedan kommer en sammanfattning av vad som är viktigt genom de olika byggskedena.

Program- och planeringsskedet

I det första skedet är det lämpligt för byggherren att välja ambitionsnivå samt formulera de krav som ska ställas på lufttätheten i projektet. Genom att tydliggöra ansvarsfördelningen samt initiera utbildning ökar möjligheterna till att den önskade lufttätheten uppnås.

Projekteringsskedet

I projekteringsskedet bör det säkerställas att de upphandlade projektörerna och entreprenörerna har nödvändig kompetens i att bygga lufttätt. Likaså bör en ansvarig

för lufttätetsfrågorna hos projektören utses. Projekteringsarbetet ligger till grund för lufttäthetsens beständighet under hela byggnadens livslängd och därför är det viktigt att goda val av metoder och material görs. Dessutom bör alla detaljutformningar redovisas tydligt med ritningar och beskrivningar.

Produktionsskedet

Även i produktionsskedet utses en ansvarig för lufttätheten vars uppgift är att leda täthetsarbetet samt ansvara för egenkontroller. Yrkesarbetarna bör bli informerade om vikten av god lufttätthet för att få kunskap och förståelse. Sandberg och Sikander (2004) visar på att kunskap och god förståelse är en viktig komponent för att uppnå en lufttät byggnad. Bra förståelse för innebörden av god lufttätthet leder till högre motivation hos medarbetarna vilket i sig leder till ett bättre utfört arbete.

Kunskap och förståelse → God motivation → Bra utfört arbete

För att säkerställa utförandet av de tekniska lösningarna bör arbetsberedningar före viktiga arbetsmoment göras i samråd med projektör. En tidig läckagesökning kan göras när byggnadens tätskikt är färdigställt för att utvärdera lufttäthetsarbetet samt för att åtgärda läckage i ett tidigt skede. En slutlig mätning av luftläckaget görs för att säkerställa att kravet på lufttätthet har uppfyllts. Slutligen är erfarenhetsåterföring till projektör en viktig del i att förbättra och utveckla arbetet till framtida projekt.

Förvaltningskedet

Krav och rutiner för bevarande av lufttätheten bör finnas.

3.1 Krav på lufttätthet

Sedan juli 2006 finns inte längre några specificerade krav på lufttätheten i en bostad enligt Boverkets Byggregler, BBR. Istället framgår det i BBR 2008 9:2 att byggnadens klimatskal ska vara så pass tätt att de krav som finns på byggnadens energianvändning ska kunna uppnås. Det framgår även att klimatskalet ska vara så tätt som möjligt för att undvika fuktskador till följd av konvektion enligt 6:531.

Det finns dock ett alternativt krav på $0,6 \text{ l/sm}^2$ för byggnader där golvarean A_{temp} ³ är högst 100 m^2 , fönster- och dörrutan uppgår till max 20 % av A_{temp} och inget kylbehov finns. Jämförelsevis kan nämnas att de krav som var aktuella enligt BBR 1994 var $0,8 \text{ l/sm}^2$ omslutande area för bostäder samt $1,6 \text{ l/sm}^2$ omslutande area för lokaler.

Att det inte längre finns några specificerade krav på lufttäthet i BBR gör det viktigt att beställaren ställer egna krav och följer upp dessa. Lufttätheter som är rimliga att uppnå med bra tätningsmetoder är $0,1 - 0,4 \text{ l/sm}^2$. I passivhus⁴ är kravet $0,3 \text{ l/sm}^2$. Skanska Nya Hem har till följd av nya energikrav som nytt mål att efter 1/7 2010 uppnå luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ i sina bostäder.

³ A_{temp} innefattar golvarean av samtliga våningsplan för temperaturreglerade utrymmen, avsedda att värmas till mer än 10 °C , som begränsas av klimatskärmens insida. Area som upptas av innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dylikt, inräknas. Area för garage, inom byggnaden i bostadshus eller annan lokal-byggnad än garage räknas inte (BBR 2008).

⁴ Passivhus enligt FEBY.

3.1.1 Provtryckning

För att kontrollera luftläckaget i en byggnad eller i ett rum upprättas en tryckskillnad över utrymmet med hjälp av en fläkt. Provtryckningsresultatet fås i liter/sekund och m^2 omslutande area, d.v.s. antal liter luft som läcker ut eller in per kvadratmeter klimatskal och sekund. All information från detta kapitel om provtryckningar är hämtad från Lufttäthetens kontroll (2009) samt Sikander m.fl. (2008).

En utvärdering av byggnadens täthet kan utföras i två olika skede:

- Tidig läckagesökning innan de invändiga skivorna monterats.
- Slutlig täthetsprovning när klimatskalet är helt färdigställt.

Tidig läckagesökning

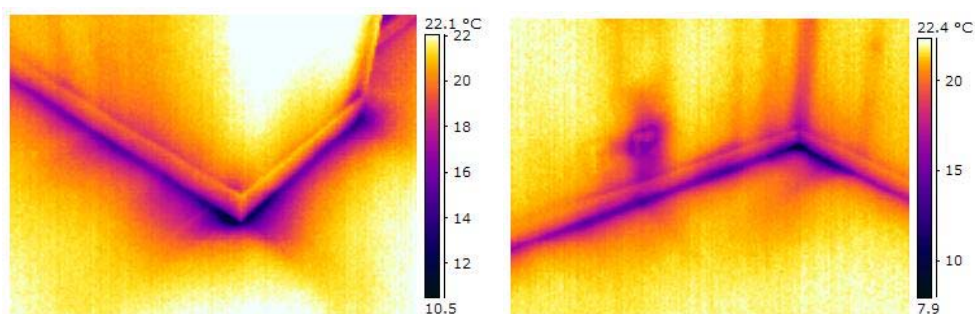
Så fort det lufttäta skiktet i klimatskalet är färdigmonterat och alla anslutningar, skarvar och genomföringar är färdigställda bör en tidig läckagesökning utföras. Med en tidig läckagesökning kan brister i tätningen identifieras och åtgärdas mycket enklare och billigare än om de skulle upptäckts i ett senare skede. Syftet med läckagesökningen är alltså inte att få fram ett värde på byggnadens lufttäthet utan att kartlägga var luftläckage finns samt åtgärda dessa. Den tidiga läckagesökningen går till enligt följande:

1. *Visuell kontroll.* Skarvar, anslutningar och genomföringar i klimatskalet kontrolleras och uppenbara brister åtgärdas. Stora otätheter kan göra det svårt att upprätthålla en tryckskillnad över klimatskalet vid provtryckningen.
2. *Provisorisk tätning.* Öppningar för fönster och dörrar som inte är färdigställda måste tätas provisoriskt. Även golvbrunnar, till- och frånluftsdon, genomföringar i bjälklag samt mellanväggar tätas med hjälp av tejp eller hårt packad isolering.
3. *Trycksättning.* Ett undertryck skapas i byggnaden med hjälp av en fläkt som suger ut luft ur testutrymmet. Fläkten placeras i en dörr- eller fönsteröppning och runt fläkten tätas det med plastfolie, en skiva eller liknande. Se Figur 6 till höger.



Figur 6. Monterad fläkt i dörröppning vid provtryckning (Studiebesök Niklasberg, 2010).

4. *Identifiering av läckage.* När undertryck har upprättats kan sökandet efter läckage starta. Sökningen börjar med en efterkänning med handen, på så sätt upptäcks stora läckage. Därefter används hjälpmedel som värmekamera, lufthastighetsmätning eller rökgas. Värmekameran är det vanligaste verktyget för att identifiera luftläckage, med den kan en stor yta genomsökas snabbt. För att metoden ska fungera krävs en temperaturskillnad mellan inne och ute på minst 5 – 10 grader. På termograferingsbilderna nedan i Figur 7a och b visar den mörka färgen tydligt var luftläckage finns, här i anslutningen mellan golv och yttervägg.

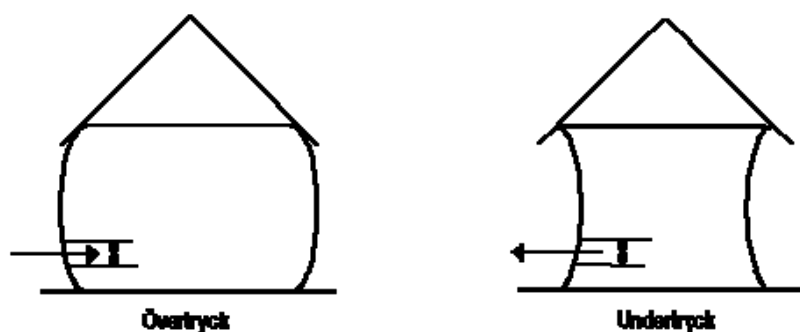


Figur 7a och b. Termograferingsbilder från en luftläckagesökning med värmekamera (Skanska, 2009).

5. *Läckage åtgärdas.* Nu åtgärdas eventuella läckage och en ny kontroll görs genom att åter skapa undertryck.

Slutlig täthetsprovning

Den slutliga täthetsprovningen utförs när byggnaden är helt färdigställd för att kontrollera att det krav som ställts är uppfyllt. Täthetsprovningen ska göras enligt standard EN 13829:2000 och utförs oftast av en konsult med särskild utrustning. En tryckskillnad skapas över byggnaden på 50 Pa, både över- och undertryck. Det slutliga lufttäthetsresultatet är ett medelvärde av dessa två.



Figur 8. I den slutliga täthetsprovningen sätts byggnaden under både över- och undertryck (SP, 2010).

Det bör nämnas att resultatet från en provtryckning kan vara missvisande om endast delar av en byggnad har provtryckts. Det finns då en risk för att luft läcker in från angränsande byggnadsdelar, som lägenhetsavskiljande väggar, och det uppmätta värdet blir då sämre än det verkliga resultatet.

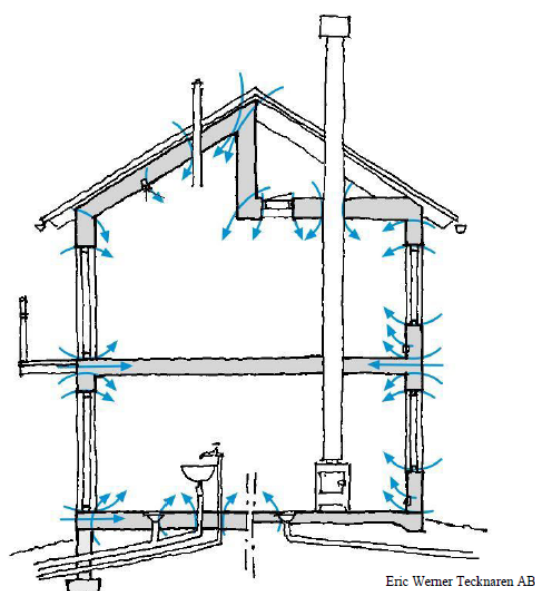
Det varierar vilka ytor som räknas in i de beräkningar där lägenhetsskiljande väggar förekommer och därför kan resultaten vara svåra att jämföra med varandra. Det rekommenderade sättet att utföra dessa provtryckningar på är att trycksätta även omkringliggande lägenheter. Då förekommer inget läckage genom lägenhetsskiljande väggar och endast klimatskalets ytor tas med i beräkningen. Detta kan dock vara svårutfört i verkligheten eftersom extra mycket utrustning krävs för genomförandet.

3.2 Lufttäta konstruktionsdetaljer

Det finns ett antal kritiska konstruktionsdetaljer i en byggnad där luftläckage riskerar att uppstå genom plastfolien. Där är det viktigt med bra tekniska lösningar och noggrant utförande för att säkerställa lufttäteten. En intervjustudie av Sandberg och Sikander (2004) visar att de konstruktionsdetaljer som uppfattas som mest kritiska med avseende på god lufttätethet är:

- Genomföringar för eldosor, ventilation, rör och kanaler.
- Anslutningar mellan byggnadsdelar som mellanbjälklag, yttervägg, fönster m.m.
- Skarvar i tätskiktet
- Anslutningar mellan tätskikt och material.

Det är främst dessa kritiska detaljer som undersökts i denna rapport. Figur 9 nedan visar de kritiska punkterna i en byggnad där luftläckage riskerar att uppstå.



Figur 9. Kritiska läckagepunkter i en byggnad (Wahlgren, 2010).

I nedanstående text kommer bra tekniska täthetslösningar att redovisas. Det är lösningar för kritiska konstruktionsdetaljer som visat sig ha god lufttätethet. Detaljerna är hämtade både från konstruktionslösningar som studerats i detta projekt genom intervjuer med produktionschefer och -ledare samt från den utförda litteraturstudien. Från de projekt som studerats i detta arbete hämtas främst exempel från:

- Ellös, passivhus bestående av radhus (luftläckage $0,08 - 0,17 \text{ l/sm}^2$).
- Misteröd, passivhus bestående av radhus samt parhus (luftläckage $0,11 - 0,14 \text{ l/sm}^2$).
- Vävstolen, lågenergihus i form av gruppboende (luftläckage $0,23 \text{ l/sm}^2$).

Alla tre projekt har uppnått mycket goda resultat med luftläckage mellan $0,077 - 0,23 \text{ l/sm}^2$. För mer information om projekten som studerats se kap 4.3 *Sammanställning av projekten*.

3.2.1 Genomföringar

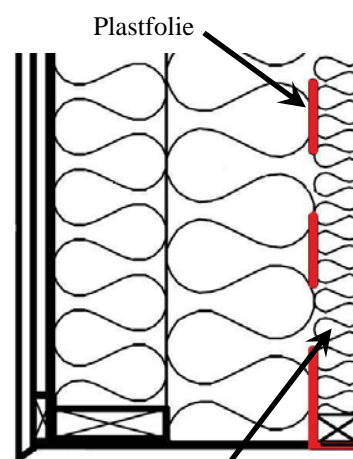
En bra regel för att uppnå god lufttätethet i en byggnad är att minimera antalet genomföringar genom byggnadens lufttäta skikt. Med genomföringar avses här de hål som görs i plastskiktet för kanaler, rör, eldosor och spotlights m.m.

Placeringen av genomföringarna bör tänkas igenom noggrant så att de är lättillgängliga och på så sätt går att täta. Flera genomföringar bör inte placeras nära varandra om inte speciella stosar⁵ avsedda för detta används. Genomföringar bör utföras i ett tidigt stadium när det går att komma åt att täta ordentligt. De genomföringar som utförs senare, när väggkonstruktionen börjar bli färdigställd, är ofta svårtätade (Wahlgren, 2010).

Tätningen runt omkring en genomföring är mycket viktig. Det finns olika sätt att utföra tätningen på och de olika lösningarna har varierande resultat. Om tejpning eller fogning behöver användas för att säkerställa tätheten kring genomföringarna gäller att dessa ska vara åldersbeständiga. De olika materialen får inte heller påverka varandra negativt.

Installationsskikt

Ett effektivt sätt att minimera antalet genomföringar genom plastfolien är att använda en indragen plastfolie, ett s.k. installationsskikt, se Figur 10. Då kan rör, kanaler och eldosor placeras innanför plastfolien och antalet genomföringar minskas drastiskt. Fortfarande kan några få genomföringar för t.ex. ytterbelysning behöva göras genom det lufttäta skiktet. En tumregel är att plasten aldrig placeras längre än en tredjedel in i väggkonstruktionen räknat från den varma sidan, då ökar risken för kondens i konstruktionen.



Figur 10. Installationsskikt med plats för kanaler, rör och eldosor.

Eldosor

Mikael Johansson (2004) visar i sitt examensarbete resultatet från tre olika varianter av genomföringar för eldosor som har provats på SP:s laboratorium. Studien visar att läckaget genom ett hål som är tillskuret utan precision är betydligt större än då hålet som skärs ut är mindre än den komponent som ska föras igenom. Ett mindre hål bidrar till att plasten bildar en s.k. ”kragfunktion” som sluter tätt runt eldosan. Ännu bättre resultat visar en tidigare provning på SP av Sikander och Olsson-Johnsson (1997) där genomföringen även tätades med gummistos och butylband.

⁵ En stos kan bestå av både plåt och EPDM-gummi och säkerställer lufttätetheten vid genomföringar, ofta genom att bidra med en vidhäftningsyta för plasten att fästas mot.

Kanaler och rör

I Misteröd och Ellös har Skanska byggt passivhus med ett mycket lågt luftläckage på 0,08 - 0,17 l/sm². Vid genomföringar för kanaler har plåtstosar använts kring genomföringarna, se Figur 11. Det innebär att plastfolien kunnat anslutas mot plåtstosen och på så sätt fått en mycket bra och fast vidhäftningsyta. I det här fallet har plastfolien fästs mot plåtstosen med hjälp av dubbelhäftande butylband⁶. Det är då viktigt att tänka på att undvika veck i plastfolien. Fogmassa har använts som kompletterande tätning runt genomföringarna.



Figur 11. Genomföringar för ventilationskanaler utförda med plåtstos i Misteröd. Figuren visar plåtstosen som är ansluten till ventilationskanalerna, före plastfolien är monterad. Därefter monterar plastfolien och kompletterande tätning sker med mjukfog (Misteröd, 2007).

Det har krävts noggrann planering och framförhållning för att säkerställa utförandet av genomföringar i Ellös och Misteröd. Inga genomföringar i plastfolien förekommer för eldosor och belysning eftersom installationsskikt finns. Dessutom har de få rör som behövt dras genom plastfolien istället gjutits in i plattan (Johansson, 2010).

Om genomföringar för elrör ändå skulle behöva göras genom plastfolien kan även dessa utföras med stös för att säkerställa lufttäteten omkring dessa, se Figur 12a.

Om stös inte används kring genomföringen är det lämpligt att bilda en så kallad ”kragfunktion” kring genomföringen med hjälp av plastfolien från väggen, samma metod som för eldosor. Det innebär att hålet i plastfolien görs så litet som möjligt och på så sätt spänner åt kring genomföringen och minskar luftläckaget. Dessutom kan ytterligare en plastbit med mindre hål än genomföringen, en krage, dras över kanalen eller röret. Plastbiten överlappas sedan minst 100 mm med plastfolien från väggen och de fästs mot varandra med tejp eller dubbelhäftande butylband. Även kanal-/rör genomföringen och kragen fästs mot varandra, se Figur 12b (Wahlgren, 2010).

⁶ Dubbelhäftande butylband består av butylgummi och har en lufttätande samt en vidhäftande funktion. Den används i anslutning mellan olika byggnadsdelar, mellan skarvar eller runt genomföringar.



Figur 12a och b. Figur a visar en elgenomföring med stös, den här bestående av flexibel EPDM-duk med tejp som tejpas mot plastfolien. Figur b visar en genomföring utan stös med en extra bit plastfolie som tejpas både mot tätskikt och mot rör (Wahlgren, 2010).

Isolerade ventilationskanaler

Tätning kring ventilationskanaler som är omgivna av isolering kan vara svårutfört och nämndes som en kritisk detalj i en av intervjuerna inför denna rapport. Wahlgren (2010) ger rekommendationen att använda en avslutning på kanalen som medför att kanalisoleringen täcks av omkringliggande plåt vid genomföringen. Plastfolien kan då anslutas tätt mot plåten. Exempelvis kan en ljuddämpare fungera bra att ansluta plasten mot. I Misteröd och Ellös har en stös använts som brutit av isoleringen i höjd med mellanbjälklaget och på så sätt har plastfolien kunnat fästas mot stosen istället för mot isoleringen.

FTX-system

Ett FTX-system medför ofta att ett ökat antal genomföringar i tätskiktet eftersom fler antal tilluftskanaler måste löpa genom bjälklaget. Detta medför en större risk för luftläckage och en noggrann tätning krävs för att upprätthålla god lufttäthet i byggnaden. För att minska antalet genomföringar kan ett indraget tätskikt användas även i taket. I Misteröd har ett indraget tätskikt åstadkommit genom att installationerna placerats i ett undertak, se Figur 13 nedan. I Ellös har man istället placerat kanalerna i takhörn.



Figur 13. Nerpendlat undertak med plats för installationer (Misteröd, 2007).

Spotlights

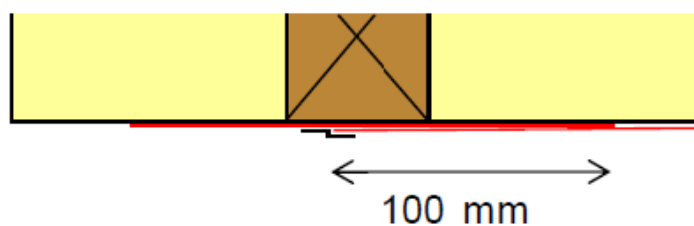
Spotlights i tak är en mycket vanlig anledning till luftläckage och dessutom riskerar värmen från spotlights och transformatorer att skada takets tätskikt. Därför bör spotlights i tak undvikas i största möjliga mån då man strävar efter att bygga lufttätt. Ett alternativ för att minska risken för luftläckage kring spotlights är att använda ett indraget tätskikt eller placering av spotlights i undertak och på så sätt undvika en anslutning av plastfolien mot spotlightsen. Detta är speciellt lämpligt när många spotlights förekommer nära varandra.

3.2.2 Skarvar

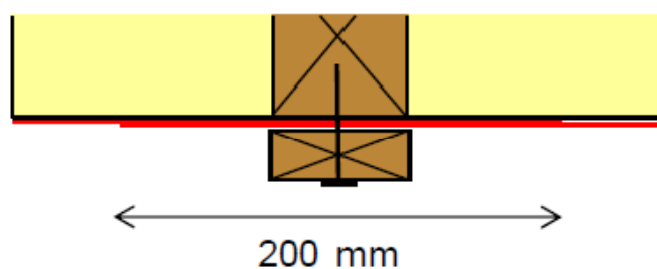
I skarvar mellan lufttäta material riskerar luftläckage att uppstå. Storleken på läckaget beror till stor del på arbetsutförandet och valet av tätningsmetod. Antalet skarvar bör minimeras genom att använda breda plastfolier som täcker hela vägghöjder samt hela längder (Martinsson, 2007).

