

Luftrörelser i och kring konstruktion, del 3

Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratorie- mätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning



Per Ingvar Sandberg, Eva Sikander

Luftrörelser i och kring konstruktion, del 3

**Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen
– Kunskapsinventering, laboratorie-
mätningar och simuleringar för att
kartlägga behov av tekniska lösningar
och utbildning**

Abstract

Air flows in and around built structures, Part 3: Consideration of airtightness in the construction process - Knowledge audit, laboratory measurements and simulations in order to determine the need for technical solutions and training

The purpose of this project has been to identify those structures and construction processes that are critical, and which knowledge and technical design features that need to be developed in order to achieve better airtightness. This has been done by an audit of current knowledge and visits to construction sites, backed up by simulations of various typical cases. The work has also included preparation of a list of available information on leakage characteristics and laboratory measurements of various types of air leakage for which there is no information in the literature.

Six construction sites were visited in order to obtain information on airtightness design features and principles employed today. Variations in the quality of workmanship were also studied.

Attitudes, experience and wishes of a number of persons involved in the construction sector were also collected through interviews and conversations.

The airtightness performance of a number of solutions that were seen on our site visits were tested in the laboratory. The purpose of these tests was to provide a basis for comparison of various solutions and thus identify areas for, and means of, improvement in present-day construction.

A list of the tests of various details has been produced, covering not only the SP laboratory tests but also other tests found described in the literature.

The report also describes a number of examples of simulations of the consequences of inadequate airtightness.

The conclusions that can be drawn from the project are that improvements in the airtightness of buildings is dependent primarily on more/better training and information. This needs to be accompanied by such measures as improved quality assurance, design details and methods, the use of new materials/products and methods of inspection.

Key words: Airtightness, Air leakage, Workmanship, Laboratory testing, Airtightness testing, Simulation, Construction sites.

**SP Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 2004:22
ISBN 91-7848-995-4
ISSN 0284-5172
Borås 2004

**SP Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 2004:22

Postal address:
Box 857,
SE-501 15 BORÅS, Sweden
Telephone: +46 33 16 50 00
Telefax: +46 33 13 55 02
E-mail: info@sp.se

Innehållsförteckning

Abstract	2
Förord	5
Sammanfattning	6
1 Bakgrund	9
2 Syfte och projektplan	11
3 Erfarenheter från byggarbetsplatsbesök	13
3.1 Inledning	13
3.2 Beskrivning av lösningar för lufttäthet i klimatskal.....	13
3.3 Beskrivning av variationer i arbetsutförande	18
3.4 Täthetslösningar att utvärdera genom provning på laboratorium	19
4 Kunskapsinventering	21
4.1 Inledning	21
4.2 Förberedelser.....	21
4.3 Intervjuade personer.....	21
4.4 Sammanfattning av svar.....	21
4.5 Attityder till lufttäthet	22
4.6 Hur hanteras lufttäthetsfrågorna på din arbetsplats?	22
4.7 Behov av information och utbildning.....	23
4.8 Orsaker till bristande lufttäthet.....	23
4.9 Kritiska detaljer.....	24
4.10 Behov av nya material och produkter	25
4.11 Konsekvenser av bristande lufttäthet	25
4.12 Mät- och kontrollmetoder	26
4.13 Lufttäthet i äldre och nyare byggnader	26
4.14 Goda exempel	26
5 Laboratoriemätningar – sammanställning	27
5.1 Allmänt.....	27
5.2 Sammanställning av olika täthetsprovningar	28
5.3 Skarvar i det inre tätskiktet	30
5.4 Skarvar i vindskydd.....	33
5.5 Anslutning mellan betongyta och syll/hammarband	33
5.6 Anslutning mellan inre tätskikt och syll/hammarband.....	35
5.7 Anslutningar vid fönster/dörrar	36
5.8 Genomföringar	38
5.9 Resultat från täthetsprovning – hel väggsektion	39
6 Modellering och datorsimuleringar av luftläckage	41
6.1 Värmeväxling i en yttervägg vid påtvingad konvektion	41
6.2 Funktion hos dynamisk isolering	43
6.3 Luftomsättning vid olika lufttäthet.....	44
6.4 Fuktkonvektion – luftrörelsernas påverkan på fuktförhållandena.....	46
6.5 Beräkning av yttemperaturer vid läckage mellan syll och betongplatta	47

7	Summering och slutsatser.....	49
7.1	Summering	49
7.2	Rekommendationer	50
7.3	Ytterligare idéer	52
8	Referenser	55

Bilageförteckning

Bilaga 1 (4 sidor)

Del 1 Modellering av luftrörelser inom och genom byggnadsdetaljer

Part II System modelling and analysis of the air transport in and through the building envelope as a part of a whole building

Bilaga 2 (6 sidor)

Luftrörelser i och kring konstruktion

Bilaga 3 (12 sidor)

Arbetsplatsbesök – beskrivning av konstruktioner och arbetsutförande

Bilaga 4 (12 sidor)

Frågeformulär: Svarssammanställning

Bilaga 5 (25 sidor)

5.1 Resultat från provning av elementläckor på laboratorium

5.2 Genomförande av laboratoriemätningar

Bilaga 6 (20 sidor)

6.1 Modellering och datorsimuleringar av luftläckage

6.2 Air transport in and around the building – selected examples of the application of the code

Förord

Projektet är en del i ett samarbete mellan Chalmers Tekniska Högskola (CTH), Byggnadsfysik och SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Byggnadsfysik om luft rörelser i och kring konstruktion.