Tätning mellan skarvar utförs antingen med tejp, dubbelhäftande butylband eller klämning mellan fasta material. Då tejpning förekommer ska det ske med åldersbeständig tejp som inte skadar plastfolien. Vid användning av butylband eller tejp är det även viktigt att vidhäftningsytorna är väl rengjorda så att materialen häftas vid ordentligt samt att veck i plastfolien undviks.

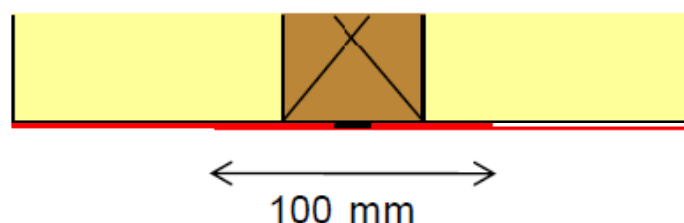
Följande bilder visar bra exempel på skarvningsmetoder.



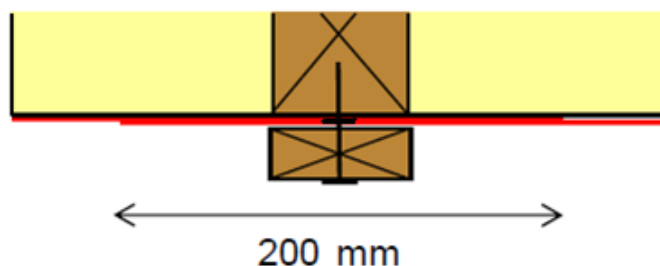
Figur 14. Skarven tejpas över fast material, överlappning minst 100mm (Bygg Erfa, 2010).



Figur 15. Skarven kläms mellan två fasta material, överlappning minst 200 mm (Bygg Erfa, 2010).

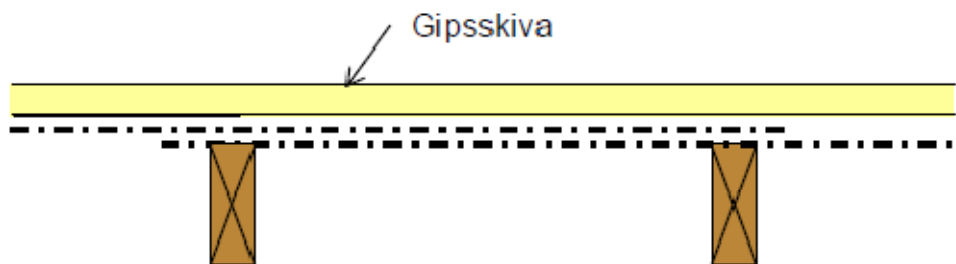


Figur 16. Skarven sätts samman med dubbelhäftande butylband över fast material (Bygg Erfa, 2010).



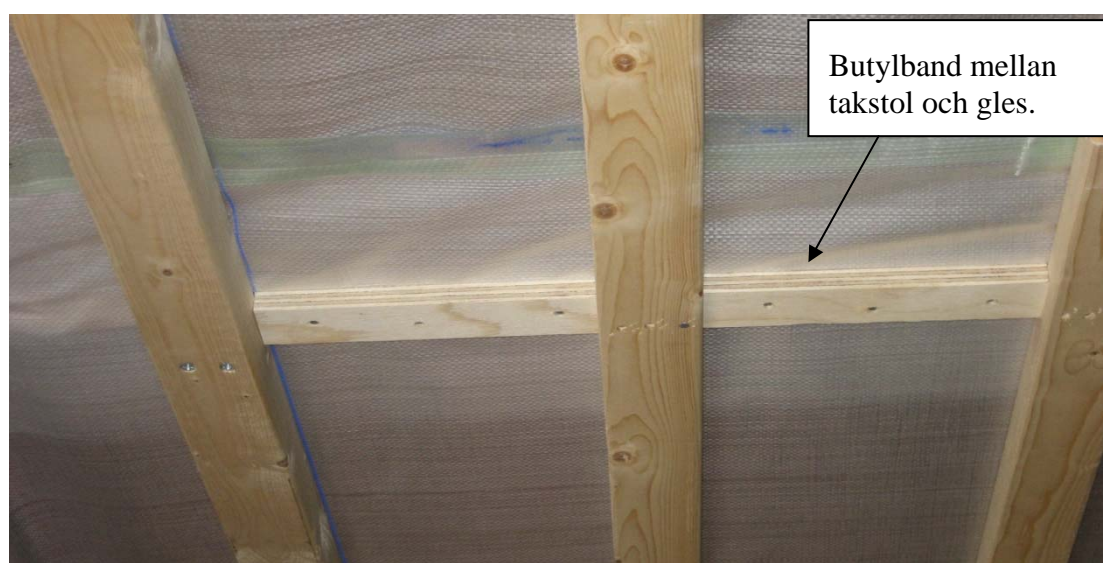
Figur 17. Skarven sätts samman med dubbelhäftande butylband samt kläms mellan två fasta material (exempel från Ellös, Misteröd och Vävstolen).

Om skarvning med endast överlappning förekommer, utan tejp eller butylband, är det önskvärt att överlappningen kläms mellan två regler (se Figur 18). Då minskas risken att luftläckage uppstår när träreglarna torkar och eventuellt deformeras (Wahlgren, 2010).



Figur 18. Överlappning som kläms över två regler (Wahlgren, 2010).

I Misteröd och Ellös har skarvar på vägg tätats med dubbelhäftande butylband samt tejpling vid behov. Skarvarna placerades alltid synliga mitt på vägg för att underlätta tätningsarbetet. Alla skarvar på undersida tak har utförts mot takstolar, även i Vävstolen. Plastskikten har fästs mot varandra med butylband samt klämts mellan takstolar och gles, se Figur 19.



Figur 19. Exempel från Misteröd där skarvar på tak har klämts mellan takstol och gles med butylband (Misteröd 2007).

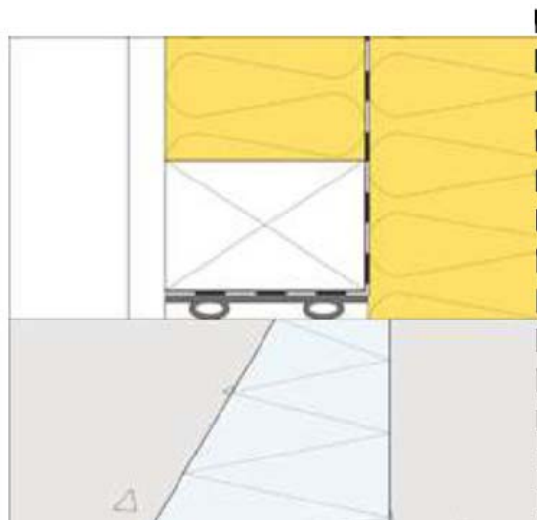
3.2.3 Anslutning mellan platta på mark och yttervägg

Anslutningen mellan platta på mark och yttervägg kan utföras på olika sätt beroende på om installationsskikt förekommer eller inte samt beroende på vad de ingående materialen består av. Viktigt när det gäller alla anslutningar är att de ingående materialen inte påverkar varandra negativt och att alla vidhäftande ytor är väl rengjorda före montering. Anslutningen som behandlas här är den som oftast förekommer i lätta väggkonstruktioner, en trä- eller stålsyll som ansluter mot en betongplatta.

Mellan syll och betongplatta bör syllisolering användas för att skydda mot fuktskador och luftläckage. Syllisoleringen ska vara flexibel för att kunna fylla upp ojämnheter och glipor mellan betongplatta och syll, detta gäller både då trä- och stålsyll används. Det finns olika typer av syllisolering och mätningar på träsyll utförda av SP har visat att en s-list har ca sex gånger större tätande funktion än en extruderad polyetenremsa. S-listen består av polyetenfolie med två stycken o-lister av EPDM-gummi (Wahlgren, 2010).

Betongens ytstruktur har enligt tester redovisade av Sandberg och Sikander (2004) stor inverkan på tätheten även då syllisolering används. Därför bör man sträva efter att uppnå en så jämn betongyta som möjligt där anslutningar finns.

När installationsskikt förekommer är det vanligt att lufttätheten mellan yttervägg och betongplatta säkerställs genom att den indragna plastfolien fortsätter in under installationsskiktets syll och kläms tillsammans med sylltätning, se illustrerande Figur 20 samt 21 nedan.



Figur 20. Genomskärningen av väggen visar plastfolien (streckad linje) som går bakom installationsskiktet och kläms under syll med syllisolering (Isover 2009).



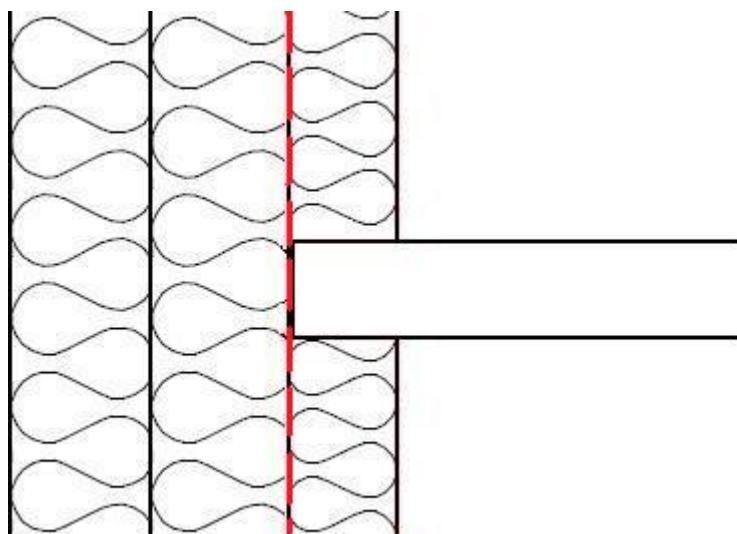
Figur 21. Exempel från Misteröd där plastfolien är klämd under syllen med butylgummi och senare även fogad mot betongen. (Misteröd, 2007).

Misteröd, Ellös och Vävstolen har alla använt sig av denna princip i sina anslutningar där yttervägg möter platta på mark. För att säkerställa lufttätheten ytterligare har plastfolien senare även fogats mot betongen.

3.2.4 Anslutning mellan yttervägg och mellanbjälklag samt mellan yttervägg och yttertak

Anslutningen där mellanbjälklag möter yttervägg kan vara svårutförd och det är ofta denna detalj som nämns som en av de mest kritiska av personer ute på byggarbetsplatser (Sandberg och Sikander, 2004). Även under intervjuerna av produktionschefer/-ledare under detta projekt har denna detalj benämnts som kritisk.

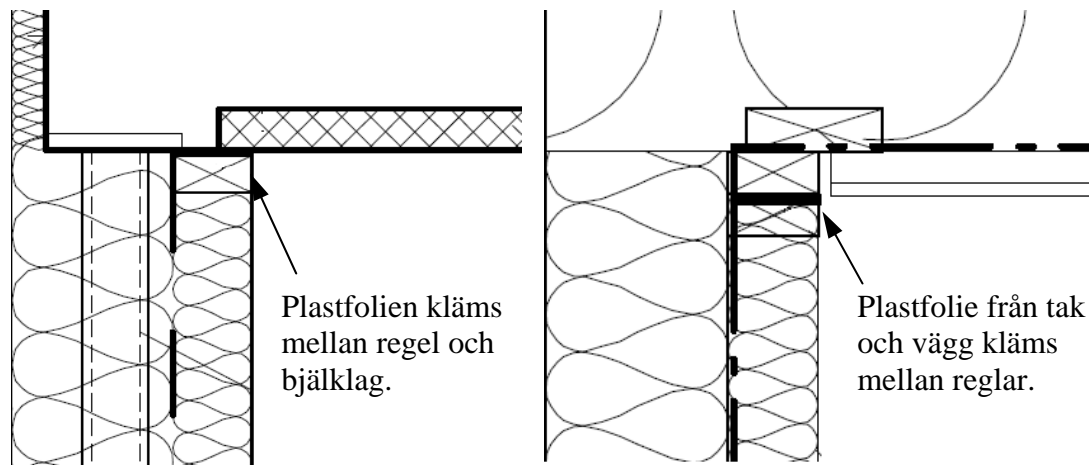
Utförandet av anslutningen där mellanbjälklag möter yttervägg varierar beroende på konstruktion och projektering. Enligt Wahlgren (2010) är det att föredra att ytterväggen har ett heldraget tätskikt förbi mellanbjälklaget, se illustrerande Figur 22 nedan. I många av de projekt som studerats i den här rapporten har dock plastfolien istället skarvats mot mellanbjälklaget.



Figur 22. Exempel på när plastfolien (röd streckad linje) kan löpa kontinuerligt från bottenplan till övre plan utan att skarvas.

Det som gör det svårt att i vissa fall dra ett heldraget tätskikt förbi mellanbjälklaget är att plastfolien inte får placeras längre än en tredjedel in i väggkonstruktionen räknat från den varma sidan, då ökar risken för att kondens bildas i konstruktionen. Då väggisoleringen är tillräckligt tjockt eller då mellanbjälklaget inte sträcker sig för långt ut i väggkonstruktionen kan detta alternativ fungera bra. Det är ofta en fördel om balkarna i bjälklaget löper parallellt med långsidorna vid användning av den här metoden eftersom tätningsarbetet då underlättas.

När plastfolien istället ska skarvas mot mellanbjälklaget kan det göras genom att plastfolien från väggen läggs omlott med plastfolien från taket och sedan kläms mellan regel och bjälklag tillsammans dubbelhäftande butylband. På ovansidan om bjälklaget kläms väggens plastfolie under syll som beskrivet i föregående kapitel. Om bjälklaget består av betong är det även här viktigt med en flexibel tätning mellan betong och regel för att kompensera för otätheter i betongen. Samma princip som i underkant av mellanbjälklaget kan användas där yttervägg ansluter mot yttertak. Nedan i Figur 23a och b visas exempel på när yttervägg ansluter mot mellanbjälklag respektive yttertak.



Figur 23a och b. I Figur a ansluter yttervägg mot mellanbjälklag av betong. Plastfolien från vägg respektive tak ligger omlott med varandra och kläms mellan regel och betongbjälklag tillsammans med butylband och fogmassa (k-ritning Ellös, 2009). I Figur b ansluter yttervägg mot yttertak. Plastfolien från vägg respektive tak kläms mellan två regler tillsammans med butylband (k-ritning Misteröd, 2007).

3.2.5 Fönsteranslutning

Fönsteranslutningen är en betydelsefull detalj för lufttäteten i byggnader och ofta läggs en relativt stor arbetsinsats ned på momentet (Mattsson, 2004). Även detta är en detalj som upplevs som kritisk ute på byggarbetsplatser (Sandberg och Sikander, 2004). Det som är avgörande för hur stort luftläckaget blir kring anslutningen är plastfoliens avslutning kring fönsteröppningen samt tätningsprincipen.

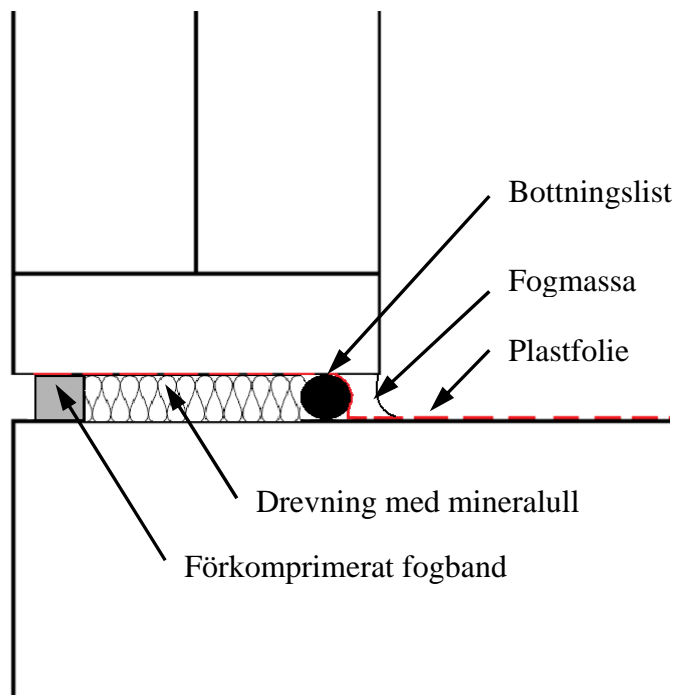
En vanlig lösning för att uppnå en lufttät anslutning kring fönster är att plastfolien från väggen viks in i fönstersmygen och avslutas i kant med karmens insida eller något längre in, tillsammans med en mjukfog. För att vika in plastfolien i smygen krävs att plastfolien skärs upp en bit och glipor i hörnen av smygen bildas. Därför måste komplettering med plastbitar göras i hörnen, se Figur 24b nedan. Mätningar visar att läckaget bli 4-10 gånger större om ingen komplettering av plastfolien sker i hörnen (Johansson, 2004).

För att säkerställa lufttäteten kring fönsteranslutningar kan ytterligare åtgärder göras. I Misteröd, Ellös och Vävstolen har plastfolie fästs mot fönsterkarmen före fönstrets montering i väggen, se Figur 25a nedan. När karmen monteras i fönstret fästs sedan karmens plastfolie mot väggens plastfolie, även detta kan göras med dubbelhäftande butylband eller med ålderbeständig tejp.



Figur 24a och b. Figur a visar plastfolien som är fastsatt på fönsterkarmen före monteringen av fönstret (Ellös, 2009). I Figur b är fönstret monterat och kompletterande plastfolie i fönsterhörn är på plats (Misteröd, 2007).

Figurerna nedan visar tätningen kring en fönsteranslutning i Ellös. Figur 25 är en principskiss över utförandet. Här används en bottningslist i hörnet mellan fönsterkarmen och fönstersmygen, som placeras bakom plastfolien, se Figur 26a. Plastfolien viks sedan över bottningslistan och därefter mjukfogas det i hörnet mellan fönsterkarm och plastfolie, se Figur 26b. Ytterligare har sväldrev och drev använts mellan karm och yttervägg.



Figur 25. Principskiss på fönstertätning i Ellös och Misteröd.



Figur 26a och b. Fönsteranslutning från Ellös. Figur a visar en bottningslist som placeras i hörnet mellan karm och smyg, bakom plastfolien. Plastfolien viks sedan över bottningslisten och Figur b visar den mjukfog som lagts i skarven mellan karm och plastfolie (Misteröd, 2007).

3.3 Beständighet

Eftersom tätskiktet i en byggnad antagligen aldrig kommer bytas ut är det viktigt att det fortsätter vara beständigt under hela sin livslängd. Därför måste alla de ingående materialen som plastfolie, tejp, fogmassor m.m. ha god åldersbeständighet även var för sig. Som nämnts tidigare måste även hänsyn tas till att de olika materialen inte påverkar varandra negativt. De måste dessutom klara av de tryckskillnader och rörelser som uppkommer i konstruktionen.

Plasten exponeras ofta mycket under byggprojektets gång och det är lätt hänt att plastskiktet skadas. Ibland dras plastfolien ut på golv eller vid tak i väntan på att väggen ska byggas färdigt och dessa plastbitar kommer lätt till skada. Det är därför viktigt att alla yrkesarbetare och entreprenörer blir informerade om plastfoliens betydelse för att undvika skador i tätskiktet (Wahlgren, 2010).

4 Intervjustudie och inventering

Syftet med intervjustudien har varit att kartlägga det lufttäthetsarbete som utförts i de studerade projekten för att sedan jämföra detta med de uppmätta lufttäthetsvärdena för respektive projekt. Genom att intervjua tjänstemän som arbetat i produktionen i projekten har en verklig bild över utförandet kunnat fås och ett underlag för den jämförande studien har kunnat tas fram. Även en inventering och insamling av information kring projekten har gjorts genom a-ritningar, k-ritningar, boendekataloger samt muntligt inom Skanska Teknik.

De projekt som ingår i studien omfattar småhus i främst Göteborgsregionen där provtryckningar utförts och ett lufttäthetsresultat finns att tillgå. Studien omfattar hus med varierande luftläckage på 0,07 – 0,8 l/sm² samt med varierande fokus på lufttäthet. Totalt innefattar det 28 olika lufttäthetsresultat som ingår i 11 olika projekt. Det innebär att vissa mätningar ingår i samma projekt eftersom ett flertal provtryckningar gjorts inom samma projekt.

4.1 Tillvägagångssätt

Totalt har nio intervjuer utförts med produktionschefer eller produktionsledare för respektive projekt genom möten ute på arbetsplatsen. Inför intervjuerna har ett frågeformulär tagits fram och samma frågor har ställts till samtliga intervjuade för att få ett gemensamt underlag inför den jämförande studien. Intervjuunderlaget har främst tagits fram i samarbete med Ene Lindén som är konstruktör på avdelningen Hus och Bostad inom Skanska Teknik och väl insatt i lufttäthetsfrågorna. Även information från litteraturstudien har använts för att ta fram intervjuunderlaget.

Frågorna är utformade för att kartlägga dels förutsättningarna för projektet, d.v.s. vilka krav som ställts av beställaren, vilken erfarenhet medarbetarna haft, vilket engagemang som funnits i produktionen samt hur stort fokus som legat på lufttäthet genom projektets gång. Den största delen av frågorna har sedan handlat om hur olika konstruktionsdetaljer med avseende på lufttäthet är utförda. Fokus har främst legat på skarvar, genomföringar samt anslutningar, d.v.s. typiska riskställen för luftläckage. Till sist ställdes övriga frågor för att få en bättre bild över speciella omständigheter som kunnat påverka den slutliga lufttätheten i byggnaderna. Svaren som givits i intervjuerna finns presenterade i kapitel 4.3 *Sammanställning av projekten*. I nästa kapitel redovisas de frågor som ingått i intervjuerna.