Texten i föreliggande rapport är huvudsakligen skriven av Per Ingvar Sandberg och Eva Sikander, men även Björn Mattsson och Angela Sasic har medverkat och har bl a skrivit bilaga 6. Till projektet har även en examensarbetare, Mikael Johansson, varit knuten och delar av hans arbete ingår också i rapporten. Claes Bankvall har varit projektledare och Rolf Jonsson och Pär Åhman har svarat för projektsamordning. Hela projektgruppen redovisas närmare i bilaga 2. FoU-Väst har varit referensgrupp för projektet.

Projektet är till största delen finansierat av SBUF, men även SP och CTH har varit del-finansiärer.

Texten har organiserats så att de viktigaste resultaten redovisats i kapitel 1 till 7 och bakgrundsmaterial, förutsättningar, detaljer mm lagts i bilagorna 1 till 6.

Vi tackar härmed alla som på olika sätt bidragit till denna rapport!

Borås 2004-05-10

Per Ingvar Sandberg

Eva Sikander

Sammanfattning

Syftet med projektet har varit kartlägga vilka konstruktioner och arbetsmoment som är kritiska och vilka kunskaper och tekniska lösningar som behöver utvecklas för att uppnå bättre lufttätethet. Detta har gjorts dels genom en kunskapsinventering och besök på byggarbetsplatser, dels genom simuleringar av olika typfall. I arbetet har också ingått en inventering av tillgängliga uppgifter om läckagekaraktäristika och laboratoriemätningar på olika typer av luftläckage där litteraturuppgifter saknas.

Sex byggarbetsplatser har besökts i syfte att samla in uppgifter om lufttätetslösningar som används idag. Även variationer i arbetsutförande har studerats. Variationen av arbetsutföranden och lösningar för lufttätethet är stor. Några sådana variationer som kan nämnas är:

- lösning för skarv mellan två PE-folier
- lösning för anslutning av t ex vägg mot betongbjälklag
- anslutningen vid fönster
- arbetsutförandet och tekniska lösningar för genomföringar.

Attityder, erfarenheter och önskemål hos ett antal personer i byggsektorn har insamlats genom intervjuer och samtal. De viktigaste resultaten kan sammanfattas enligt nedan:

- Uppfattningarna om lufttätethets betydelse varierar mycket och med några undantag betraktas inte lufttätetheten som någon viktig fråga.
- De viktigaste två skälen till brister i lufttätetheten uppges vara dåliga ritningar/konstruktioner och bristande kunskap/motivation.
- Det finns stort behov av information/utbildning.
- De mest kritiska detaljerna är olika typer av genomföringar.
- Många är ganska okunniga om negativa effekter av luftläckage och anger bara försämrad termisk komfort ("drag") och ökad energianvändning (på grund av ökade ventilationsförluster).
- Intresset för mät/kontrollmetoder var svagt.

På laboratoriet täthetsprovades ett flertal lösningar som uppmärksammades vid arbetsplatsbesöken. Syftet med provningen på laboratorium var att kunna jämföra olika lösningar och därmed få kunskap om förbättringsmöjligheter i dagens byggande. De viktigaste resultaten kan sammanfattas enligt nedan:

- Klämning av skarv med gips eller glesplaner mot träregel gav ett läckage som var av samma storleksordning som läckaget vid 1200 mm och 600 mm omlottläggning över regel och med klämning med isolering.
- Skarvar i vindskydd kan utföras mycket täta om specialtillverkade t ex skarvlistor används.
- Tre provade tätningslistor under syll gav olika läckage. Läckaget vid den tätaste lösningen var 30-40 gånger mindre än för den mest otäta lösningen. Tätheten påverkas även av betongens ytstruktur.
- Läckaget vid fönster var 4-5 gånger större för den sämsta lösningen än för de bästa.
- Genomföringar där hål i PE-folien skurits för stort medger avsevärda läckage.

En lista över tähetsprovningar av olika detaljer har gjorts. Såväl de egna laboratorieprovningarna som provningar funna i litteraturen har sammanställts.

I rapporten redovisas också några exempel på simuleringar av konsekvenser av bristande lufttätethet. De behandlar dynamisk isolering, funktion hos F- och FT-ventilerade småhus, fuktkonvektion och kalla golv.