4.2 Intervjufrågor

Följande frågor besvarades i intervjuer med produktionschefer eller produktionsledare för respektive projekt. Frågorna är uppdelade i tre kategorier: *Förutsättningar*, *utförande* samt *övrigt*. I kategorin *Uppkommet under intervjuerna* presenteras andra frågor som framkom under intervjuerna som relevanta för lufttäteten och som senare använts i studien.

Förutsättningar

- Hur stort fokus har funnits på lufttäteten genom projektets gång?
 - 1 2 3 4
 - 1 motsvarar ”ingen diskussion kring lufttäteten förekom”.
 - 4 motsvarar ”lufttäteten har varit mycket central genom hela projektet”.
- Vilket täthetskrav ställde beställaren?
- Vad blev det slutliga lufttäthetsresultatet?
- Hur är lufttäteten fördelad?
- Vilken typ av utbildning/information fick yrkesarbetarna resp. arbetsledningen gällande lufttätet före samt under projektets gång?
- Var medarbetarna på något sätt specialiserade på lufttätet? Hade de exempelvis erfarenhet från tidigare projekt med hög fokus på lufttätet?
- Hur var engagemanget/motivationen hos medarbetarna inför täthetsarbetet?
 - 1 2 3
 - 1= Bristande motivation, tätningen uppfattades som besvärlig.
 - 2= God motivation, tätningen uppfattas som ett moment som vilket annat.
 - 3= Mycket god motivation, tätningen uppfattas som ett viktigt och utmanande moment.

Utförandet

- Är plastfolien i väggarna placerad innanför installationerna i ett s.k. installationsskikt?
- Finns det FTX-system i byggnaden som bidrar till ökat antal genomföringar för tilluftskanaler i tak?
- Hur utfördes genomföringar för kanaler/rör i vägg/tak?
- Hur utfördes genomföringar för eldosor?

- Hur utfördes skarvar mitt på vägg alt. mitt på tak?
- Hur utfördes anslutningen platta på mark - yttervägg?
- Hur utfördes anslutningen mellanbjälklag - yttervägg?
- Hur utfördes anslutningen tak - yttervägg?
- Hur utfördes anslutningen fönster - yttervägg?
- Hur tätades det under dörrtrösklar?
- Finns vindsluckor upp mot kallvind? Om ja, hur säkrades tätheten runt dessa?
- Finns det spotlights installerade i yttertak eller tak upp mot kallvind? Om ja, hur säkrades tätheten runt dessa?

Övrigt

- Gjordes någon tidig läckagesökning? Om ja, var i konstruktionen upptäcktes läckage?
- Kan de luftläckage som upptäcktes kopplas till en svårutförd tätningsmetod?
- Fanns det någon speciell anslutning/genomföring som du upplevde kritisk med tanke på lufttätheten?
- Finns det något annat i projektet som har utgjort en svårighet eller haft en påverkan på den slutliga lufttätheten?

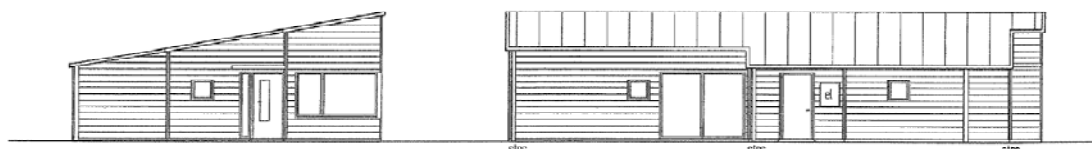
Uppkommet under intervjuerna

- Referensprojekt. Har något annat projekt använts som förebild och bidragit med lösningar till projektet?
- Är de olika elementen prefabricerade? Det kan i så fall innebära en osäkerhet kring hur tätningen i elementen utförts.

4.3 Sammanställning av projekten

Här presenteras en sammanställning av de olika projekt som undersökts. Sammanställningen består av den information som framkommit under intervjuer med produktionschefer och produktionsledare samt även från inventeringar. Projekten presenteras i bokstavsordning och en fasadritning visas för respektive projekt för att ge en överblick över husets utformning. I tabellen presenteras sedan informationen i tre olika kategorier; *Husbeskrivning*, *Lufttäthet* samt *Utförande*.

Aröds Äng, Hus C8



Figur 27. Fasadritning hus C8, Aröds Äng.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Friliggande villa	Installationsskikt	Ja
Antal plan	1	FTX-system	Ja
Prefab	Ja	Vindsluckor	Nej
Area	97 m ²	Spotlights	Nej
Material	Panel på träregelstomme.	Genomföringar för rör, kanaler och eldosor	Opreciserat/mindre hål i plastfolien + tejpnig.
Lufttäthet		Skarvar	300 mm överlapp.
Resultat [l/sm ²]	0,31	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien slutar i nivå med syll + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,50	Tak - yttervägg	Överlapp med klämning.
Fokus	3	Fönster - yttervägg	Plastfolie invikt i smyg. Svällrev och drev.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Dörrtrösklar	Drev, fogning och grundisoleringsfoam.
Referensprojekt	Nej	Tidig läckagesökning	Ja
Engagemang/motivation i produktionen	2		

Bokporten, Eklanda F, Hus 4



Figur 28. Fasadritning hus 4, Bokporten.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Parhus	Installationsskikt	Nej
Antal plan	2 + vind	FTX-system	Ja
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	112 m ²	Spotlights	Ja
Material	Panel på träregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Opreciserat hål i plastfolien.
		Genomföringar eldosor	Mindre åtstramande hål i plastfolien.
Lufttäthet		Skarvar	Omlott 400 mm. Tejpning i tak.
Resultat [l/sm ²]	0,62	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien fortsätter in 200 mm under golv i 60 % av fallen + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien fortsätter in under golv på ovansidan. Överlapp 100 - 200 mm på undersidan.
Fokus	1	Tak - yttervägg	150 mm omlott. Plasten är klämd med plåtvinkel.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönstren. Fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drev och fogning.
Engagemang/ motivation i produktionen	1	Tidig läckagesökning	Nej

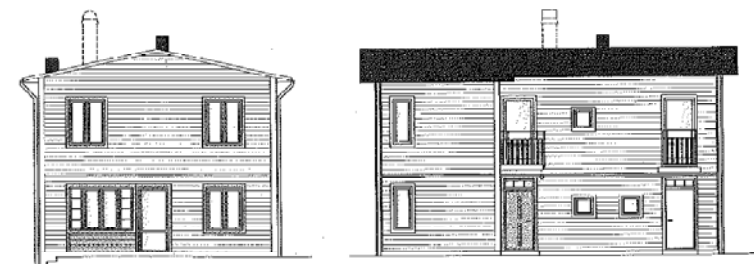
Bokporten, Eklanda F, Hus 15



Figur 29. Fasadritning hus 15, Bokporten.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Parhus	Installationsskikt	Nej
Antal plan	2 + vind	FTX-system	Ja
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	150 m ²	Spotlights	Ja
Material	Panel på träregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Mindre åtstramande hål i plastfolien + tejpling vid behov.
		Genomföringar eldosor	Mindre åtstramande hål i plastfolien.
Lufttäthet		Skarvar	Omlott 400 mm. Tejpning i tak.
Resultat [l/sm ²]	0,47	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien fortsätter in 200 mm under golv i 60 % av fallen + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien fortsätter in under golv på ovansidan. Klämning med plåtvinkel på undersidan.
Fokus	1	Tak - yttervägg	150 mm omlott. Plasten är klämd med plåtvinkel.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönstren. Fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drev och fogning.
Engagemang/ motivation i produktionen	1	Tidig läckagesökning	Nej

Eklanda I, Allévillan



Figur 30. Fasadritning Allévillan. Eklanda I.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Friliggande villa	Installationsskikt	Nej
Antal plan	2	FTX-system	Ja
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	149 m ²	Spotlights	Ja
Material	Panel på träregelstomme.	Genomföringar för kanaler, rör och eldosor	Mindre åtstramande hål i plastfolien + tejpnig vid behov.
Lufttätet		Skarvar	Omlott 300 mm.
Resultat [l/sm ²]	0,53	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien fortsätter in 200 mm under golv + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien fortsätter in under golv på ovansidan. Överlapp 300 mm på undersidan. Skarv på höjden på plan 1 pga. takhöjd 2,60 m.
Fokus	2	Tak - yttervägg	300 mm omlott.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttätet.	Vissa yrkesarbetare har tidigare byggt passivhus.	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönstren. Fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drevning och fogning.
Engagemang/motivation i produktionen	1	Tidig läckagesökning	Ja

Eklanda Etapp I, Platåvillan hus 9, 11 och 13



Figur 31. Fasadritning Platåvillan, Eklanda I.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Parhus med knopp	Installationsskikt	Nej
Antal plan	3	FTX-system	Ja
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	174 m ²	Spotlights	Ja
Material	Panel på träregelestomme.	Genomföringar för kanaler, rör och eldosor	Mindre åtstramande hål i plastfolien + tejpning vid behov.
Lufttäthet		Skarvar	Omlott 300 mm.
Resultat [l/sm ²]	Hus 9: 0,80 Hus 11: 0,78 Hus 13: 0,78	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien fortsätter in 200 mm under golv + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	Plan 1: Plastfolien fortsätter in under golv på ovansidan. Överlapp 300 mm med plast från tak på undersidan. Skarv på höjden på plan 1 pga. takhöjd 2,60 m. Plan 2: Klämning och fogning mot kertobalk ⁷ på undersidan. Plastfolien fortsätter in under golv på ovansidan.
Fokus	2	Tak - yttervägg	300 mm omlott.

⁷ Fanerträbalk med goda styrke- och styvhetsgenskaper.

Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttätthet.	Vissa yrkesarbetare har tidigare byggt passivhus.	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönstren. Fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drevning och fogning.
Engagemang/ motivation i produktionen	1	Tidig läckagesökning	Ja

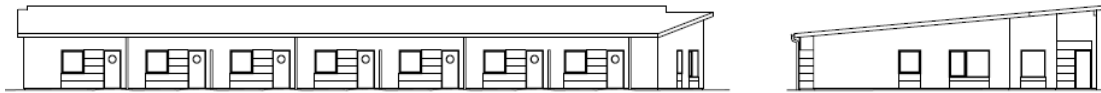
Eklanda J, Lambda parhus 20 och 21



Figur 32. Fasadritning Lambda parhus, Eklanda J.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Parhus	Installationsskikt	Nej
Antal plan	2 + vind	FTX-system	Ja
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	126 m ²	Spotlights	Ja
Material	Panel på träregelstomme.	Genomföringar för kanaler, rör och eldosor	Mindre åtstramande hål i plastfolien + tejpning vid behov.
Lufttätethet		Skarvar	Omlott 300 mm.
Resultat [l/sm ²]	Hus 20: 0,62 Hus 21: 0,76	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien fortsätter in 200 mm under golv. Sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien fortsätter in under golv på ovansidan. Överlapp 300 mm på undersidan. Skarv på höjden på plan 1 pga. takhöjd 2,60 m.
Fokus	2	Tak - yttervägg	300 mm omlott.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttätethet.	Vissa yrkesarbetare har tidigare byggt passivhus.	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönstren. Fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drevning och fogning.
Engagemang/motivation i produktionen	1	Tidig läckagesökning	Ja

Ellös, Hus 08



Figur 33. Fasadritning hus 08, Ellös.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Radhus Passivhus	Installationsskikt	Ja
Antal plan	1	FTX-system	Ja
Prefab	Nej	Vindsluckor	Nej
Area	Lgh A: 62m ² Lgh G: 88m ² (Hörnlägenheter)	Spotlights	Nej
Material	Panel på trä- och stålregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Endast tre genomföringar per lgh. Plåtstos, dubbelhäftande butylband mellan stos och plastfolie, fogmassa runt röret/kanalen.
Lufttätethet		Skarvar	300 – 600 mm överlapp + butylband + tejpning
Resultat [l/sm ²]	Lgh A: 0,132 Lgh G: 0,15		
Krav [l/sm ²]	0,30	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien är invikt under syll och klämd mot betong med butylband. Fogning. Sylltätning under yttre stommen.
Fokus	4	Tak - yttervägg	Plastfolien ligger omlott 400 mm och är klämd med regel.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttätethet.	Ja både tjänstemän och yrkesarbetare.	Fönster - yttervägg	Fönster plastade före insättning. Plasten är invikt i smyg. Svälldrev, drev, bottningslist fog.
Referensprojekt	Ja, Misteröd.	Dörrtrösklar	Svälldrev + varierande lösningar.
Engagemang/ motivation i produktionen	3	Tidig läckagesökning	Ja

Ellös, Hus 10



Figur 34. Fasadritning hus 10, Ellös.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Radhus Passivhus	Installationsskikt	Ja
Antal plan	1	FTX-system	Ja
Prefab	Nej	Vindsluckor	Nej
Area	Lgh D: 80 m ² Hörnlägenhet	Spotlights	Nej
Material	Panel på trä- och stålregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Tre genomföringar per lgh. Plåstos, dubbelhäftande butylband mellan stos och plastfolie, fogmassa runt röret/kanalen.
Lufttäthet		Skarvar	300 – 600 mm överlapp + butylband + tejpnig.
Resultat [l/sm ²]	Lgh D: 0,165		
Krav [l/sm ²]	0,30	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien är invikt under syll och klämd mot betong med butylband. Fogning. Sylltätning under yttre stommen.
Fokus	4	Tak - yttervägg	Plastfolien ligger omlott 400 mm och är klämd med regel.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Ja både tjänstemän och yrkesarbetare.	Fönster - yttervägg	Fönster plastade före insättning. Platen är invikt i smyg. Svälldrev, drev, bottningslist och fog.
Referensprojekt	Ja, Misteröd.	Dörrtrösklar	Svälldrev + varierande lösningar.
Engagemang/ motivation i produktionen lufttätningen	3	Tidig läckagesökning	Ja

Ellös, Hus 12



Figur 35. Fasadritning hus 12, Ellös.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Radhus Passivhus	Installationsskikt	Ja
Antal plan	2	FTX-system	Ja
Prefab	Nej	Vindsluckor	Nej
Area	Lgh A: 95 m ² Hörmlägenhet	Spotlights	Nej
Material	Panel på trä- och stålregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Endast tre genomföringar per lgh. Plåtstos, dubbelhäftande butylband mellan stos och plastfolie, fogmassa runt röret/kanalen.
Lufttäthet		Skarvar	300 – 600 mm överlapp + butylband + tejpning.
Resultat [l/sm ²]	Lgh A: 0,077	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien är invikt under syll och klämd mot betong med butylband. Fogning. Sylltätning under yttre stommen.
Krav [l/sm ²]	0,30	Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien slutar under samt över mellanbjälklag och är klämd med terostattejp.
Fokus	4	Tak - yttervägg	Plastfolien ligger omlott 400 mm och är klämd med regel.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Ja både tjänstemän och yrkesarbetare.	Fönster - yttervägg	Fönstret var plastat före insättning. Plasten är invikt i smyg. Svälldrev, drev, bottningslist och fog.

Referensprojekt	Misteröd	Dörrtrösklar	Svälldrev + varierande lösningar.
Engagemang/ motivation i produktionen	3	Tidig läckagesökning	Ja

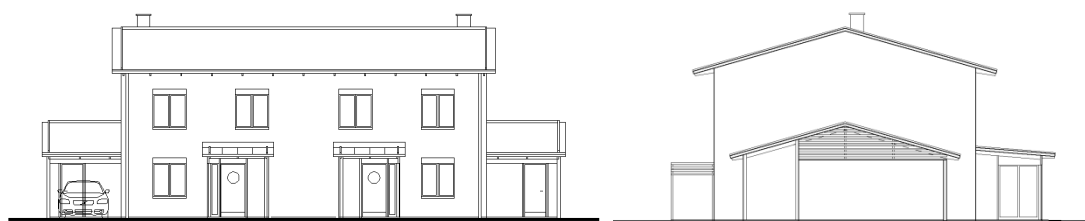
Misteröd, Hus I



Figur 36. Fasadritning hus I, Misteröd.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Radhus Passivhus	Installationsskikt	Ja
Antal plan	1	FTX-system	Ja
Prefab	Nej	Vindsluckor	Nej
Area	Lgh 16: 71 m ² Lgh 17: 71 m ² Lgh 18: 85 m ²	Spotlights	Nej
Material	Panel på träregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Tre genomföringar per lgh. Plåtstos, dubbelhäftande butylband mellan stos och plastfolie, fogmassa runt röret/kanalen.
Lufttäthet		Skarvar	300 – 600 mm överlapp + butylband + tejpning.
Resultat [l/sm ²]	Lgh 16: 0,13 Lgh 17: 0,14 Lgh 18: 0,11		
Krav [l/sm ²]	0,30	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien är invikt under syll och klämd mot betong med butylband. Fogning. Sylltätning under yttre stommen.
Fokus	4	Tak - yttervägg	Plastfolien ligger omlott 400 mm och är klämd med regel.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Fönster plastat före insättning. Platen är invikt i smyg. Svälldrev, drev, bottningslist och fog.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Svälldrev + varierande lösningar.
Engagemang/ motivation i produktionen	3	Tidig läckagesökning	Nej

1. Misteröd, Hus F

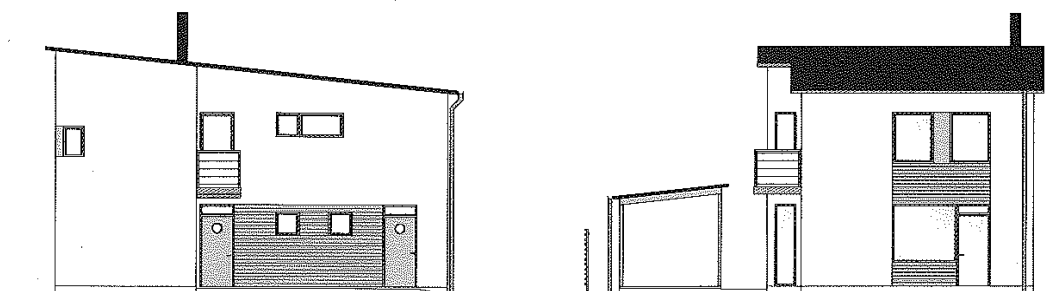


Figur 37. Fasadritning hus F, Misteröd.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Parhus Passivhus	Installationsskikt	Ja
Antal plan	2	FTX-system	Ja
Prefab	Nej	Vindsluckor	Nej
Area	Lgh 10: 114 m ²	Spotlights	Nej
Material	Panel på trä- och stålregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Endast tre genomföringar per lgh. Plåtstos, dubbelhäftande butylband mellan stös och plastfolie, fogmassa runt röret/kanalen.
Lufttäthet		Skarvar	300 – 600 mm överlapp. Terostat 81 och tejpning.
Resultat [l/sm ²]	0,14	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien är invikt under syll och klämd mot betong med butylband. Fogning. Sylltätning under yttre stommen.
Krav [l/sm ²]	0,30	Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien slutar under samt över mellanbjälklag och är klämd med terostattejp.
Fokus	4	Tak - yttervägg	Plastfolien ligger omlott 400 mm och är klämd med regel.

Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttätet.	Nej	Fönster - yttervägg	Fönstret var plastat före insättning. Plasten är invikt i smyg. Svälldrev, drev, bottningslist och fog.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Svälldrev + varierande lösningar.
Engagemang/ motivation i produktionen	3	Tidig läckagesökning	Nej

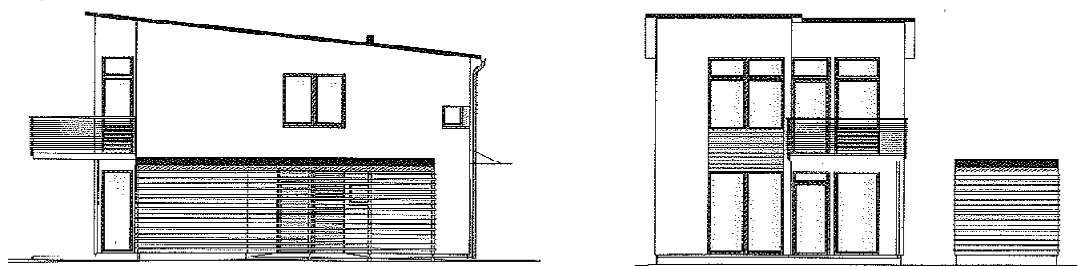
Trollåsen, Villa Endungen



Figur 38. Fasadritning Villa Endungen, Trollåsen.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Friliggande villa	Installationsskikt	Nej
Antal plan	2	FTX-system	Nej
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	150 m ²	Spotlights	Nej
Material	Puts på cellplast, enstegstätning.	Genomföringar kanaler, rör och eldosor	Mindre åtstramande hål i plastfolien + tejpning vid behov.
Lufttäthet		Skarvar	500 mm överlapp.
Resultat [l/sm ²]	0,50	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien slutar i nivå med syll + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien slutar över respektive under bjälklaget. Överlapp 150 mm.
Fokus	1	Tak - yttervägg	Endast omlott.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Plastfolien är invikt i smyg + fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drev och fog (gäller inte alla balkongdörrar).
Engagemang/motivation i produktionen	2	Tidig läckagesökning	Ja

Trollåsen, Villa Talldungen



Figur 39. Fasadritning villa Talldungen, Trollåsen.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Friliggande villa	Installationsskikt	Nej
Antal plan	2	FTX-system	Nej
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	135 m ²	Spotlights	Nej
Material	Puts på cellplast, enstegstätning.	Genomföringar kanaler, rör och eldosor	Mindre åtstramande hål i plastfolien + tejpling vid behov.
Lufttäthet		Skarvar	500 mm överlapp.
Resultat [l/sm ²]	0,39	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien slutar i nivå med syll. Sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien slutar över respektive under bjälklaget. Överlapp 150 mm.
Fokus	1	Tak - yttervägg	Omlott .
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Plastfolien är invikt i smyg. Fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drev och fog (gäller inte alla balkongdörrar).
Engagemang/ motivation i produktionen	2	Tidig läckagesökning	Ja

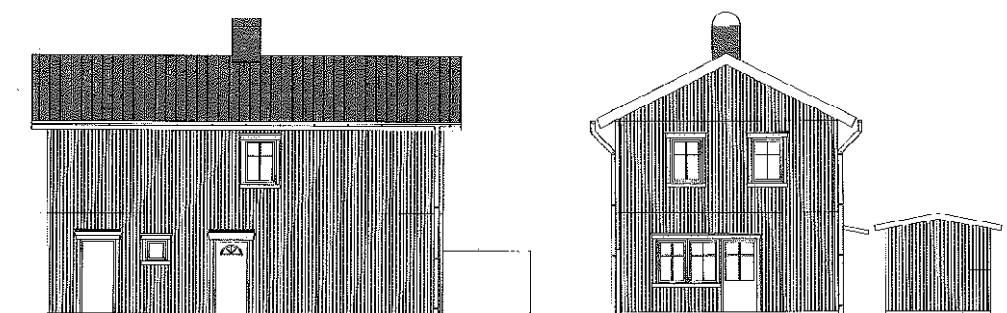
Ullstorp Bergegård, Villa Alfa, Hus 9



Figur 40. Fasadritning Villa Alfa, Ullstorp Bergegård.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Friliggande villa	Installationsskikt	Ja
Antal plan	2	FTX-system	Ja
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	149 m ²	Spotlights	Ja
Material	Panel på träregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Mindre åtstramande hål i plastfolien + tejpning vid behov.
Lufttäthet		Skarvar	400 mm överlapp.
Resultat [l/sm ²]	0,33	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien är invikt under syll och klämd mot betongen + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	En extra bit vindpapp finns runt bjälklagskanten och ligger omlott samt är klämd med platen från väggen.
Fokus	3	Tak - yttervägg	150 mm överlapp och klämning med plåtvinkel.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönster. Fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drev och fog.
Engagemang/ motivation i produktionen	3	Tidig läckagesökning	Nej

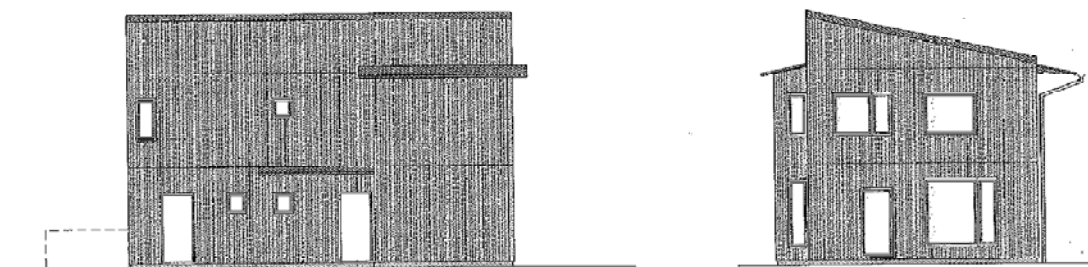
Ullstorp Bergegård, Villa Beta, Hus 16



Figur 41. Fasadritningar Villa Beta, Ullstorp Bergegård.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Friliggande villa	Installationsskikt	Ja
Antal plan	2	FTX-system	Ja
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	121 m ²	Spotlights	Ja
Material	Panel på träregelestomme	Genomföringar kanaler och rör	Mindre åtstramande hål i plastfolien + tejpning vid behov.
Lufttäthet		Skarvar	400 mm överlapp.
Resultat [l/sm ²]	0,65	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien är invikt under syll och klämd mot betongen + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	En extra bit vindpapp finns runt bjälklagskanten och ligger omlott samt är klämd med platen från väggen.
Fokus	3	Tak - yttervägg	150 mm överlapp och klämning med plåtvinkel.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönster. Fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drev och fog.
Engagemang/ motivation i produktionen	3	Tidig läckagesökning	Nej

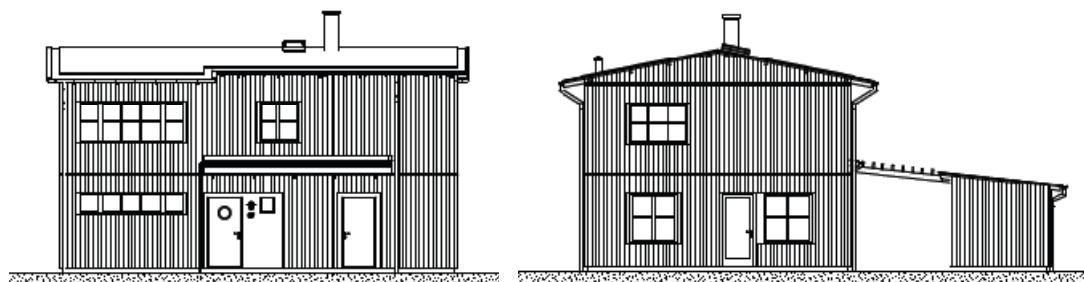
Ullstorp Ekegård, Villa Skogsbacken



Figur 42. Fasadritning Villa Skogsbacken, Ullstorp Ekegård.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Friliggande villa	Installationsskikt	Ja
Antal plan	2	FTX-system	Nej
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	149 m ²	Spotlights	Ja
Material	Panel på träregelstomme	Genomföringar kanaler och rör	Mindre åtstramande hål i plastfolien + tejpning vid behov.
Lufttäthet		Skarvar	400 mm överlapp.
Resultat [l/sm ²]	0,36	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien är invikt under syll och klämd mot betongen + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	En extra bit vindpapp finns runt bjälklagskanten och ligger omlott samt är klämd med folien från väggen.
Fokus	3	Tak - yttervägg	150 mm överlapp och klämning med plåtvinkel.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönster. Fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drev och fog.
Engagemang/ motivation i produktionen	3	Tidig läckagesökning	Nej

Valda, Villa Alfa Veranda



Figur 43. Fasadritning Villa Alfa, Valda.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Friliggande villa	Installationsskikt	Ja
Antal plan	2	FTX-system	Nej
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	135 m ²	Spotlights	Nej
Material	Panel på träregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Mindre åtstramande hål i plastfolien + tejpning vid behov.
Lufttäthet		Skarvar	300 – 400 mm överlapp + tejpning.
Resultat [l/sm ²]	0,25	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien fortsätter in under golv + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien löper kontinuerligt från nedre till övre våningsplan.
Fokus	3	Tak - yttervägg	Plastfolien ligger omlott och är tejpad.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Ja, produktionschefen.	Fönster - yttervägg	Plastfolie invikt i smyg + fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Grundisoleringsfoam och drevning.
Engagemang/ motivation i produktionen	2	Tidig läckagesökning	Nej

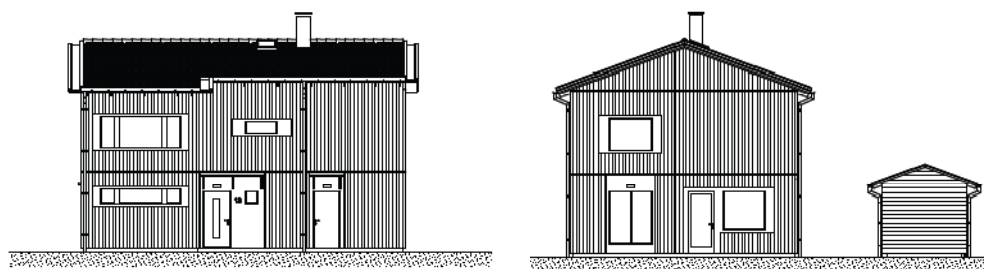
Vävstolen, Karlskoga



Figur 44. Fasadritningar Vävstolen, Karlskoga

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Gruppboende Lågenergihus	Installationsskikt	Ja
Antal plan	1	FTX-system	Ja
Prefab	Nej	Vindsluckor	Nej
Area	1090 m ²	Spotlights	Nej
Material	Panel på trä- och stålregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Plåtstos runt genomföringarna. Plastfolien kläms mot plywoodskiva med dubbelhäftande butylband. Tejpning vid behov.
Lufttätethet		Skarvar	300 – 400 mm överlapp. Klämning med butylband.
Resultat [l/sm ²]	Lgh D: 0,23	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien är invikt under syll och klämd mot betong med butylband. Fogning. Sylltätning under yttre stommen.
Krav [l/sm ²]	0,30	Tak - yttervägg	Plastfolien ligger omlott 300 - 400 mm och är klämd med regel.
Fokus	4	Fönster - yttervägg	Fönstret var plastat före insättning. Plasten är invikt i smyg. Svälldrev och butylgummi.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttätethet.	Nej	Dörrtrösklar	Svälldrev
Referensprojekt	Misteröd och Ellös.	Tidig läckagesökning	Ja
Engagemang/ motivation i produktionen	3		

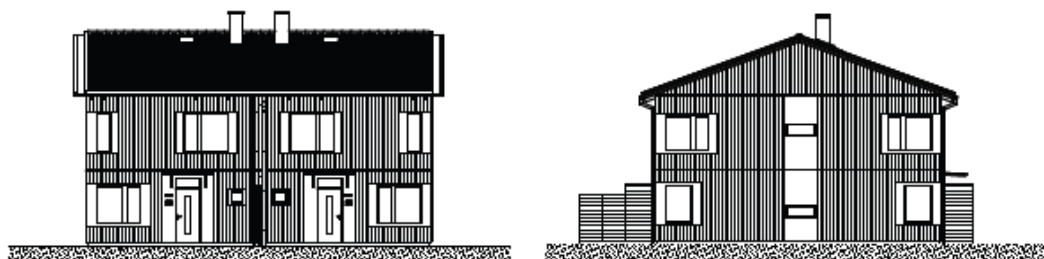
Öjersjö Park, Hus 6



Figur 45. Fasadritningar hus 6, Öjersjö Park.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Friliggande villa	Installationsskikt	Nej
Antal plan	2	FTX-system	Nej
Prefab	Endast bjälklag	Vindsluckor	Ja
Area	180 m ²	Spotlights	Ja
Material	Panel på träregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Opreciserat hål i plastfolien + tejpning.
		Genomföringar eldosor	Mindre åtstramande hål i plastfolien.
Lufttäthet		Skarvar	Överlappning.
Resultat [l/sm ²]	0,25	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien fortsätter in under golv.
Krav [l/sm ²]	0,60	Mellanbjälklag - yttervägg	Vindpapp finns runt bjälklagskanten och ligger omlott 300 mm samt är klämd på undersidan. Plasten fortsätter in under golv på ovansidan.
Fokus	3	Tak - yttervägg	300 mm omlott.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönstren. Svällband, fog samt tätande fönsterbänk.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Svällband och bottningslist. Endast fog på balkongdörrar
Engagemang/ motivation i produktionen	1	Tidig läckagesökning	Nej

Öjersjö Park, Hus 21



Figur 46. Fasadritning hus 21, Öjersjö Park.

Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Parhus	Installationsskikt	Nej
Antal plan	2 + vind	FTX-system	Nej
Prefab	Endast bjälklag	Vindsluckor	Ja
Area	132 m ²	Spotlights	Ja
Material	Panel på träregelstomme.	Genomföringar kanaler och rör	Opreciserat hål i plastfolien + tejpling.
		Genomföringar eldosor	Mindre åtstramande hål i plastfolien.
Lufttäthet		Skarvar	Överlappning.
Resultat [l/sm ²]	0,38	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien fortsätter in under golv.
Krav [l/sm ²]	0,60	Mellanbjälklag - yttervägg	Vindpapp finns runt bjälklagskanten och ligger omlott 300 mm samt är klämd på undersidan. Plasten fortsätter in under golv på ovansidan.
Fokus	3	Tak - yttervägg	300 mm omlott.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönstren. Svällband, fog samt tätande fönsterbänk.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Svällband och bottningslist. Endast fog på balkongdörrar
Engagemang/ motivation i produktionen	1	Tidig läckagesökning	Ja

Övre Kviberg

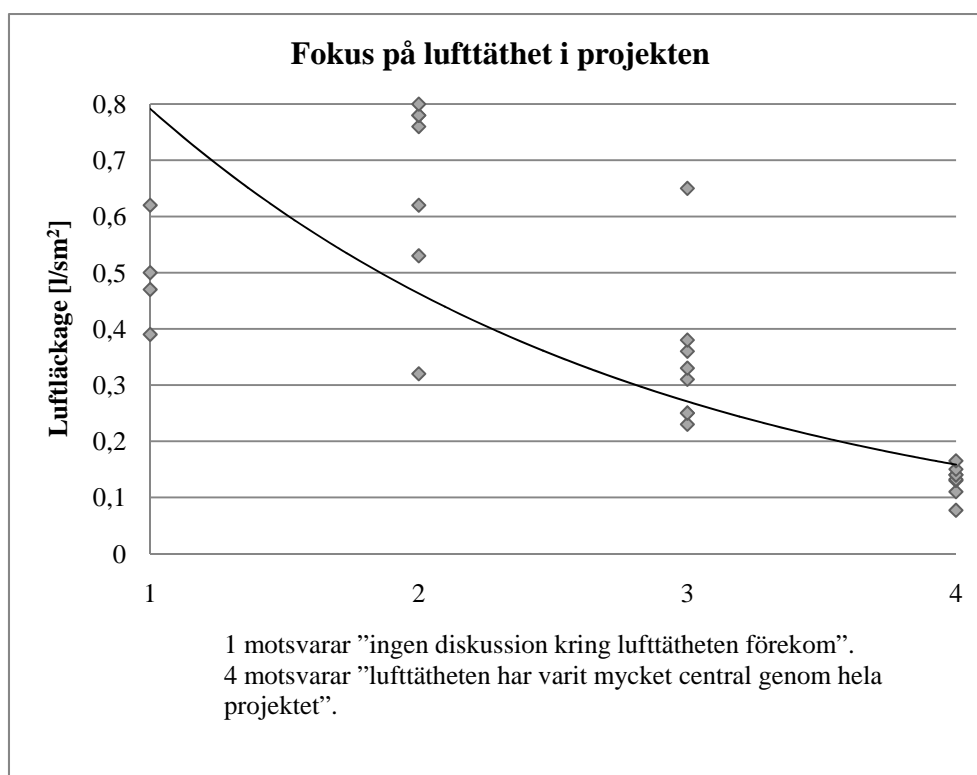
Husbeskrivning		Utförande	
Typ	Friliggande villa	Installationsskikt	Ja
Antal plan	2	FTX-system	Nej
Prefab	Ja	Vindsluckor	Ja
Area	124 m ²	Spotlights	Nej
Material	Träpanel samt puts på cellplast.	Genomföringar kanaler, rör och eldosor	Mindre åtstramande hål i plastfolien.
Lufttäthet		Skarvar	Omlott 200 – 600 mm. Klämda skarvar.
Resultat [l/sm ²]	0,32	Platta på mark - yttervägg	Plastfolien slutar i nivå med syll + sylltätning.
Krav [l/sm ²]	0,80	Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien löper kontinuerligt från plan ett till två, men är uppskuren och tejpad kring balkar.
Fokus	2	Tak - yttervägg	200 – 500 mm omlott med klämning.
Erfarenhet från tidigare projekt med fokus på lufttäthet.	Nej	Fönster - yttervägg	Plastfolien slutar i kant med fönstren. Fogning.
Referensprojekt	Nej	Dörrtrösklar	Drevning och fogning.
Engagemang/ motivation i produktionen	2	Tidig läckagesökning	Nej

5 Analys av olika faktorer påverkan på lufttäteten

Här kommer de faktorer som tagits upp under intervjuerna att sammanställas i diagram och tabeller för att kunna jämföras med varandra samt analyseras. I diagrammen kommer varje punkt att representera en byggnad som studerats. På y-axeln visas det slutliga luftläckaget för byggnaderna och på x-axeln kommer de olika faktorerna att graderas.

5.1 Fokus på lufttätet

Fokus på lufttätet har visat sig vara en betydande faktor för att uppnå god lufttätet i byggnader. Med fokus menas här att lufttäteten varit central genom hela projektets gång för att kunna uppnå det ställda kravet. Det inkluderar noggrann planering, genomtänkta täthetslösningar samt att det funnits en diskussion kring lufttäteten. Punkterna i diagrammet i Figur 48 nedan illustrerar de projekt som undersökts och visar det slutliga luftläckaget i byggnaderna samt hur stort fokus respektive projekt haft på lufttätet. Fokus är bedömt av produktionschefer samt produktionsledare som arbetat i projekten och är graderat från 1 - 4 .



Figur 47. Projektens fokus på lufttätet samt uppnådda lufttätetsresultat.

Trendkurvan i diagrammet ovan visar att luftläckaget sjunker stadigt i takt med att fokuset på lufttätet ökar. Detta visas även tydligt i Svensson & Hagerhed Engman (2009) där en sammanställning av 100 olika lufttätetsmätningar gjorts.

Från diagrammet ovan kan konstateras att det krävs hög fokus (3-4) för att uppnå lägre luftläckage än 0,4 l/sm² samt mycket hög fokus (4) för att uppnå 0,2 l/sm². Det har varit svårt att uppnå lägre luftläckage än 0,5 l/sm² med låg fokus på lufttätet.

Viktigt att nämna är att det alltid förekommer avvikelser. De avvikelser som syns i det här diagrammet beror på:

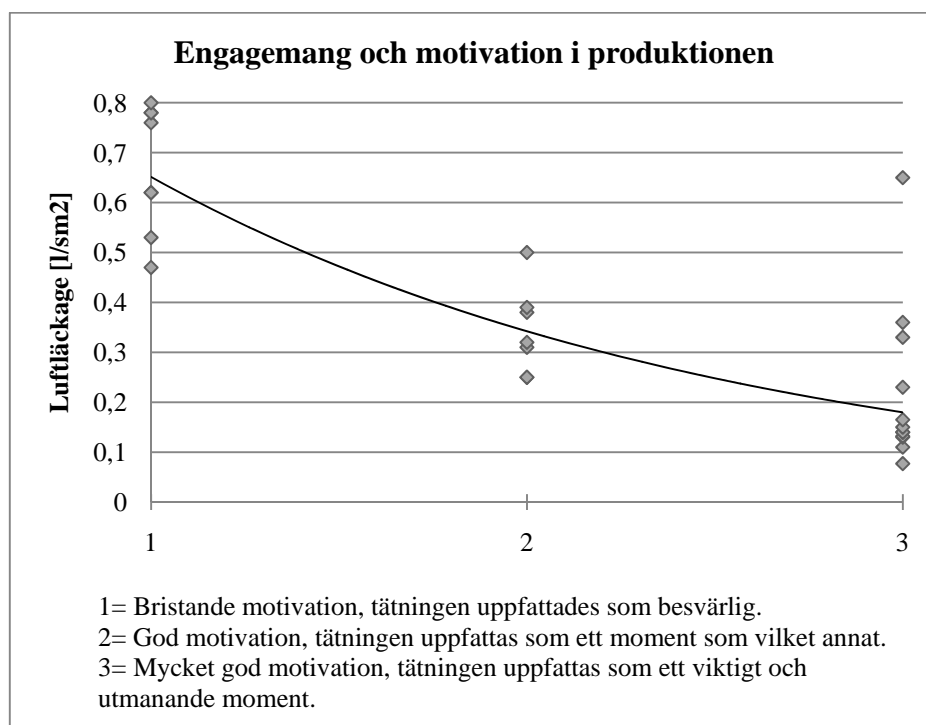
- Putsade och enstegstätade fasader har fungerat som ett extra tätande skikt. Trots mycket låg fokus på lufttätethet (graderad till 1) i Trollåsen har relativt låga luftläckage på 0,39 l/sm² samt 0,50 l/sm² uppmätts. Denna enstegstätade konstruktion har dock en ökad risk för fuktskador.
- Otäta fönsteranslutningar på grund av felaktig tätningslist. Trots hög fokus på lufttätethet (graderad till 3) har ett av husen i Ullstorp ett luftläckage på 0,65 l/sm². Felet har åtgärdats men ingen ytterligare mätning har gjorts efter det.
- Svårtätade konstruktionsdetaljer till följd av otacksam husform. Detta gäller främst treplanshusen med knopp i Eklanda (se fasadritning under 4.3 *Sammanställning av projekten*).
- Olika tolkningar av vilken nivå lufttätetheten i projektet legat på av de som blivit intervjuade.

5.2 Engagemang, kunskap och erfarenhet

I Sandberg och Sikander (2004) fastställs att mer information och utbildning om lufttätethet behövs ute i produktionen. Detta främst för att kunskap bidrar till bättre förståelse, medvetenhet samt ökad motivation. Den ökade motivationen leder vidare till ett bättre och säkrare arbete med lufttätethet.

Kunskap och förståelse → God motivation → Bra utfört arbete

Diagrammet i Figur 48 nedan visar sambandet mellan engagemang och lufttäthetsresultat.