De slutsatser som kan dras av projektet är att förbättringar av lufttätetheten i första hand kräver ökad utbildning och information. I andra hand kommer bl a utveckling av konstruktionslösningar/metoder, nya material/produkter och kontrollmetoder. De rekommendationer som ges är:

- Utveckla hjälpmedel för utbildning och information om lufttäthetsfrågorna i byggprocessen!
- Utveckla hjälpmedel för att säkerställa att lufttäthetsfrågorna får en mer central roll i kvalitetsarbetet!
- Se till att bra konstruktionslösningar blir kända och använda i projektering och på byggarbetsplatser!
- Beskriv behov och önskemål för byggmaterialproducenter!
- Utveckla tryckmetoden för användning i radhus och stora byggnader!

Ytterligare några frågor som diskuteras är Täthetspris, Beständig eller underhållsbar lufttätning samt Konstruktionslösning på byggarbetsplatsen.

1 Bakgrund

Luftrörelser i och kring konstruktion och material påverkar såväl fukt- som värmeflödet i en byggnad. Luftrörelser spelar ofta en avgörande roll för fukttransporten och därmed för fuktbalansen i klimatskalet. Denna påverkar konstruktionens beständighet, möjlig materialemmission och risken för mögelpåväxt, dvs såväl inomhusmiljön som byggnadens miljöbelastning. Luftrörelser genom klimatskalet påverkar den termiska komforten och ventilationen och därmed inneklimatet. Luftrörelserna påverkar värmeförlusterna dels direkt som en del av ventilationen, dels genom sin inverkan på funktionen hos isolermaterial och högisolerande konstruktioner. Luftrörelserna inverkar på energianvändningen och detta påverkar även byggnadens miljöbelastning. Allt detta leder till krav på materialval, konstruktionsutformning, arbetsutförande, kvalitetssäkring och på byggprocessen.

Dessa skador/olägenheter, som kan vara mer eller mindre allvarliga och frekventa, kan drabba olika byggnadsdelar som en konsekvens av bristande lufttätthet:

Skada/olägenhet	Byggnadsdel
Ökade värmeförluster, genomblåsning	Hela byggnadsskalet, inkl genomföringar
Ökade värmeförluster, anblåsning	Väggar och vindsbjälklag
Försämrad komfort, golvdrag, kalla golv	Anslutning bjälklag – golv; mellanbjälklag
Försämrad komfort, lufthastighet, drag	Väggar, fönster/dörrar
Frysrisk	Byggnadsskalet vid invändigt undertryck
Fuktkonvektion	Byggnadsskalet vid invändigt övertryck
Funktion hos ventilationssystem, friskluftsmängder och ventilationseffektivitet	Hela byggnadsskalet
Mot- och medflödeskonstruktioner	Konstruktioner med dynamisk isolering
Gas-, lukt- och partikelspridning, försämrad luftkvalitet, ökat städbehov	Byggnadsskalet vid invändigt undertryck, mellan lägenheter/trapphus
Renrumsteknik	Speciella konstruktioner
Ljudisolering	Mellan bostad och ute eller trapphus/grannar
Radon spridning	Från mark och grund

Vi vet alltså att många skador/olägenheter är en följd av fel i lufttätheten. De kan bli dramatiska i samband med fuktproblem men mindre tydliga då de påverkar t ex inneklimat och energihushållning. Detta gäller både i nybyggnation och inte minst vid åtgärder i befintliga byggnader.

Vi vet att kunskapen om betydelsen och konsekvenserna av lufttätthet/otätthet ofta inte finns eller inte alltid används. I vissa fall förs motsatt information ut, t ex väggar som ska andas i ekologiskt byggande.

Vi kan inte idag bedöma konsekvenserna av varierande täthetsgrad i klimatskalet. För detta krävs **beräkningsmodeller** och **indata från laboratiormätningar** på relevanta otätheter liksom **kunskap** om den situation som ska analyseras. För detta krävs en systematisk genomgång och inventering av den verkliga situationen i det praktiska byggeriet idag.

Programmet ”**Luftrörelser i och kring konstruktion**”, som utvecklas på Byggnadsfysik, CTH, förutsätter samverkan med branschen och olika forskningsmiljöer.

Programmet har förberetts i en förstudie och en ansökan till Formas: "Luftförelser i och genom byggnadens klimatskal" har beviljats i väsentliga delar i december 2001. Detta arbete pågår nu på CTH och innefattar det samlade programmets två första delar:

- 1. Modellutveckling för konvektiva processer i byggandskomponenter.**
- 2. Systemanalyser av luftförelser mellan delkomponenter i hel byggnad.**

Programdelarna 1 och 2 beskrivs kort i bilaga 1.

Den tredje delen i programmet:

3. Lufttätetsfrågorna i byggprocessen

med inriktning på tillämpning och byggprocessen är indelad i två etapper A och B, vilka behandlar inventering, kunskapssammanställning, laboratoriemätningar, förklaringsmodeller och implementering med information och utbildning. Finansiering för etapp A i denna del har beviljats av SBUF och resultaten redovisas i denna rapport.

I etapp A görs med stöd i programdel 1 och 2 en kartläggning av vilka konstruktioner och arbetsmoment som är kritiska och vilka kompetenser och tekniska lösningar som behöver utvecklas för att uppnå bättre lufttätethet. Detta görs dels genom en kunskapsinventering, dels genom laboratoriemätningar på olika otättheter och simuleringar av olika typfall.