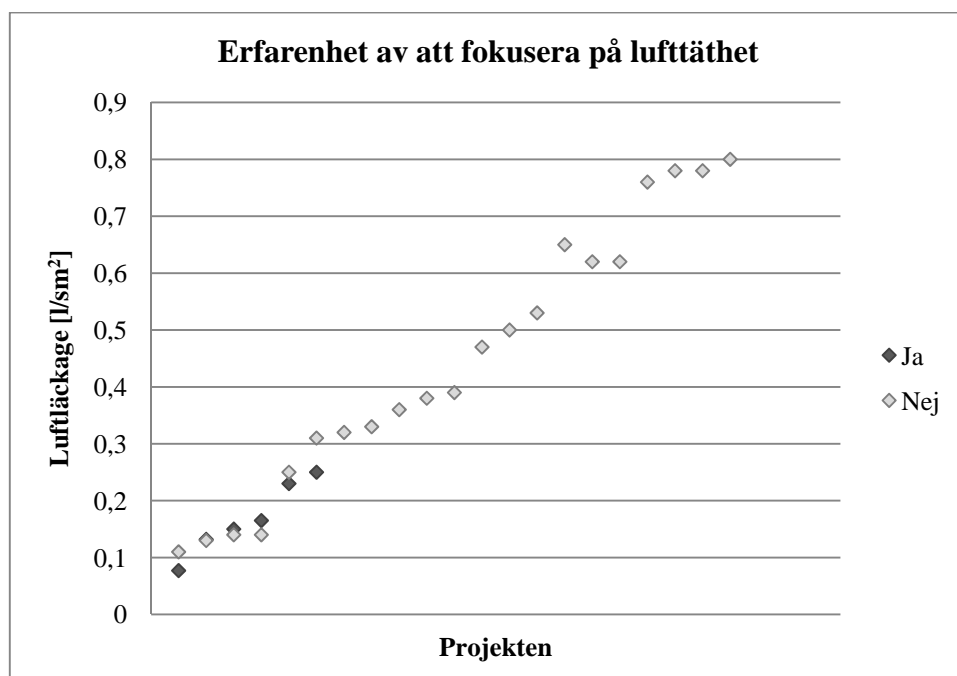


Figur 48. Engagemang och motivation i produktionen samt uppnådda lufttäthetsresultat för respektive projekt.

Kurvan i diagrammet ovan visar tydligt att luftläckaget minskar i takt med att engagemanget och motivationen i produktionen ökar. Det kan därför vara lönsamt att satsa på ökat engagemang och motivation i produktionen. Nedan kommer några exempel på hur detta har uppnåtts i de studerade projekten.

- Ökad kunskapsnivå genom utbildning och information.
- Erfarenhetsåterföring. Stöttande referensprojekt har funnits och medarbetare med erfarenhet har bidragit med kunskap i nya projekt.
- Yrkesarbetarnas kunskaper har utnyttjats genom att de lärt och visat varandra. Därmed växer de i sina roller och engagemanget ökar. Denna metod användes i Ellös och Misteröd där engagemanget och motivationen var hög.

Diagrammet i Figur 49 nedan visar fördelningen av tidigare erfarenhet från fokus på lufttätthet. Med erfarenhet menas här främst då tjänstemännen tidigare jobbat i projekt där lufttättheten varit en central fråga.



Figur 49. Diagrammet visar om tidigare erfarenhet från fokus på lufttätthet funnits samt den slutliga lufttättheten för projekten.

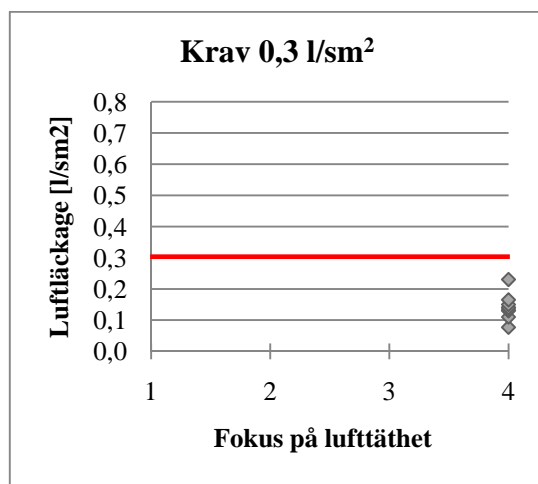
I diagrammet ses att alla de projekt där erfarenhet funnits har uppnått låga luftläckage. Det syns även att många av de studerade projekten har arbetat helt utan tidigare erfarenhet av fokus på lufttätthet. I dessa projekt har de själva tagit fram lösningar ofta utan någon speciell utbildning i lufttätthet.

Erfarenheten av lufttätt byggande kommer förmodligen att öka framöver i takt med att kraven på lufttäta klimatskal ökar. Det kan därför vara extra viktigt att just nu sprida kunskaperna om lufttätt byggande från lyckade projekt. På så sätt läggs en bra grund för det framtida arbetet med lufttätthet.

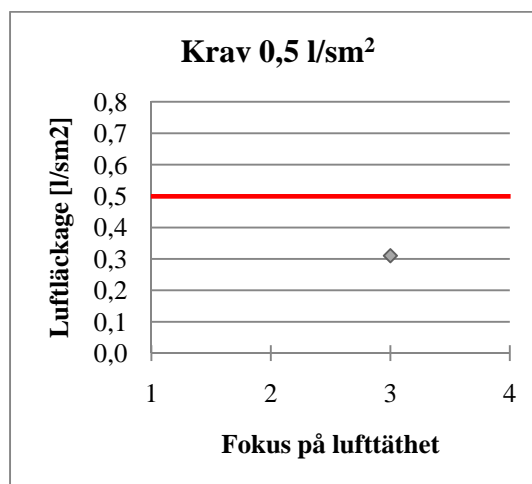
5.3 Kravets betydelse

I de projekt som studerats har det förekommit fyra olika nivåer av krav. För passivhus⁸ och lågenergihus ställs ofta ett högt krav som $0,3 \text{ l/sm}^2$, medan $0,8 \text{ l/sm}^2$ är ett lägre och vanligare krav som tidigare var aktuellt för bostäder, enligt BBR 1994. Även $0,5 \text{ l/sm}^2$ och $0,6 \text{ l/sm}^2$ har förekommit som krav i de studerade projekten.

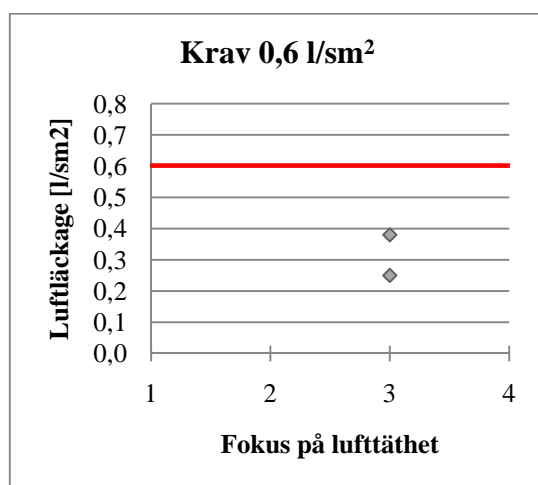
Att ställa ett krav på högsta tillåtna luftläckage i en byggnad innebär en stor möjlighet att påverka den slutliga lufttätheten. Punkterna i diagrammen nedan illustrerar de projekt som undersökts och visar deras luftläckage tillsammans med den fokus på lufttäthet som förekommit. De kraftiga sträckorna markerar de krav som ställts.



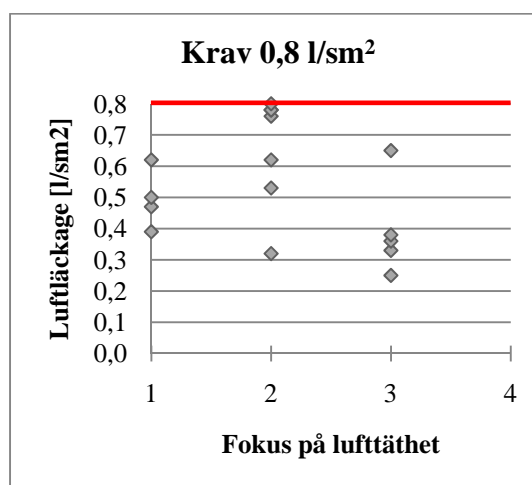
Figur 50. Krav på luftläckage under $0,3 \text{ l/sm}^2$.



Figur 51. Krav på luftläckage under $0,5 \text{ l/sm}^2$.



Figur 52. Krav på luftläckage under $0,6 \text{ l/sm}^2$.



Figur 53. Krav på luftläckage under $0,8 \text{ l/sm}^2$.

I diagrammen i Figur 51-54 syns att samtliga mätresultat ligger under de ställda kraven. Alla hus utom ett har uppnått sitt krav på första försöket.

Storleken på marginalen mellan krav och resultat varierar. Några få mätresultat ligger precis på gränsen av kravet medan de flesta har relativt stor marginal. Nedan kommer exempel på projekt som hamnat långt under sitt ställda krav på $0,8 \text{ l/sm}^2$ och bidragande faktorer till det.

⁸ Passivhus enligt FEBY.

- Projektet i Vallda fick ett slutligt luftläckage på $0,25 \text{ l/sm}^2$. Det som ligger till grund för resultatet är produktionschefens engagemang för lufttätt byggande. Han anser att lufttättbyggande är av stor vikt och tillämpade därför sina kunskaper från tidigare projekt även i detta. Förutom det anser produktionschefen att de viktigaste anledningarna till det goda resultatet är installationsskiktet samt det indragna mellanbjälklaget. Det indragna mellanbjälklaget gör det möjligt för plastfolien att löpa kontinuerligt från nedre till övre plan. Utöver det används inga klämda skarvar utan endast överlapp med tejping.
- Projektet i Övre Kviberg fick ett slutligt luftläckage på $0,32 \text{ l/sm}^2$. Produktionschefen för projektet tror att det goda resultatet beror på noggrant arbetsutförande av de erfarna yrkesarbetarna samt den fördelaktiga formen på huset (tvåplanshus med stor yta). En bidragande faktor till det goda resultatet kan vara att delar av fasaden består av puts och är enstegstätad mot cellplast. Installationsskikt samt klämda skarvar har använts.
- Två av husen i Ullstorp uppnådde slutliga luftläckage på $0,33$ och $0,36 \text{ l/sm}^2$. Mycket fokus och engagemang har funnits kring lufttätthet i projektet. Produktionschefen anser att det är viktigt med lufttätt byggande och därför har även yrkesarbetarna blivit informerade om vikten av lufttätthet. Produktionschefen tror att den goda förståelsen samt installationsskiktet har haft mest betydelse för det slutliga lufttätthetsresultatet. Klämda skarvar har kombinerats med endast omlottläggning.

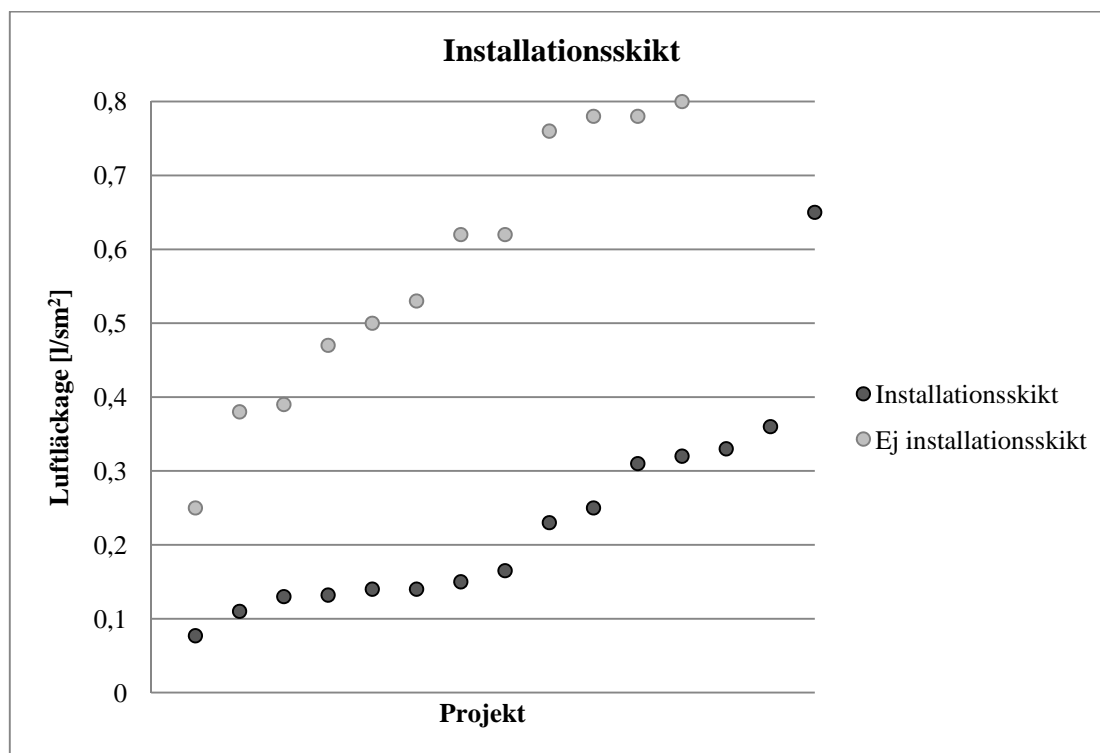
Nedan kommer ett annat exempel på hur kravet kan styra den slutliga lufttättheten.

- I Öjersjö Park var kravet på högsta luftläckage satt till $0,6 \text{ l/sm}^2$ (båda mätpunkterna i Figur 52 tillhör Öjersjö Park). Detta upplevdes som ett mycket högt krav i en byggnad utan installationsskikt. Därför lades extra mycket fokus i projektet på lufttättheten för att lyckas uppnå kravet. Fokusen innebar enligt produktionschefen inte några extrema lösningar utan snarare planering och noggrannhet i utförandet. Detta resulterade i ett slutligt luftläckage på $0,25 \text{ l/sm}^2$ samt $0,38 \text{ l/sm}^2$.

Sammanfattningsvis kan sägas att de mest återkommande faktorerna för projekt som hamnat långt under sitt krav är att installationsskikt förekommit samt att engagemang för lufttätthet funnits i produktionen. Eftersom alla de studerade byggnaderna med installationsskikt, utom en, hamnat under $0,4 \text{ l/sm}^2$ (se Figur 55 nedan) kan tyckas att kravet $0,8 \text{ l/sm}^2$ inte är tillräckligt strängt satt för en byggnad med installationsskikt. De tekniska lösningarna i dessa projekt är av mycket varierande grad och därför bör en byggnad med installationsskikt klara minst $0,5 \text{ l/sm}^2$ även utan de mest avancerade tekniska lösningarna.

5.4 Installationsskikt

Installationsskiktet minimerar antalet genomföringar i en byggnad och är en avgörande faktor för den slutliga lufttäteten. Diagrammet i Figur 54 nedan visar den lufttätet som de studerade byggnaderna med respektive utan installationsskikt uppnått.



Figur 54. Lufttäteten för byggnader med respektive utan installationsskikt.

Diagrammet styrker det faktum att byggnader med installationsskikt generellt uppnår bättre lufttätetsresultat än byggnader utan installationsskikt. Tabellen nedan visar att medelvärdet för luftläckage i byggnader med installationsskikt är 0,23 l/sm² jämfört med 0,57 l/sm² för byggnader utan.

Tabell 1. Tabellen visar värde på luftläckage för byggnader med respektive utan installationsskikt.

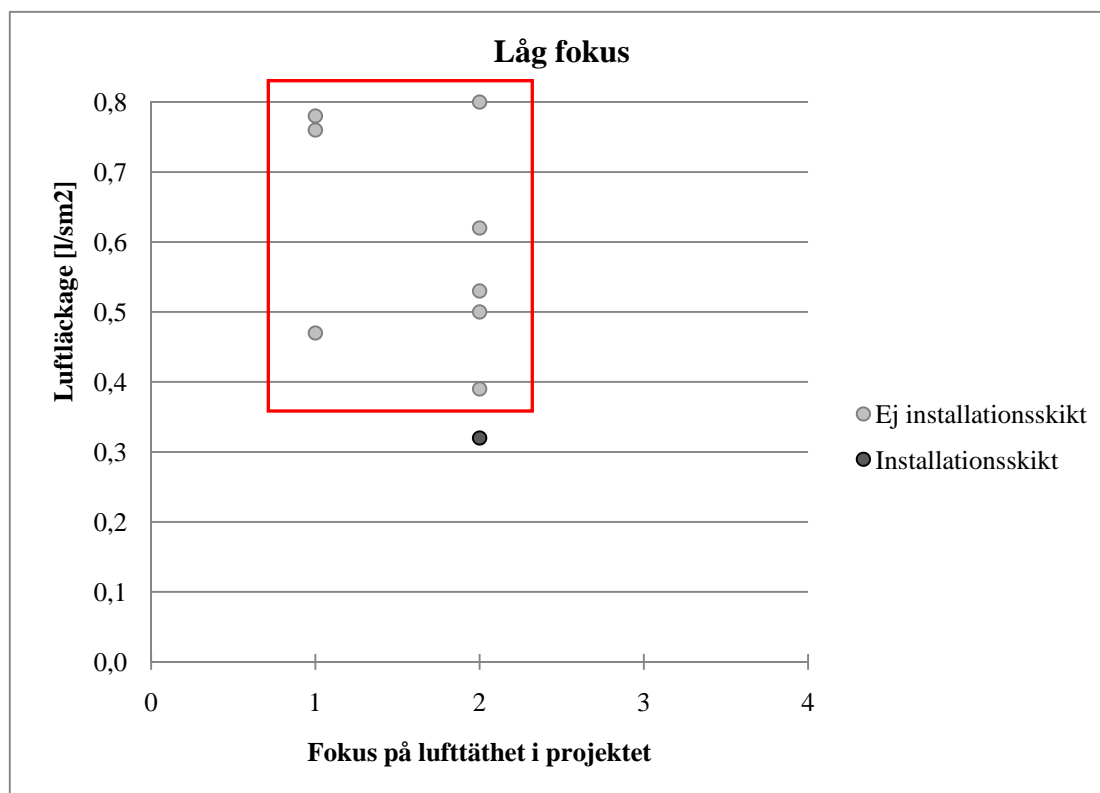
	Antal	Medelvärde [l/sm ²]	Minsta värde [l/sm ²]	Högsta värde [l/sm ²]
Installationsskikt	16	0,23	0,077	0,65
Ej installationsskikt	12	0,57	0,25	0,8

Det kan även utläsas ur diagrammet ovan att alla byggnader med installationsskikt, utom en, har uppnått lägre läckage än 0,4 l/sm². Medan endast ett fåtal byggnader utan installationsskikt uppnått luftläckage lägre än 0,5 l/sm².

Av de byggnader utan installationsskikt som uppnått luftläckage lägre än 0,4 l/sm² tillhör två byggnader Öjersjö Park medan en byggnad tillhör Trollåsen. Eftersom byggnaderna i Trollåsen antagligen uppnått sitt goda lufttätetsresultat på grund av enstegstätade putsade fasader är det endast ett projekt, Öjersjö Park, som uppnått luftläckage lägre än 0,4 l/sm² utan installationsskikt på ett hållbart sätt. Eftersom inte fler projekt lyckats uppnå lika låga luftläckage utan installationsskikt bör lägre luftläckage än 0,4 l/sm² inte räknas som ett troligt resultat att uppnå.

Vilken lufttätethet kan förväntas då olika förutsättningar råder?

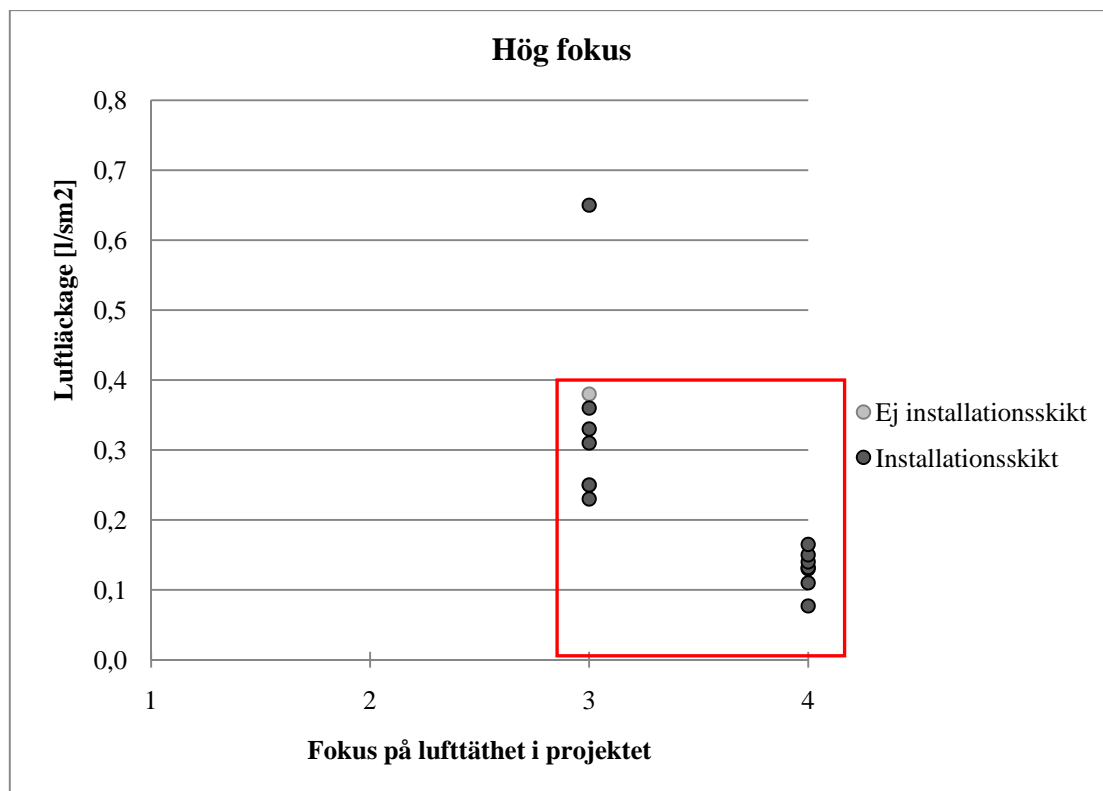
Det finns behov av att veta vilka luftläckage som kan förväntas med respektive utan installationsskikt då olika förutsättningar råder. För att få en övergripande bild studeras sambandet mellan luftläckage, användandet av installationsskikt samt fokus på lufttätethet i efterföljande diagram.