Ytterligare information om de olika programdelarna och hur de samverkar finns i bilaga 2.

2 Syfte och projektplan

Syftet med den första etappen i del 3 har varit - att med stöd i del 1 och del 2 - kartlägga vilka konstruktioner och arbetsmoment som är kritiska och vilka kompetenser och tekniska lösningar som behöver utvecklas för att uppnå bättre lufttätethet. Detta har gjorts dels genom en kunskapsinventering och besök på byggarbetsplatser och dels genom simuleringar av olika typfall. I arbetet har också ingått en inventering av tillgängliga uppgifter om läckagekaraktäristika och laboratoriemätningar på olika typer av luftläckage där litteraturuppgifter saknas.

Uppläggningsen av arbetet i denna etapp kan illustreras enligt nedan. I en kunskapsinventering kartläggs ett antal personers erfarenheter och kunskaper om otätheter och deras orsaker och konsekvenser. Parallellt uppmäts läckagedata och simuleras luftrörelser som en följd av vanliga brister i lufttätetheten. Därefter görs en sammanställning och analys av resultaten som grund för slutsatser och rekommendationer.

Kunskapsinventering	Simuleringar
Förberedelser, besök på byggarbetsplatser	Beräkningsmodeller
Intervjuer	Läckagedata och validering
Sammanställning	Kvantifiering av skador/olägenheter
Analys och slutsatser	

I följande kapitel redovisas resultaten från projektet

3. Besök på byggarbetsplatser för att studera vilka lufttätetslösningar som används idag;

4. Kunskapsinventering för att kartlägga attityder, erfarenheter, behov och önskemål;

5. Laboratoriemätningar för att se på effektiviteten i olika lösningar och inverkan av arbetsutförande;

6. Simuleringar (kvantifiering) av skador/olägenheter av luftrörelser för att demonstrera användningen av beräkningsverktyg och jämföra simulerade resultat med erfarenheter från byggarbetsplatsen

7. Summering och slutsatser. Redovisningen har gjorts tämligen kortfattad och alla detaljer och primärdata har lagts i bilagor.

3 Erfarenheter från byggarbetsplatsbesök

3.1 Inledning

Sex byggarbetsplatser har besökts i syfte att samla in uppgifter om lufttätetslösningar som används idag. Även variationer i arbetsutförande har studerats. Erfarenheterna från dessa arbetsplatsbesök har, tillsammans med erfarenhet från tidigare utförda lufttätetsutredningar och lufttätetsprovningar vid SP, legat till grund för den provning på laboratorium som genomförts inom ramen för detta projekt och som beskrivs i kapitel 5.

Studien har inte ambition att täcka in alla de täthetslösningar som finns idag. Dock är avsikten att några av de vanligaste lösningarna som används vid prefabricerade byggnader och platsbyggda hus skall finnas representerade.

Variationen i arbetsutföranden av lösningar för lufttätet är stor. Några vanliga variationer som vi sett och som återkommer från arbetsplats till arbetsplats har vi dock studerat och sammanställt för att kunna utvärdera på laboratorium. För laboratoriemätningar, se kapitel 5.

Samtliga byggprojekt som besökts uppförs av olika byggnadsentreprenörer och även byggherren är olika i alla sex fallen. En närmare beskrivning av de olika objekten finns i bilaga 3.

Tabell 3.1 I tabellen framgår vilken typ av bärande stomme och produktionsteknik som använts i de olika byggnaderna.

Hus	Bärande konstruktion	Produktionsteknik
1	Bärande stomme i betong, utfackningsväggar med plåtreglar	Platsbyggnation
2	Bärande stomme i betong, utfackningsväggar med plåt- och träreglar	Platsbyggnation
3	Bärande stomme i betong. Väggar med träreglar	Prefabricerade element
4	Bärande stomme i trä	Prefabricerade element
5	Bärande stomme i trä	Prefabricerade element
6	Tillbyggnad med stålstomme	Platsbyggnation

3.2 Beskrivning av lösningar för lufttätet i klimatskal

De lufttätande lösningarna har delats in i följande tre huvudgrupper:

- Skarvar, t ex skarv mellan två plastfolier. Skarvar mellan plastfolier förekommer i väggar och tak.
- Anslutningar, t ex anslutning av det lufttäta skiktet mot fönster, betongbjälklag, betongväggar och putsade ytor.
- Genomföringar i det lufttäta skiktet av t ex ventilationskanaler, eldosor och elrör.

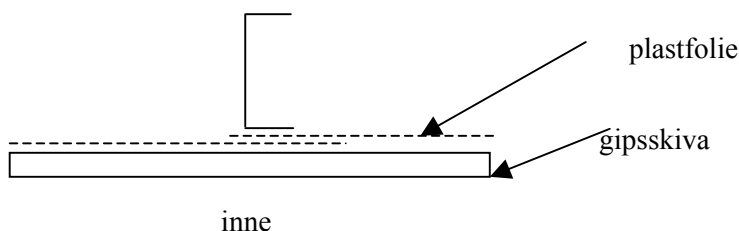
De lösningar som identifierats vid arbetsplatsbesöken beskrivs mer i detalj i bilaga 3.