Figur 55. Luftläckage då lågt fokus förkommit för byggnader med respektive utan installationsskikt.

Punkterna för byggnader med lågt fokus samt utan installationsskikt varierar mellan 0,39 l/sm² till 0,8 l/sm². En rimlig slutsats att det är svårt att uppnå luftläckage lägre än 0,5 l/sm² utan installationsskikt samt utan fokus på lufttätethet. Det krävs ytterligare insatser för att uppnå luftläckage under 0,5 l/sm².

Det finns för få byggnader med installationsskikt där fokus på lufttätethet varit lågt för att någon jämförelse med denna kategori ska kunna göras.



Figur 56. Luftläckage då högt fokus förkommit för byggnader med respektive utan installationsskikt.

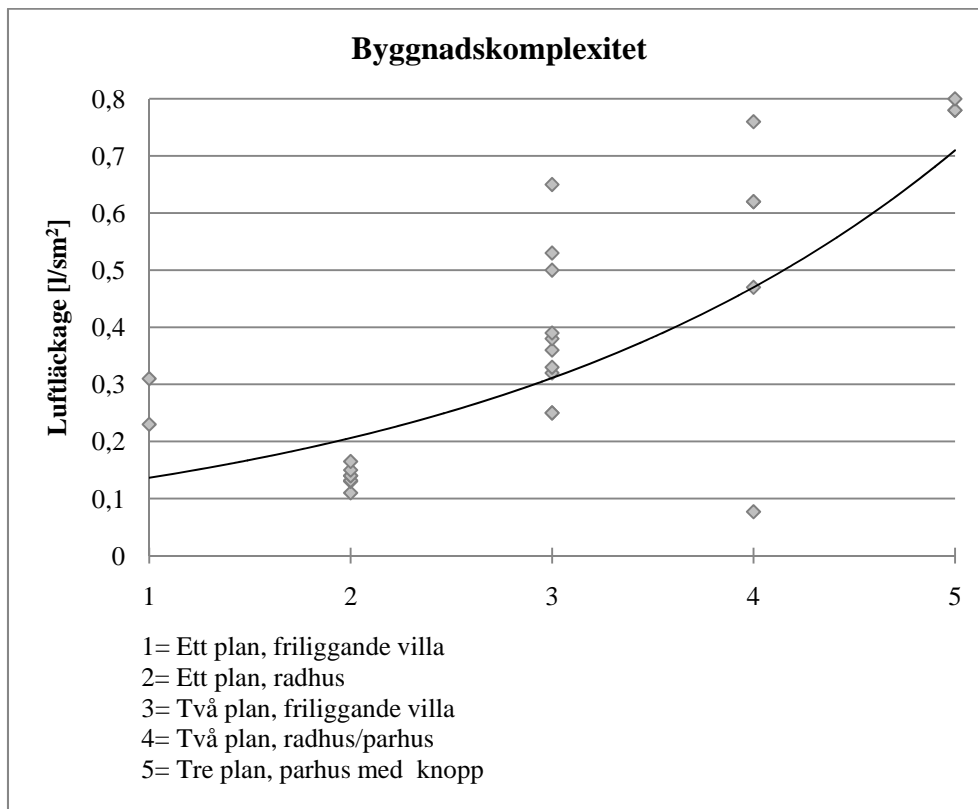
Det finns endast två mätresultat som representerar hög fokus på lufttätthet utan installationsskikt. Dessa två mätresultat är dessutom från samma projekt, Öjersjö Park. De två byggnaderna har uppnått luftläckage på 0,25 l/sm² samt 0,38 l/sm². Det vill säga lägre luftläckage än de byggnader utan installationsskikt med låg fokus på lufttätthet som visades i Figur 55. Lufttättheten i detta projekt har drivits fram av ett högt satt krav som ledde till planering och noggrannhet i utförandet.

Punkterna i diagrammet i Figur 56 som representerar hög fokus på lufttätthet samt användning av installationsskikt varierar mellan 0,077 l/sm² till 0,65 l/sm². Medelvärdet är 0,23 l/sm². Slutsatsen är att luftläckage lägre än 0,4 l/sm² bör kunna uppnås då installationsskikt kombineras med hög fokus på lufttätthet.

5.5 Byggnadskomplexitet

Byggnadens komplexitet har en direkt påverkan på lufttäteten i byggnaden. Detta eftersom ett ökat antal kritiska anslutningar mellan byggnadselement leder till en ökad risk för luftläckage. Ju oregelbundnare former byggnaden har, desto fler kritiska anslutningar blir det att täta.

En oregelbunden huskropp kan leda till ovanliga anslutningar som blir svårtätade, både till följd av svåråtkomna utrymmen samt till följd av brist på erfarenhet av liknande utförande. Diagrammet i Figur 57 nedan visar lufttätetens direkta koppling till byggnadens komplexitet.



Figur 57. Diagrammet visar hur byggnadens komplexitet påverkar den slutliga lufttäteten.

Diagrammet visar en tydlig försämring av lufttäteten då komplexiteten i byggnaden ökar. De hus som fått högst luftläckage på 0,8 l/sm² är parhus i Eklanda som består av två plan med knopp. Knoppen innebär ett tredje plan som sträcker sig över halva plan två, se fasadritning under 4.3 Sammanställning av projekten under projekt Eklanda, Platåvillan. Den oregelbundna formen bidrog till extra många svårtätade anslutningar.

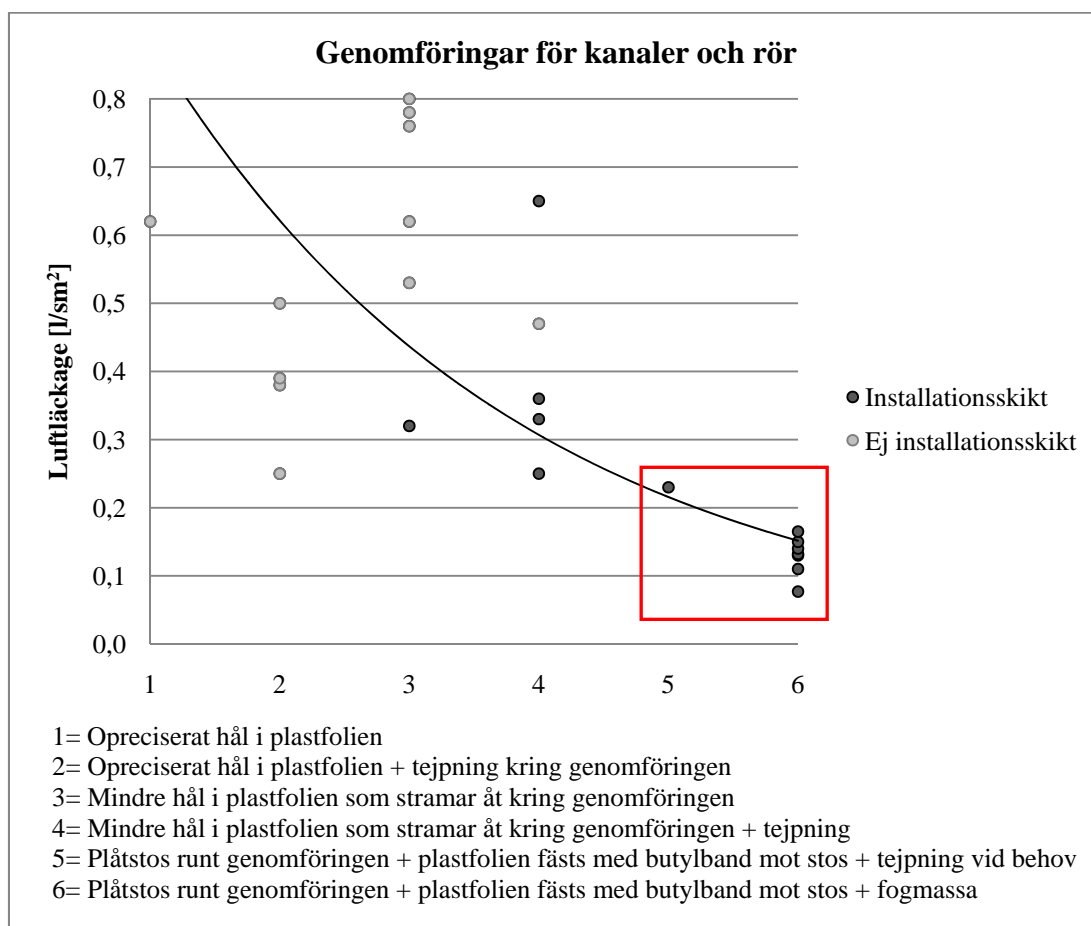
Uppdelningen i komplexitet som är gjord här är relativt förenklad. En mer exakt bild skulle kunna ges genom en kategorisering av antal meter anslutning eller hörn som finns i byggnaderna.

5.6 Konstruktionsdetaljer

I detta kapitel analyseras lufttäteten med avseende på olika konstruktionsdetaljer och tätningsmetoder. De olika konstruktionsdetaljerna är analyserade var för sig, men det är viktigt att komma ihåg att det är många faktorer som påverkar den slutliga lufttäteten. Det slutliga luftläckaget är en summa av helheten av det täthetsarbete som utförts. Observera även att ingen hänsyn tagits till antalet genomföringar, skarvar och anslutningar, förutom det faktum att installationsskiktet minskar antalet genomföringar.

5.6.1 Genomföringar

I diagrammen nedan visas på x-axeln den typ av genomföringsmetod som använts i de olika byggnaderna och på y-axeln den slutliga lufttäteten. Tätningsmetoderna är rangordnade med siffror där den högsta siffran står för den metod som bedöms ge bäst tätning. Denna rangordning utgår dels från laboriemätningar på enstaka konstruktionsdetaljer och dels från uppskattningar. Vissa tätningsmetoder kan vara svåra att rangordna. Exempelvis är det svårt att bedöma huruvida en genomföring gjord med ett opreciserat hål och tejpning ger bättre eller sämre tätning än ett mindre och åtstramande hål utan tejpning. Det finns dock en osäkerhet kring tejpens beständighet över tid och därför bedöms här det åtstramande hålet vara en bättre tätningsmetod. Diagrammet i Figur 59 nedan visar genomföringar för kanaler och rör.



Figur 58. Diagrammet visar tätningsmetoder för genomföringar av kanaler och rör samt den slutliga lufttäteten.

Mätpunkterna i diagrammet är väl utspridda. Det förekommer både låga och höga luftläckage inom hälften av genomföringsmetoderna. Detta visar på följande:

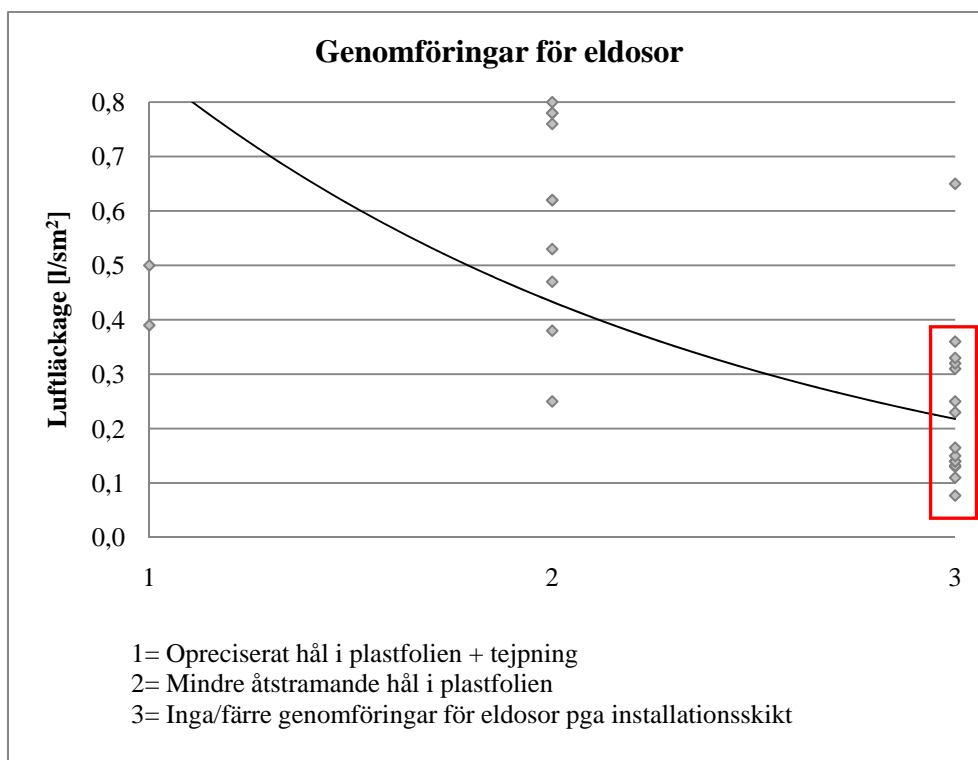
- Enstaka lösningar är inte avgörande för den slutliga lufttätheten utan många andra faktorer spelar in. Den slutliga lufttätheten är en summa av helheten.
- Noggrannheten i utförandet är avgörande och därför kan samma lösning leda till olika luftläckage beroende på vem som utför arbetet.
- Det är svårbedömt hur de olika tätningsmetoderna ska rangordnas. Diagrammet ovan visar att de studerade byggnaderna med tejpad genomföring (2) uppnått en bättre lufttäthet än byggnader med mindre åtstramande hål (3). Det finns dock osäkerhet kring om denna relation kvarstår över tid.

Exempel på andra faktorer som kan ha påverkat lufttätheten mer än utförandet av genomföringar är:

- Höga krav på lufttäthet. De byggnader som använt sig av plåtstos, butylband och fogning (6), har även haft höga krav och mycket fokus på lufttäthet. Det är inte troligt att andra byggnader som tillämpar samma genomföringsmetod uppnår samma resultat om inte samma helhetstänk används.
- Oregelbunden husform som bidragit till svårtätade anslutningar.

Det tydligaste sambandet som ses i diagrammet i figur 58 är att byggnader utan installationsskikt ligger i övre delen av diagrammet med höga luftläckage medan byggnader med installationsskikt ligger i nedre delen av diagrammet med låga luftläckage. Det framgår även att byggnader utan installationsskikt generellt använt sig av enklare genomföringsmetoder än byggnader med installationsskikt. Större delen av de byggnader som uppnått luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ har använt sig av stosas kring genomföringarna.

Diagrammet i Figur 59 nedan visar genomföringar för eldosor.



Figur 59. Tätningsmetoder för genomföringar av eldosor som funktion av den slutliga lufttäteten.

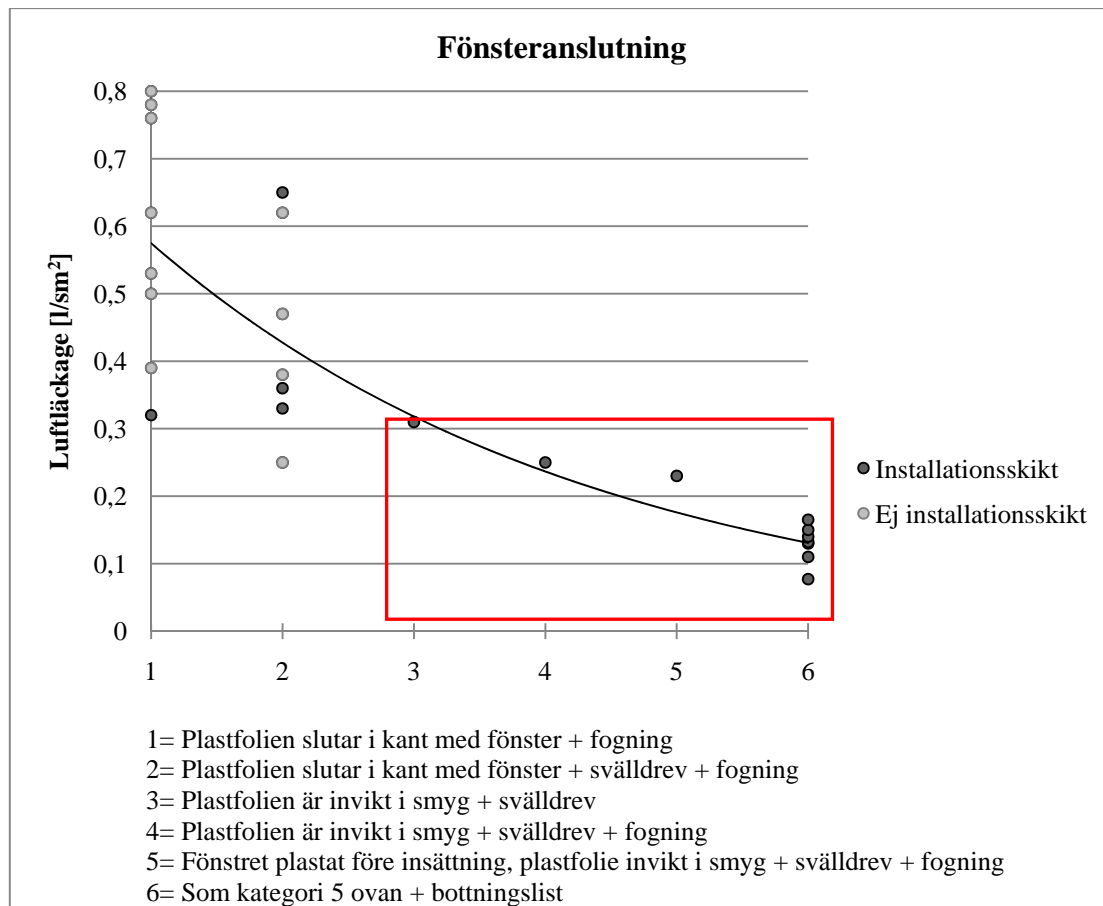
Även här råder en osäkerhet i rangordningen av tätningsmetoderna. Det framgår i Mattsson (2004) att ett mindre åtstramande hål för eldosor ger ett lägre luftläckage än ett opreciserat hål, men det finns ingen jämföring då tejpning använts för att komplettera det opreciserade hålet. Som kan ses i diagrammet ovan har även här varje utförandemetod en stor spridning av resultat och många andra faktorer har varit avgörande för lufttäteten. Det som kan ses tydlig även i det här diagrammet är att de byggnader som använt sig av installationsskikt, och därmed inte har några genomföringar för eldosor, uppnått lägre luftläckage än övriga.

5.6.2 Anslutningar

Nedan följer tre typer av kritiska anslutningar som studerats i projektet. Diagrammen visar den slutliga lufttäteten i byggnaderna samt den typ av tätningsmetod som använts i respektive anslutning. Tätningsmetoderna är rangordnade med siffror där den högsta siffran representerar den tätningsmetod som bedöms ge bäst tätning.

Fönsteranslutning

Tätningsmetod för fönsteranslutningarna varierar mellan kategori 1 - 6. De enklaste lösningarna innebär att plastfolien slutar i kant med fönstret medan de bättre metoderna innebär att plastfolien vikts in i fönstersmygen och avslutats i kant med karmens insida samt kompletterats med plastfolie i hörnen. Vissa fönsteranslutningar har förstärkts ytterligare genom att fönstret plastats före insättning samt genom användande av sväldrev, bottningslist och fogning.

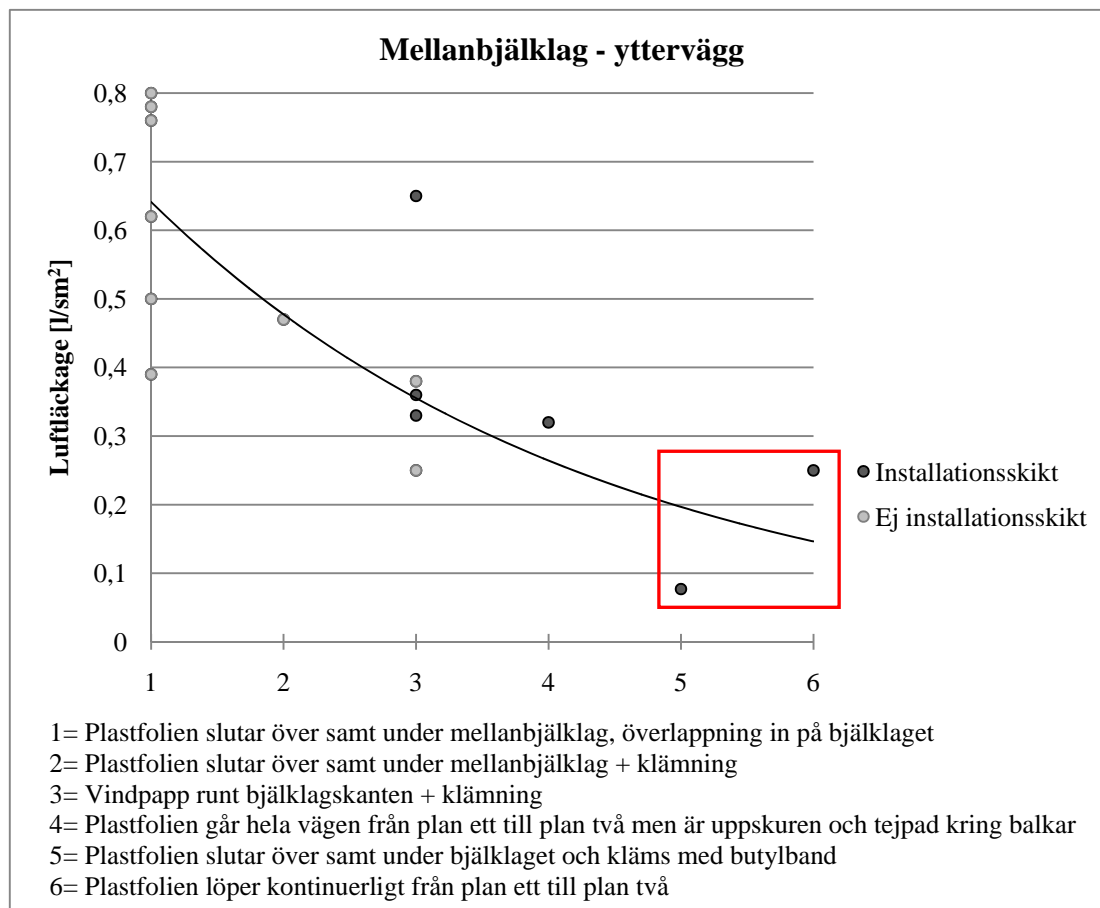


Figur 60. Diagrammet visar de tätningsmetoder som använts i de olika projekten samt den slutliga lufttättheten.