3.2.1 Skarvar

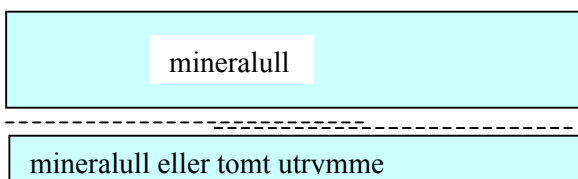
Skarvar mellan två plastfolier i väggar och tak förekommer i samtliga byggnader. Skarvarna i tak finns på ett mellanrum som motsvarar plastfolierullens bredd. Skarvar i vägg finns placerade med mellanrum som varierar från byggarbetsplats till byggarbetsplats. I de flesta fall monteras plastfolien genom att rulla ut och montera plastfolien horisontellt. Därmed kan byggnadsarbetaren själv välja avståndet mellan skarvarna. Avståndet styrs framförallt av det praktiska arbetsutförandet varvid skarv ofta placeras i hörn.

Utformningen av skarv varierar enligt följande (se figurerna nedan):

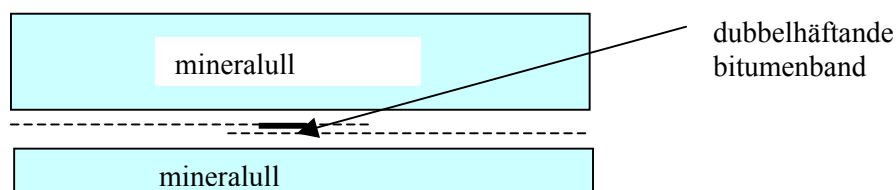
- Överlapp med isolering på båda sidor (se figur 3.2).
- Överlapp med isolering på en sida och luftspalt på andra (se figur 3.2).
- Överlapp placerad över väggregel eller glespanel och ”klämning med isolering” (se figur 3.4).
- Överlapp placerad över väggregel eller glespanel och klämning med gips eller gles (se figur 3.1).
- Överlapp tätad med dubbelhäftande butylgummiband (se figur 3.3).



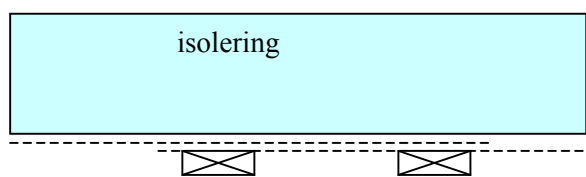
Figur 3.1 Skarv mellan två plastfolier är utförd med överlapp och klämning med gipsskiva mot plåtregel. Klämningen kan även ske med glespanel. Lösningen har tidigare provats på laboratorium med träregel istället för plåtregel – se [Sikander, Olsson-Jonsson, 1997].



Figur 3.2 Skarv mellan två plastfolier är utförd med överlapp som varierar mellan 10-100 cm. I hus 2 och 4 finns mineralull på båda sidor om plastfolien. I hus 3 finns väggar där det endast finns mineralull på utsidan. Olika varianter på lösningen har provats på laboratorium. Fall där skarven är placerad ovan träregel har tidigare provats på laboratorium [Sikander, Olsson-Jonsson, 1997].



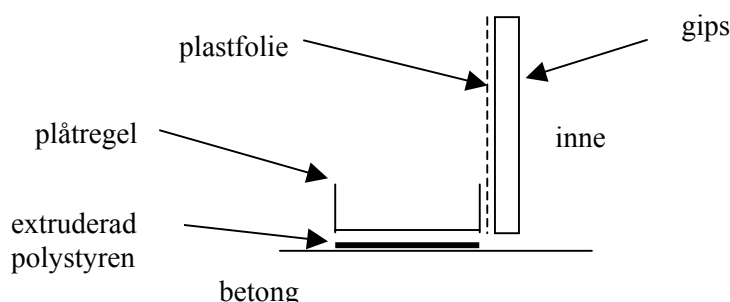
Figur 3.3 Skarv mellan två plastfolier tätad med dubbelhäftande bitumenband. På vissa ställen är en stödskena i plåt placerad bakom plastfolien.



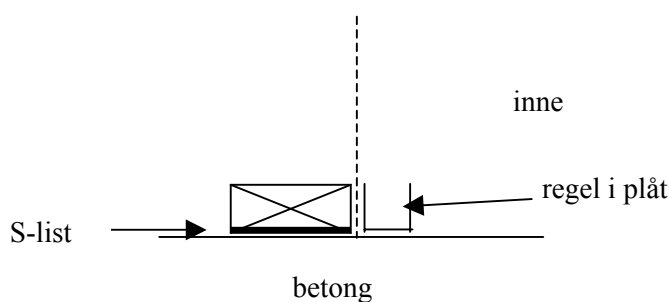
Figur 3.4 Skarv mellan plastfolier i tak. Klämning med isolering mot glespanel. Lösningen har provats på laboratorium [Sikander, Olsson-Jonsson, 1997].

3.2.2 Anslutningar

I flertalet av de besökta byggnaderna förekommer anslutningar mellan vägg och betongplatta/betongvägg/betongbjälklag. Lösningarna för detta ser olika ut från byggarbetsplats till byggarbetsplats. Se figurer 3.5 och 3.6 nedan.

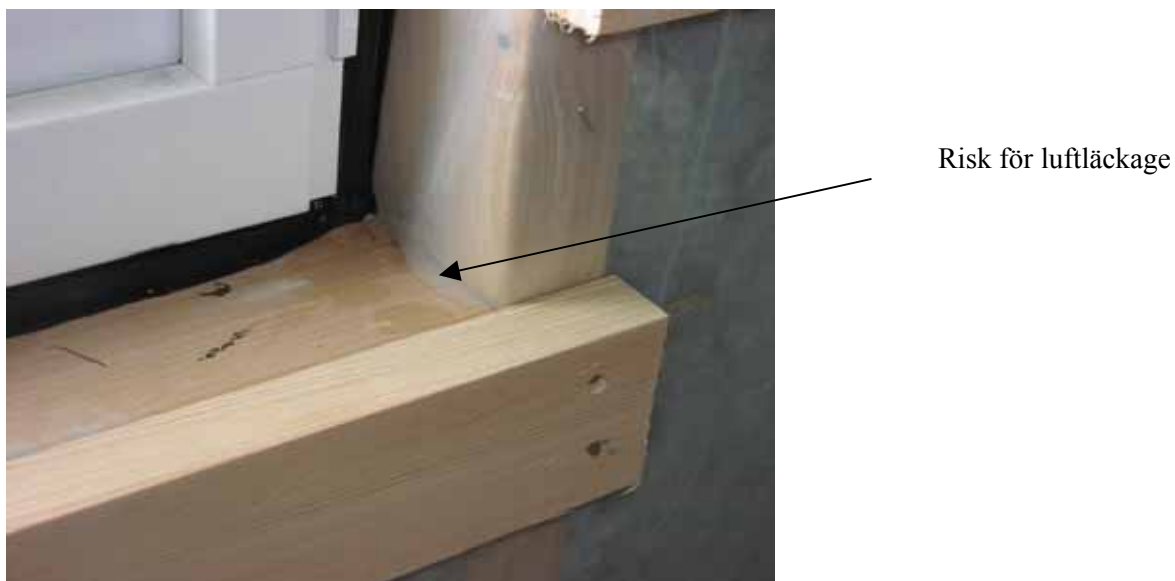


Figur 3.5 Anslutning av utfackningsvägg mot betong (bjälklag och vägg). Regeln kan utföras med trä eller plåt. Tätremsan under regeln kan utgöras av andra material såsom S-list eller asfaltpapp. Lösningen har provats på laboratorium – se bilaga 5.1, konstruktion 1-5 samt 6 och 9.

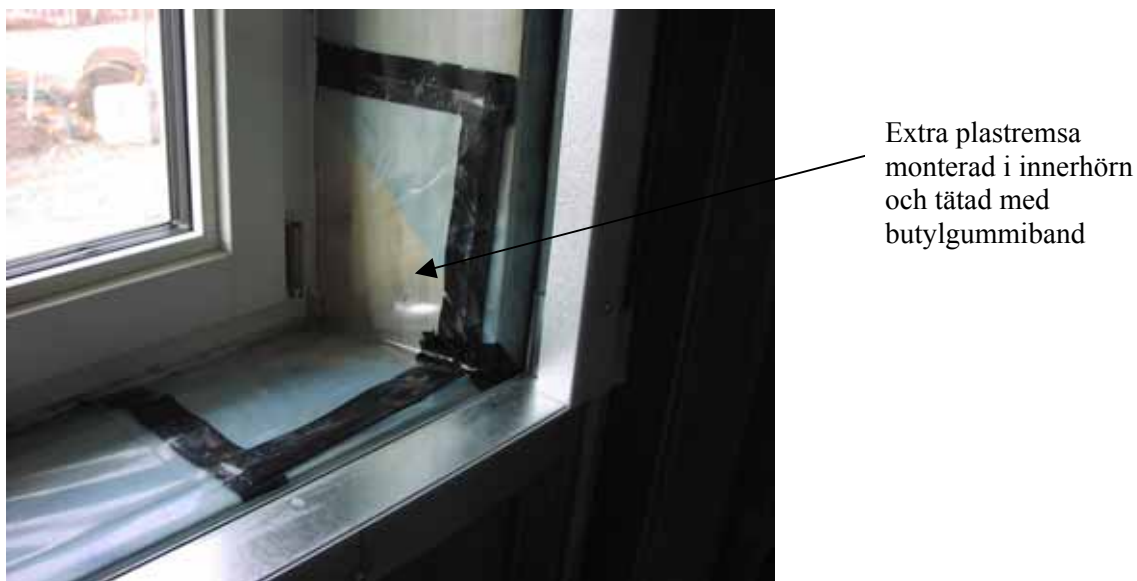


Figur 3.6 Anslutning av utfackningsvägg mot betong (bjälklag och vägg). Reglar kan utgöras av trä eller plåt. Tätremsan under regel kan utgöras av andra material såsom extruderad polystyren eller asfaltpapp. Lösningen har provats på laboratorium – se bilaga 5.1, konstruktion 1-5 samt 10.