Diagrammet ovan visar att de byggnader som använt sig av de enklaste tätningsmetoderna, där plastfolien slutar i kant med fönster, har en bred spridning i lufttätthet, medan de byggnader som använt sig av bättre tätningsmetoder visar på ett stabilare och bättre lufttätthetsresultat. Av byggnader där plastfolien inte är invikt i smyg har endast en byggnad uppnått lägre luftläckage än $0,3 \text{ l/sm}^2$, medan resterande ligger mellan $0,3 - 0,8 \text{ l/sm}^2$. I diagrammet finns en tydlig gräns som visar att de byggnader som har vikt in plastfolien i smyg eller använt ännu bättre lösningar (kategori 3 - 6) har uppnått ett luftläckage under $0,3 \text{ l/sm}^2$. De byggnader som dessutom använt sig av plastade fönster före insättning samt svälldrev, bottningslist och fogning har uppnått luftläckage under $0,2 \text{ l/sm}^2$.

Mellanbjälklag – yttervägg

Anslutningen där mellanbjälklag möter yttervägg benämns ofta som en svårutförd och kritisk anslutning i produktionen. Den optimala tätningsmetoden är då plastfolien kan löpa kontinuerligt mellan våningsplanen. Detta är inte alltid möjligt och därför har även ett antal andra metoder använts i de studerade projekten. Diagrammet i Figur 61 nedan visar de tätningsmetoder som använts i respektive byggnader samt de slutliga luftläckagen.

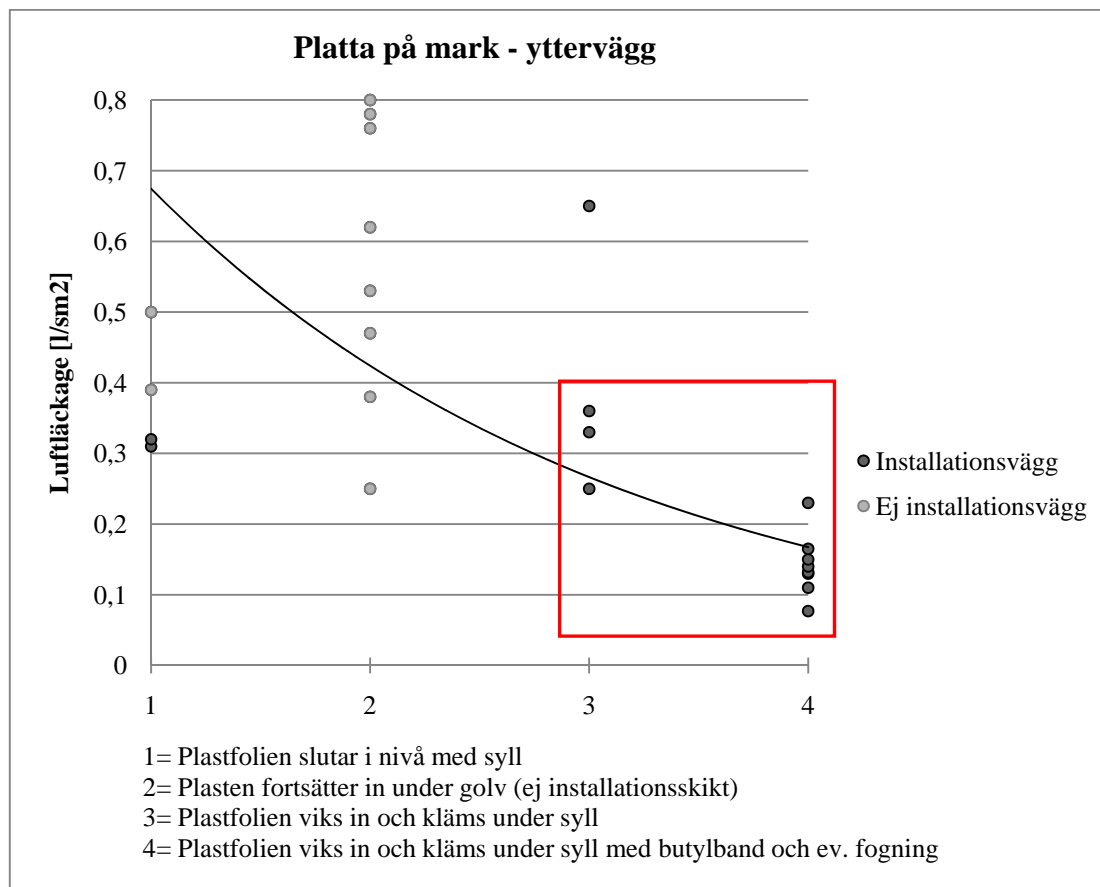


Figur 61. Diagrammet visar den tätningsmetod som använts i anslutningen mellan yttervägg och mellanbjälklag samt den slutliga lufttäteten för respektive projekt.

Diagrammet visar att de byggnader som uppnått lägst luftläckage har använt sig av metod 5 eller 6. Det vill säga antingen löper plastfolien kontinuerlig förbi mellanbjälklaget eller så har den klämts med butylband mot bjälklaget. Dessa projekt har uppnått luftläckage lägre än 0,3 l/sm².

Platta på mark – yttervägg

Anslutningen mellan platta på mark och yttervägg utförs olika beroende på om installationsskikt förekommer eller inte. Då inget installationsskikt förekommer är det vanligt att plastfolien slutar i nivå med syll eller fortsätter in en bit under golvet. Däremot om installationsskikt finns är det möjligt att klämma plastfolien under syll. Kategori 1 och 2 i diagrammet nedan representerar de förstnämnda lösningarna medan kategori 3 och 4 står för lösningar då plastfolien klämts under syll.



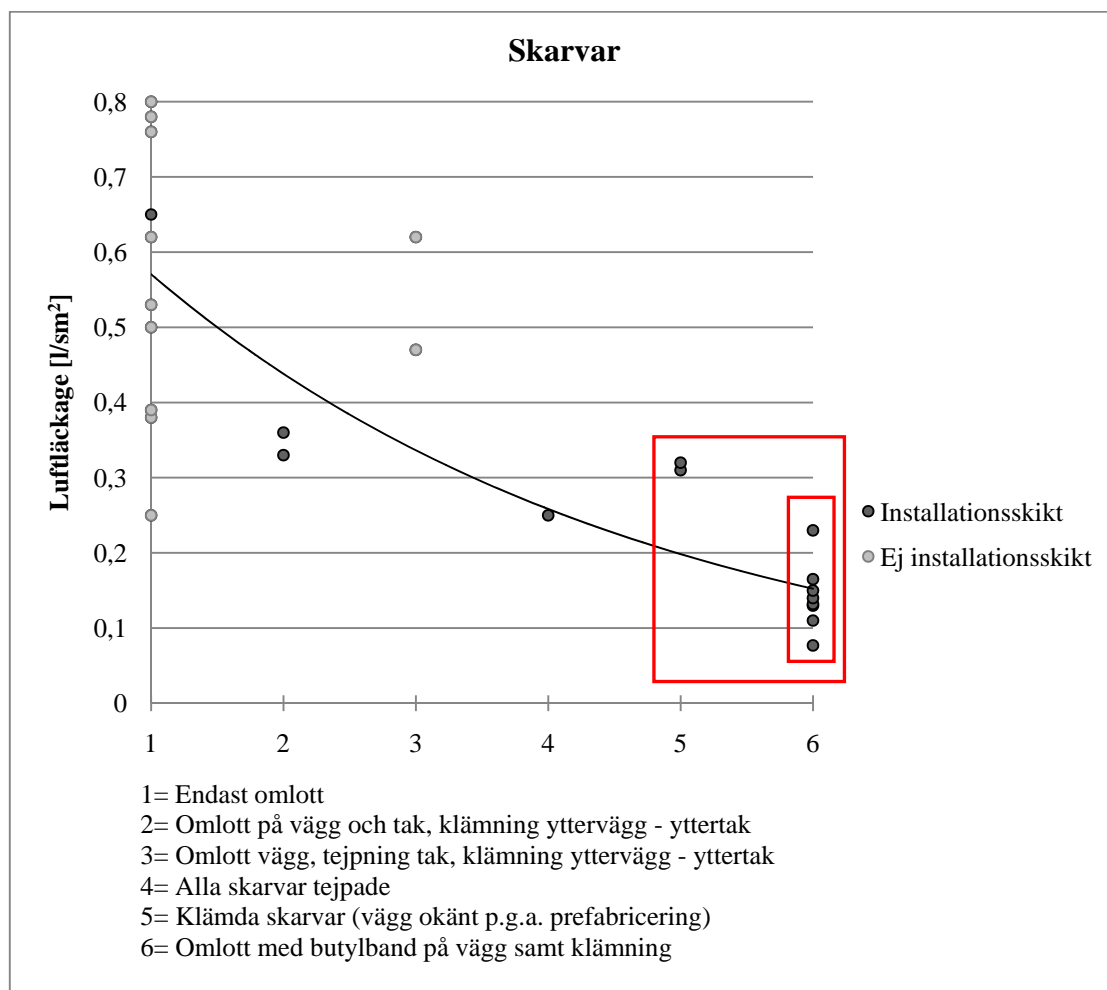
Figur 62. Diagrammet visar den tätningsmetod som använts i anslutningen mellan platta på mark och yttervägg samt den slutliga lufttäteten.

Den stora spridningen, speciellt i kategori 2, visar på att andra faktorer har större inverkan på den slutliga lufttäteten. Även om samma tätningsmetod använts i anslutningen i de olika projekten så kan övriga faktorer samt utförande skilja sig mycket åt.

Däremot syns det fortfarande i diagrammet ovan att bättre tätningsmetod generellt leder till bättre lufttätet, speciellt när det gäller de bättre tätningsmetoderna i kategori 3 och 4. Diagrammet visar även att byggnader där plastfolien klämts under syll uppnått luftläckage lägre än 0,4 l/sm². Ett undantag är Ullstorp, som ligger under kategori 3, där bristfälliga fönsteranslutningar lett till mycket sämre lufttätetsresultat. För att komma ner till luftläckage under 0,2 l/sm² har det krävts att även butylband använts när plasten klämts under syll samt även fogning.

5.6.3 Skarvar

Skarvningsmetoderna som använts i de undersökta projekten har rangornats i diagrammet nedan. Metoderna varierar mellan endast överlappning, tejpade skarvar, klämda skarvar samt klämda skarvar med butylband. Det har funnits en stor variation av använda tätningsmetoder i de projekt som studerats och i vissa byggnader har olika metoder använts på olika ställen. Variationen gör det svårt att rangordna de olika lösningarna. Tejpning kan vara en metod som ger mycket bra lufttätethet direkt efter färdigställandet av byggnaden, men det är ovisst om tejpens egenskaper försämras med tiden och därför bör den användas med försiktighet.



Figur 63. Diagrammet visar den tätningsmetod som använts i skarvar samt den slutliga lufttätetheten.

Diagrammet i Figur 63 visar att alla de byggnader som använt sig av klämda skarvar har uppnått luftläckage lägre än $0,4 \text{ l/sm}^2$. De som dessutom använt sig av dubbelhäftande butylband för att säkerställa tätheten har uppnått ännu lägre luftläckage, de flesta under $0,2 \text{ l/sm}^2$.

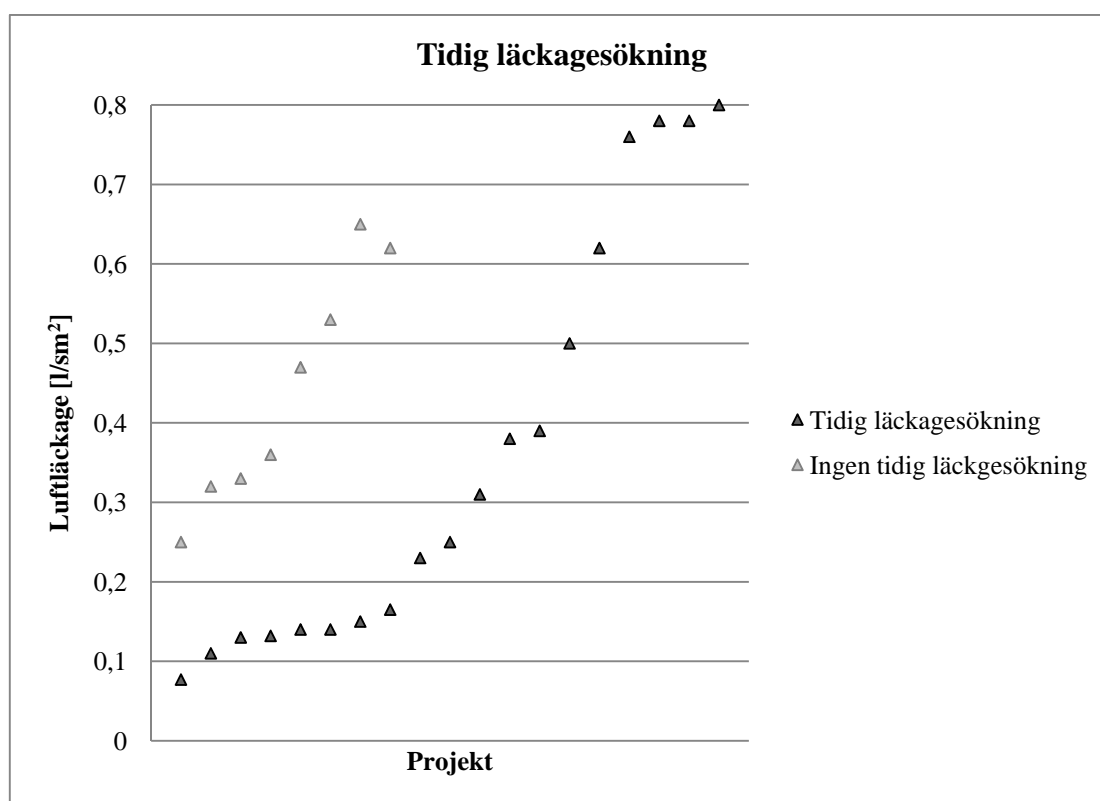
Diagrammet visar även att byggnader med enklare tätningsmetoder har en bredare spridning av luftläckage. Det kan bero på att andra faktorer har spelat en större roll för den slutliga lufttätetheten i just dessa projekt. Det övriga utförandet kan variera mycket mellan de olika byggnaderna. Där installationsskikt finns ses däremot tydligare att lufttätetheten förbättras i takt med förbättrad tätningsmetod för skarvarna.

Nedan följer några exempel på avvikande punkter och faktorer som spelat större roll för lufttätetheten i de studerade projekten.

- Trots att kategori 3 innebär en bättre tätningsmetod än kategori 2, eftersom tejpning tillkommit, så har byggnaderna i kategori 3 uppnått betydligt sämre resultat. Byggnaderna i kategori 3 tillhör projektet Bokporten medan de i kategori 2 tillhör Ullstorp. Den tydliga skillnaden i dessa projekt är att engagemang och fokus på lufttätet varit betydligt högre i Ullstorp än i Bokporten. I Bokporten var båda dessa graderade till 1 medan de var graderade till 3 i Ullstorp. Det har till följd av det höga fokuset även förkommit bättre täthetslösningar allmänt i Ullstorp.
- De två byggnaderna som tillhör Trollåsen och ligger i kategori 1 har antagligen uppnått bättre tätningsresultat på grund av den putsade och enstegstätade fasaden som bidragit till ett extra tätande skikt. Denna konstruktion leder dock till en ökad risk för fuktskador.
- Att en av byggnaderna i kategori 1 kommit ner till luftläckaget $0,25 \text{ l/sm}^2$ tyder på att enstaka lösningar inte behöver ha en avgörande betydelse för den slutliga lufttäteten. Här har istället ett strängt krav och högt fokus varit avgörande för det låga luftläckaget.

5.7 Tidig läckagesökning

I många av de undersökta projekten har en tidig läckagesökning utförts efter att det lufttäta skiktet färdigställt. Läckagesökningen utförs ofta tidigt i etappen för att informationen ska kunna användas i så stor del av projektet som möjligt. Vid den tidiga läckagesökningen uppmärksammas bristfälliga lösningar och vad som bör tänkas på framöver i tätningsarbetet. Diagrammet nedan i Figur 64 visar om de studerade projekten använt sig av en tidig läckagesökning eller inte samt deras slutliga lufttäthet.



Figur 64. Diagrammet visar om projekten använt sig av tidig läckagesökning eller inte samt deras slutliga lufttäthet.

Diagrammet ger ingen klar bild över den tidiga läckagesökningens inverkan på den slutliga lufttätheten, istället visar det på en stor spridning. Även medelvärde på luftläckage har tagits fram för att ge en tydligare bild över påverkan. Tabell 2 nedan visar att medelvärdet på luftläckaget är strax lägre då en tidig läckagesökning utförts.

Tabell 2. Tabellen visar värde på luftläckage för byggnader där tidig läckagesökning använts respektive inte använts.

	Antal	Medelvärde [l/sm ²]	Minsta värde [l/sm ²]	Högsta värde [l/sm ²]
Tidig läckagesökning	21	0,37	0,077	0,8
Ingen tidig läckagesökning	7	0,43	0,25	0,62

Den tidiga läckagesökningen är ett bra verktyg för att kontrollera att arbetet med lufttätheten går som planerat. Den gör det möjligt att åtgärda de brister som finns samt att lyfta fram det som är viktigt att tänka på i återstående tätningsarbete. Resultaten i diagrammet tycks inte konsekvent spegla den positiva inverkan som den tidiga läckagesökningen bör ha. Detta kan bero på faktorer som:

- Det som lyfts fram under den tidiga läckagesökningen tas inte till vara på i tillräcklig utsträckning.
- De slutliga täthetsprovningarna är utförda på hus som byggts tidigt i etappen då informationen från den tidiga läckagesökningen ännu inte lyfts fram.
- Hög fokus på lufttäthet och bra tekniska lösningar kan ha lett till en bra slutlig lufttäthet utan den tidiga läckagesökningen. Men om brister i tätningen hade funnits hade dessa inte kunnat upptäckas och åtgärdas.

Nedan kommer några exempel på kritiska detaljer och anslutningar där luftläckage upptäcktes under de tidiga läckagesökningarna:

- genom eldosor.
- kring fönster- samt dörranslutningar, speciellt i underkant av dörr.
- genom samt kring vindsluckor.
- kring genomföringar för kanaler och rör.
- kring mellanbjälklagets kontakt med klimatskalet.
- kring ventilationsschakt.

5.8 Andra faktorer som påverkar lufttäteten

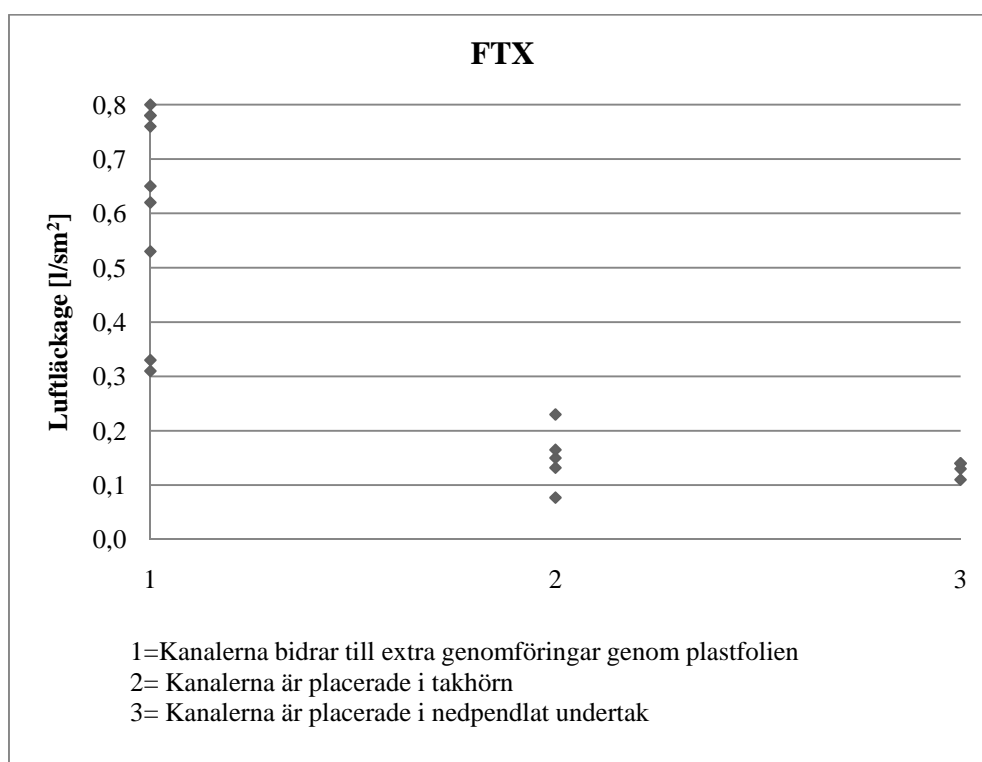
Det finns faktorer som kan göra det svårare att uppnå god lufttätet i en byggnad. Vid projekteringen av ett hus bör man ta hänsyn till dessa genom att de eventuellt prioriteras bort eller genom att tillföra nya lösningar som minskar deras effekt på lufttäteten. Exempel på sådana faktorer som har studerats i detta projekt är FTX-system, spotlights och vindsluckor.