Även vad gäller anslutning av plastfolie mot fönster har utformningen varit lite skiftande. I de flesta fallen har plastfolien vikts in mot fönsterkarm och en tätning med fogmassa mellan plastfolie och karm har gjorts. Utförandet av inviket har varierat såsom framgår av bilaga 3. I vissa fall har en extra plastremsa applicerats i smygens innerhörn, i andra fall har denna remsa utelämnats. På samma sätt har tätningen av denna remsa mot övrig plastfolie utförts på varierande sätt, t ex ingen tätning alls eller tätning med dubbelhäftande butylgummiband.



Figur 3.7 Anslutning av plastfolie mot fönster genom invik av plastfolien och fogning mot karm. Lösningen har provats på laboratorium.



Figur 3.8 Anslutning av plastfolie mot fönster genom invik av plastfolie, tätning med extraremsor i innerhörn, tätning med butylgummiband och fogmassa runt fönsterkarm.

3.2.3 Genomföringar

I de flesta av de besökta byggnaderna är plastfolien indragen för att undvika genomföringar av till exempel eldosor. Genomföringar i det lufttätande skiktet av plastfolie förekommer trots detta i samtliga hus. I flera fall har genomföringen gjorts genom ett mindre hål än kanalen/röret tagits i plastfolien. I andra fall där hålet är större än kanalen/röret har otätheten tejpas eller tätats med fogmassa. Se figur 3.9 nedan. Motsvarande genomföringar har provats på laboratorium.



Figur 3.9

Genomföring av elrör har tätats med fogmassa



Figur 3.10

En håltagning som gjorts efter det att den inre väggbeklädnaden är monterad är svår att täta effektivt.

I ett av husen har man genom omsorgsfull planering lyckats väl med att ha endast ett fåtal genomföringar. De genomföringar som finns är för ventilationskanaler. För dessa har specialkanaler tillverkats försedda med metallflänsar som överlappar plastfolien som sedan klämmas tillsammans med dubbelhäftande bitumenremsor. Se figur 3.11.



Figur 3.11

En specialtillverkad täthetslösning för genomföring av kanaler genom plastfolien.

3.3 Beskrivning av variationer i arbetsutförande

Variationer i arbetsutförande vad avser skarvar i plastfolie förekom på samtliga bygg- arbetsplatser.

3.3.1 Skarvar

Detaljer där arbetsutförandet skiljer sig:

- Utförandet av skarvar mellan två plastfolier där omlottläggningens längd varierar mellan 20 cm och 150 cm.
- Utförandet av skarvar mellan två plastfolier där den ena plastfolien bubblar och anläggningen mellan de två inte blir optimal.
- Infästning av skarvar med klamrar med olika c/c.
- Vid vissa möten mellan konstruktioner är skarvningar svåra att lösa eftersom många material och tätskikt möts. Dessa möten löses olika.



3 lager plastfolie möts och skall klämmas

Figur 3.12 I ett innerhörn där två väggytor och en takyta möts kan det bli flera lager plastfolie som skall sluta tätt mot varandra samtidigt som plastfolierna veckas. Detta kan vara svårt att få bra arbetsutförande på.



Figur 3.13 En bubbla har bildats vid monteringen av plastfolien. En sådan bubbla skapar sämre förutsättningar för lufttätning.

3.3.2 Anslutningar

Detaljer där arbetsutförandet skiljer sig:

- Anslutning mot fönster där plastfolien viks in mot fönsterkarm har utförts på olika sätt. Det ena arbetsutförandet innebär att det blir en öppning i plastfolien i varje hörn. Vid det andra arbetsutförandet har denna öppning kompletterats med en tillskuren bit av plastfolie.
- Infästning av syll, regel och hammarband mot betong vid utfackningsväggar. Infästningen kan utgöras av expanderad bult eller med skjutpistol.
- Utstickande skruvskallar där klämning av plastfolie skall göras mot till exempel plåtregel.
- Spalter som bildas oavsiktligt på grund av variationer i arbetsutförande medför läckage.

3.3.3 Genomföringar

Detalj där arbetsutförandet skiljer sig:

- Håltagning i plastfolien som är för stor i förhållande till röret eller kanalen som skall föras igenom. Storleken på hålet varierar inom stort intervall.

3.4 Täthetslösningar att utvärdera genom provning på laboratorium

Flertalet lösningar för lufttätet samt variationer i arbetsutförande som beskrivits ovan har provats på laboratorium. Resultaten från dessa provningar framgår av kapitel 5. En detaljerad beskrivning ges i bilaga 5.1. Syftet med provningen på laboratorium är att kunna jämföra olika lösningar och därmed få kunskap om förbättringsmöjligheter i dagens byggande. Dessutom illustrerar provningar av olika variationer i arbetsutförande hur arbetsutförandet påverkar den slutliga lufttäteten.