FTX

När FTX-system förekommer i en byggnad bidrar det till ett extra antal kanaler som ska föras genom bjälklaget. Om ingen extra åtgärd görs betyder det att antalet genomföringar genom plastfolien ökar och därmed ökar även risken för luftläckage.

Vissa av de studerade projekten har löst detta genom att antingen placera kanalerna i ett nedpendlat undertak eller genom att placera kanalerna i taksmygar. På så sätt minskas antalet genomföringar till följd av FTX-system drastiskt.

Diagrammet nedan i figur 65 visar de olika lösningar som använts samt vilken lufttätet dessa resulterat i.



Figur 65. Olika lösningar som använts då FTX-system förekommer i byggnaden samt den slutliga lufttäteten för byggnaderna.

Diagrammet visar att de byggnader där FTX-systemet bidragit till ett ökat antal genomföringar (kategori 1) har uppnått ett betydligt högre luftläckage än de byggnader där antalet genomföringar reducerats. De byggnader som uppnått luftläckage lägre än 0,3 l/sm² har alla antingen placerat kanalerna i ett nedpendlat undertak eller i takhörn.

Spotlights

Spotlights är en vanlig orsak till luftläckage och det är därför vanligt att de prioriteras bort i byggnader där lufttätheten är viktig. I Tabell 3 nedan jämförs värden på luftläckage i byggnader med respektive utan spotlights.

Tabell 3. Uppmätt luftläckage där spotlights använts respektive inte använts.

	Antal	Medelvärde [l/sm ²]	Minsta värde [l/sm ²]	Högsta värde [l/sm ²]
Spotlights	13	0,56	0,25	0,8
Inga spotlights	14	0,22	0,077	0,5

Tabellen visar tydligt att medelvärdet på luftläckage är lägre för byggnader där spotlights inte förekommer. Detta beror på att det ofta är projekt med allmänt hög fokus på lufttäthet som väljer att prioritera bort spotlights och därmed har dessa byggnader en kombination av olika bra lösningar som tillsammans bidrar till en bättre tätare byggnad.

Vindsluckor

Vindluckor kan vara en bidragande orsak till luftläckage i hus. I studien har det framkommit att det är vanligt med läckage både genom själva vindluckan samt i anslutningen runt omkring vindluckan. I projekt med hög fokus på lufttäthet är det vanligt att vindluckan byts ut mot en yttre taklucka. I Tabell 4 nedan jämförs värden på luftläckage i byggnader med respektive utan vindluckor.

Tabell 4. Uppmätt luftläckage där vindsluckor förekommer respektive inte förekommer.

	Antal	Medelvärde [l/sm ²]	Minsta värde [l/sm ²]	Högsta värde [l/sm ²]
Vindlucka	18	0,52	0,25	0,8
Inga vindsluckor	10	0,16	0,077	0,31

Tabellen visar tydligt att medelvärdet på luftläckage är lägre för byggnader där vindsluckor inte förekommer. Precis som med spotlights gäller det här att projekt med hög fokus på lufttäthet prioriterar bort sådana här riskfaktorer. Det är sedan kombinationen av de goda täthetslösningarna som bidrar till det låga luftläckaget.

6 Slutsatser och diskussion

De slutsatser som dras och den diskussion som förs här grundar sig på resultat som framkommit genom intervjuer och inventeringar i detta projekt. Undersökningen har varit begränsad till 11 olika projekt med 28 olika byggnader och därför måste hänsyn tas till att vissa felmarginaler förekommer. En undersökning av fler antal projekt hade gett ett mer precist resultat. Omfattningen av denna undersökning bedöms dock vara tillräckligt stor för att ge en rättvis bild över förhållandet.

6.1 Förutsättningar för god lufttätethet

Resultatet visar tydligt att ju högre fokus ett projekt har på lufttätethet desto tätare byggnad uppnås. Detta är inget överraskande resultat eftersom fokus på lufttätethet representerar ett helhetstänk genom hela byggprocessen. Det innebär väl genomtänkta lösningar för kritiska konstruktionsdetaljer, noggrann planering samt att alla inblandade tar sitt ansvar.

Studien visar att fokus på lufttätethet är nödvändigt för att uppnå låga luftläckage. Inga projekt utan fokus på lufttätethet har uppnått lägre luftläckage än $0,4 \text{ l/sm}^2$. För att minska läckagen ytterligare till $0,2 \text{ l/sm}^2$ har mycket hög fokus krävts.

Det finns ett starkt samband mellan låga luftläckage och högt engagemang i produktionen. För att öka engagemanget krävs att betydelsen av lufttätethet förmedlas till de som utför tätningsarbetet. Kunskap leder till ökad motivation som leder till ett bättre utfört arbete. Exempel på vad som kan göras för att öka engagemanget i produktionen är:

- Öka kunskapsnivån genom utbildning och information om lufttätethets betydelse.
- Erfarenhet kan vara en bidragande faktor till ökad motivation. Det kan därför vara en god idé med stöttande referensprojekt eller spridning av medarbetare med erfarenhet till nya projekt.
- Yrkesarbetarnas kunskaper kan utnyttjas genom att de lär och visar varandra. Därmed växer de i sina roller och engagemanget ökar.

Erfarenhet av tidigare projekt med fokus på lufttätethet underlättar för att uppnå god lufttätethet. Men många av de studerade projekten har arbetat helt utan tidigare erfarenhet av fokus på lufttätethet. Troligtvis kommer erfarenheten öka framöver i takt med att det lufttäta byggandet ökar. Det kan därför vara extra viktigt att just nu sprida kunskaperna om lufttätt byggande från lyckade projekt. På så sätt läggs en bra grund för det framtida arbetet med lufttätethet.

Kravet på högsta tillåtna luftläckage genom klimatskalet är det som styr den slutliga lufttätetheten i en byggnad. De flesta projekt uppnår kravet på första försöket, men med varierande marginal. De mest återkommande faktorerna för projekt som hamnar långt under sitt krav är högt engagemang i produktionen samt att installatörens skikt finns.

6.2 Konstruktionslösningarnas påverkan på lufttäteten

Installationsskiktet är troligen den tekniska lösning som har störst inverkan på lufttäteten. De är stor skillnad på medelvärdet på luftläckage för de studerade byggnaderna med installationsskikt ($0,23 \text{ l/sm}^2$) och utan ($0,57 \text{ l/sm}^2$). Undersökningen visar att luftläckage lägre än $0,5 \text{ l/sm}^2$ bör uppnås med installationsskikt. Givetvis är installationsskikt ingen garanti för låga luftläckage om resterande detaljer är dåligt utförda.

För att uppnå luftläckage lägre än $0,2 \text{ l/sm}^2$ krävs installationsskikt kombinerat noggrann planering, väl genomtänka tekniska lösningar samt ett högt engagemang i produktionen.

Utan installationsskikt och utan fokus på lufttätet är det svårt att uppnå luftläckage lägre än $0,5 \text{ l/sm}^2$. Två studerade byggnader i Öjersjö Park har visat sig uppnå luftläckage lägre än $0,4 \text{ l/sm}^2$ utan installationsskikt, men med fokus på lufttätet. Fler liknande mätresultat krävs dock för att detta ska kunna räknas som ett troligt resultat för denna kategori.

Även husformen har visat sig vara betydelsefull för lufttäteten. När byggnadens komplexitet ökar genom att oregelbundna former tillkommer, då ökar antalet svårtätade anslutningar och risken för luftläckage höjs. Om det är av extra stor vikt att uppnå låga luftläckage i byggnaden bör man överväga att eliminera oregelbundna former.

Konstruktionsdetaljer

Typiska riskställen för luftläckage i en byggnad finns vid anslutningar mellan olika byggnadselement, skarvar i tätskiktet samt kring genomföringar för kanaler, rör och eldosor. Gemensamt för allt utförande är att resultatet varierar beroende på vem som utför tätningen, även den bästa lösningen kan misslyckas och leda till luftläckage. Det kan även finnas omständigheter som är så pass avgörande för lufttäteten i byggnaden att övriga lösningar inte speglas i lufttäthetsresultatet. Exempel på sådana faktorer som framkommit i studien är:

- Putsade och enstegstätade fasader har fungerat som ett extra tätande skikt och bidragit till låga luftläckage i förhållande till utfört täthetsarbete. Denna konstruktion leder dock till en ökad risk för fuktskador.
- Otäta fönsteranslutningar har bidragit till ett relativt högt luftläckage trots hög fokus på lufttätet i övrigt.

Genom analysen har en övergripande bild kunnat fås över vilka täthetslösningar som leder till vilka lufttäthetsresultat. Nedan presenteras de inramningar som kunnat göras för olika konstruktionsdetaljer.

För genomföringar gäller att de byggnader som uppnått lägre luftläckage än $0,3 \text{ l/sm}^2$ använt stosar kring genomföringarna. Stosarna bidrar med en vidhäftningsyta för plastfolien att fästa mot och säkerställer lufttäteten kring genomföringarna. Tätningen har kompletterats med tejp eller fogning runt genomföringen.

Vid fönsteranslutningar har alla byggnader som uppnått luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ vikt in plastfolien i fönstersmyg. Även svälldrev har använts i anslutningen mellan yttervägg och fönsterkarm. För att uppnå luftläckage lägre än $0,2 \text{ l/sm}^2$ har ytterligare bottningslist och fogning behövts, se Figur 26a och b s. 22.

Anslutningen mellan yttervägg och mellanbjälklag benämns ofta som kritisk i produktionen. Den optimala tätningsmetoden är då plastfolien kan löpa kontinuerligt mellan våningsplanen. Detta är inte alltid möjligt och därför har ett antal andra metoder använts i de studerade projekten. I de byggnader som uppnått luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ har plastfolien antingen skarvats och klämts mot mellanbjälklaget eller löpt kontinuerligt förbi mellanbjälklaget, se s. 20.

I anslutningen mellan platta på mark och yttervägg är det en fördel då installationsskikt förekommer och plastfolien därmed kan klämmas under syll. I de byggnader där detta gjorts har luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$ uppnåtts. I de projekt som uppnått luftläckage lägre än $0,2 \text{ l/sm}^2$ har plastfolien klämts med butylband under syll och även fogats mot betonggolvet.

Tejpning är en vanligt förekommande metod att täta skarvar med och skarven uppnår ofta god lufttätthet. En osäkerhet råder dock kring huruvida tejpens beständighet förändras över tid och om dess lufttätthet försämras. Därför rekommenderas inte denna lösning. Ett alternativ är istället att använda dubbelhäftande butylband samt klämda skarvar. De byggnader som i denna studie som har uppnått luftläckage lägre än $0,4 \text{ l/sm}^2$ har använt sig av klämda skarvar, medan de som uppnått luftläckage lägre än $0,2 \text{ l/sm}^2$ har använt sig av klämda skarvar med butylband.

Det verkar inte finnas några standardutförande för tätning av olika kritiska detaljer, utan utförandet varierar mellan olika projekt. Det råder en osäkerhet kring olika materials beständighet och vilka som är säkra att använda, därför hade tydligare direktiv till produktionen behövts.

Det är viktigt att tänka på att det finns många faktorer som påverkar lufttättheten i ett projekt. Det är inte enstaka lösningar som är avgörande för den slutliga lufttättheten utan helheten av det täthetsarbete som utförs.

Övriga faktorer som kan påverka lufttättheten

Ett FTX-system bidrar till att ett ökat antal tilluftskanaler ska föras genom bjälklaget. Det ökade antalet genomföringar leder till en ökad risk för luftläckage. För att minska antalet genomföringar och risken för läckage kan kanalerna placeras i ett undertak eller i taksmygar. Detta har gjorts i alla undersökta projekt som uppnått luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$.

Spotlights och vindsluckor bidrar till en ökad risk för luftläckage. Projekt med hög fokus på lufttätthet väljer ofta att prioritera bort dessa riskfaktorer.

En tidig läckagesökning kan ha en positiv inverkan på den slutliga lufttättheten. I de studerade projekten har många tagit hjälp av en sådan för att i ett tidigt skede lokalisera och åtgärda brister i det lufttäta skiktet. Den tidiga läckagesökningen kan användas tidigt i etappen för att förmedla bristfälligt utförande och förbättringsmöjligheter till kommande utförande.

6.3 Rekommendationer för luftläckage under $0,3 \text{ l/sm}^2$

De sammanfattande rekommendationerna kommer främst gälla för att uppnå luftläckage lägre än $0,3 \text{ l/sm}^2$. Det är det aktuella kravet för de passivhus som byggs idag samt det mål Skanska Nya Hem kommer ha för sina bostäder efter 2010-07-01. Ytterligare åtgärder som kan göras för ännu lägre luftläckage kommer också nämnas. Se rekommendationer i Tabell 5 på nästa sida.

Tabell 5. Rekommenderade åtgärder för byggnader som ska uppnå luftläckage lägre än 0,3 l/sm².

Rekommenderade åtgärder

Fokus	Lufttätheten bör vara mycket central genom hela projektets gång. Noggrann planering och väl genomtänkta lösningar krävs.
Engagemang i produktionen	Högt engagemang krävs. Betydelsen av lufttäthet bör förmedlas till de som utför täthetsarbetet. Åtgärder kan vidtas för att höja engagemanget ytterligare, se exempel s. 52.
Krav på lufttäthet	Kravet bör spegla målet för den slutliga lufttätheten.
Tidig läckagesökning	En tidig läckagesökning bör utföras för att uppmärksamma och åtgärda brister i tätskiktet. Bristerna förmedlas till de som utför tätningsarbetet för att undvika upprepning.
Installationsskikt	Ja
Genomföringar	Stosar bör användas kring genomföringarna. Plastfolien fästs mot stosen med dubbelhäftande butylband. För extra säkerställning av lufttätheten används fog kring genomföringen.
Fönsteranslutning	Plastfolien viks in i fönstersmyg. Komplettering med plastfolie görs i hörnen. Svälldrev och mjukfog används i anslutningen. För ytterligare säkerställning av lufttätheten fästs plastfolie mot fönsterkarmen före fönstrets montering. Även bottningslist kan användas, se s. 22.
Mellanbjälklag - yttervägg	Plastfolien kläms mot mellanbjälklag med butylband eller löper kontinuerligt förbi mellanbjälklaget, se s. 19-20.
Platta på mark - yttervägg	Plastfolien kläms under syll med butylband. Sylltätning används mellan platta på mark och syll. För ytterligare tätning fogas även plastfolien mot betonggolvet, se s 18.
Skarvar	Skarvarna kläms mellan fasta material med butylband.
FTX-system	Då FTX-system förekommer bör antalet genomföringar reduceras genom att kanalerna placeras i undertak eller takhörn.
Spotlights	Spotlights bör undvikas eller placeras i undertak.
Vindsluckor	Vindsluckor bör undvikas. Inspektion kan ske genom taklucka.
Erfarenhetsåterföring	Erfarenhetsåterföring bör ske mellan projekten för att kommunicera lyckade lösningar och på så sätt bygga en stabil grund för framtida arbete med lufttäthet.

6.4 Förslag på fortsatta studier

Nedan presenteras förslag på fortsatta studier inom ämnen lufttätethet:

- **Lufttätande materials beständighet.** Det råder en osäkerhet kring de lufttätande materialens beständighet och huruvida den försämras över tid. Det är relevant att studera i vilken utsträckning de olika materialens beständighet försämras samt förmedla detta till produktionen.
- **Kostnadsökning.** Det är relevant att studera kostnadsökningen i projekt som lägger stor vikt vid god lufttätethet. Hur kan kostnaden optimeras och vad är ekonomiskt hållbart?
- **Erfarenhetsåterföring.** Det är viktigt att kunna förmedla kunskap mellan olika byggprojekt och på så sätt utnyttja kunskaperna inom företaget. Det gäller även förmedlingen av kunskap mellan projektörer och produktion. Det vore intressant att undersöka hur erfarenhetsåterföringen ser ut idag och hur den kan förbättras.

7 Litteraturförteckning

Böcker

- Adalberth, Karin 1998, *God lufttätthet, en guide för arkitekter, projektörer och entreprenörer*. T5:1998. Byggeforskningsområdet, Stockholm.
- Boverket 2006, *Regelsamling för byggande, BBR*. BFS 1993:57 med ändringar till och med 2006:12. Boverket, Publikationsservice, Karlskrona.
- Boverket 1994, *Boverkets byggregler: föreskrifter och allmänna råd*. BFS 1993:57. Boverket, Karlskrona.
- Lindh, Arne 1979, *Byggnaders lufttätthet*. R38:1979. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.
- Sveriges Byggindustrier 2007, *Lufttätthetens handbok*. FoU-Väst, Göteborg.
- Sveriges Byggindustrier 2009, *Lufttätthetens kontroll*. FoU-Väst, Göteborg.

Forskningsrapporter

- Wahlgren, Paula 2010, *Goda exempel på lufttäta konstruktionslösningar*, SP Rapport 2010:09, SP Energiteknik.
- Sandberg, P I m.fl. 2007, *Lufttätthetsfrågorna i byggprocessen – Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler*. SP Rapport 2007:23. SP Energiteknik.
- Sandberg P I och Sikander E 2004, *Lufttätthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning*. SP Rapport 2004:22. SP Energiteknik.
- Sikander E och Wahlgren P 2008, *Alternativa metoder för utvärdering av byggnadsskalets lufttätthet*. SP Rapport 2008:38. SP Energiteknik.
- Hägerhed Engman L & Svensson O 2009, *Förbättringsmöjligheter av lufttäteten i byggnader – erfarenheter och exempel från lufttätthetsmätningar*, Konferens Passivhus Norden, Götenerg, april 2009.
- Sikander, E 2010, *ByggaL – metod för kvalitetssäkring av Lufttäta byggnader*. Pågåend SBUF-projekt: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Examensarbeten

- Johansson, Mikael 2004, *Byggnaders lufttätthet – en studie av utformning och praktiskt utförande av konstruktionsdetaljer i klimatskärmens lufttäta skikt*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Examensarbete inom avdelningen för Byggnadsteknologi.
- Martinsson, Linda 2008, *Passivhusteknik i ett svenskt klimat – en byggnadsfysikalisk riskinventering och erfarenhetssammanställning av befintliga passivhusprojekt*. Chalmers tekniska högskola. Examensarbete inom avdelningen för Byggnadsteknologi.
- Mattsson, Björn 2004, *Luftläckage i bostäder – litteraturstudier, modellering och mätningar*. Chalmers tekniska högskola. Licentiatarbete inom avdelningen för Byggnadsteknologi.

Tidsskrifter

Sandberg PI, Sikander E & Larsson B 2007, Lufttäthetens inverkan på innemiljön och energianvändningen. *Bygg & Teknik, Vol. 5/07*, ss 21-24

Sveriges Byggindustrier (2007), *Lufttäthetens lov, Vol. 1*, ss 1-4

Sveriges Byggindustrier (2008), *Lufttäthetens lov, Vol. 2*, ss 1-4

Broschyr

Brander, Peter (2005), *Fukt 1, Plastfolie*. Skanska Sverige AB

Elektroniska källor

Boverket (2009), *Regelsamling för byggande, BBR 2008. 6 Hygien, hälsa och miljö* [pdf]. Hämtat från: <http://www.boverket.se/bbr> (2010-01-27)

Boverket (2008), *Regelsamling för byggande, BBR. Supplement februari 2009, 9 Energihushållning* [pdf]. Hämtat från: <http://www.boverket.se/bbr>. (2010-01-27)

Isover (2009), *System för lufttäthet och fuktsäkerhet* [pdf]. Hämtat från http://www.isover.se/files/Isover_SE/Om_Isover/Kontakta_oss/Broschyrer_Bygg/System%20for%20lufttatning.pdf. (2010-02-04)

Isover (2007), *Isoverboken: Arbetsanvisningar – Fukt- och lufttäthet* [pdf]. Hämtat från <http://www.isover.se/broschyrer/h%C3%A4mta+hem+eller+best%C3%A4ll/byggisolering/ladda+hem+isoverboken>. (2010-02-04)

Isover, *Lufttäthet och ventilation* [www]. Hämtat från <http://www.isover.se/byggkonstruktioner+och+tekn+installationer/bbr/luft%C3%A4thet+och+ventilation>. (2010-02-10)

Muntliga källor

Fallbring, Patrik (Produktionschef, Skanska Sverige AB) intervjuad 2010-03-04

Johansson, Glenn (Produktionschef, Skanska Sverige AB) intervjuad 2010-03-03

Ljung, Efraim (Produktionschef, Skanska Sverige AB) intervjuad 2010-03-18

MacRae, Andrew (Produktionschef, Skanska Sverige AB) intervjuad 2010-03-08

Nilsson, Oskar (Produktionsledare, Skanska Sverige AB) intervjuad 2010-03-10

Nygård, Christian (Produktionsledare, Skanska Sverige AB) intervjuad 2010-03-09

Nylin, Lennart (Produktionschef, Skanska Sverige AB) telefonintervju 2010-03-17

Sjölund, Andreas (Produktionschef, Skanska Sverige AB) intervjuad 2010-02-26

Öjersson, Leif (Produktionschef, Skanska Sverige AB) telefonintervju 2010-03-18

Studiebesök

Byggprojekt i Nicklasberg (Skanska Sverige AB), medverkade vid en provtryckning 2010-01-20

CHALMERS Bygg- och miljöteknik, Examensarbete 2010:24