4 Kunskapsinventering

4.1 Inledning

Kunskapsinventeringen har gjorts som en intervjuundersökning hos ett antal aktörer inom byggsektorn kompletterat med samtal med flera personer vid arbetsplatsbesök. Mycket erfarenhet och kunskap finns hos praktiskt verksamma personer och det bästa sättet att komma åt denna kunskap är att ställa ett antal konkreta frågor och sedan sammanställa svaren. Denna sammanställning redovisas i detta avsnitt.

4.2 Förberedelser

Med syftet att skapa en bild av hanteringen av lufttätetsfrågorna i byggbranschen formulerades ett antal frågeställningar med inriktning mot:

- attityder till lufttätet
- hur hanteras lufttätetsfrågorna på arbetsplatsen
- behov av information och utbildning
- orsaker till bristande lufttätet
- kritiska detaljer
- behov av nya material och produkter
- konsekvenser av bristande lufttätet
- mät- och kontrollmetoder
- lufttätet i nyare och äldre byggnader
- goda exempel

Det formulär som användes vid de flesta av intervjuerna redovisas i bilaga 4.1.

4.3 Intervjuade personer

Tio personer har intervjuats under 1 – 1,5 h och med ungefär lika många personer har kortare samtal förts. Dessutom har synpunkter inhämtats från deltagarna i projektet och från projektets referensgrupp. De längre intervjuerna har spelats in på bandspelare och en skriftlig sammanfattning av innehållet har gjorts för varje intervjutillfälle. Dessa sammanfattningar redovisas i bilagorna 4.2 till 4.9. Materialet har anonymiserats så att namn och arbetsplats tagits bort, medan befattning, utbildning och ålder bibehållits.

4.4 Sammanfattning av svar

En sammanfattning av alla svar och intryck vi har fått under projektet redovisas nedan under rubrikerna i punktlistan ovan. Även en del mera direkta citat från enskilda personer har tagits med för att belysa olika frågeställningar. Dessa citat anges i kursiv stil.

Underlaget är naturligtvis alldeles för begränsat för statistisk behandling och bestämda slutsatser. Vår uppfattning är ändå att det - trots denna begränsning – träder fram en ganska tydlig bild av hur man ser på olika frågeställningar om lufttätet.

4.5 Attityder till lufttätethet

Majoriteten tycker att lufttätethet är ganska viktigt, men ganska många är tveksamma (*"ibland blir det för tät..."*, *"plastfolie känns fel..."*, *"man hade ju bra inneklimat tidigare i otäta hus..."*, *"fukt viktigare än lufttätethet ..."*, *lufttätethet viktig för huset – inte för mig ...*, *"det är ju de unga som bott i plasthus hela livet som får allergier"*, *"det är väl viktigt att luft kan röra sig i väggen så att fukt inte stängs inne"*). Några har inte helt klart för sig vad begreppet lufttätethet egentligen innebär och har svårt att skilja mellan lufttätethet, diffusionstäthet och värmemotstånd samt ventilerade skikt i konstruktionen. *"Här är så väl isolerat med mineralull att det säkert är lufttätt..."*.

Man har också uppfattningen att attityderna är mycket varierande hos arbetskamraterna (*"sitter inte i ryggmärgen..."*, *"yngre tar lufttätethet mer på allvar..."*)

Högre chefer uppges vara ointresserade eller okunniga och ställer aldrig några krav vad gäller lufttätethetsfrågorna (*"förutsätter att vi klarar av det på arbetsplatsen..."*, *"inte chefens bord..."*)

Vad gäller andra aktörer på byggarbetsplatsen så klagas på att EI/VVS-entreprenörerna inte bryr sig om lufttätetheten och att projektörerna slarvar (se vidare nedan under orsaker till bristande lufttätethet).

4.6 Hur hanteras lufttätethetsfrågorna på din arbetsplats?

Ritningar/beskrivningar uppges vara huvudinformationen på arbetsplatsen för att bygga lufttäta konstruktioner. Dock uppges de flesta att det finns stora brister i ritningar och konstruktioner och att många frågor ändå måste lösas på arbetsplatsen. *"Ofta fungerar ritningslösningarna inte på arbetsplatsen..."*, *"hälften löst på ritningar – resten måste vi lösa på arbetsplatsen..."*, *"tänk igenom bättre på ritbordet..."*, *"ritningar/beskrivningar säger att det skall vara tät, snarare än hur ..."*.

Den konsult vi intervjuat håller naturligtvis inte med om dessa brister, men påpekar att vissa arkitektoniska lösningar kan vara svåra att få lufttäta. Han tycker också att det saknas feedback från arbetsplatsen, dvs han vet inte hur väl ritningarna och konstruktionerna fungerat.

En synpunkt från en projektledare i linje med detta är att projektörerna sällan besöker byggarbetsplatser för att se hur deras lösningar blir i "verkligheten". Därigenom ser projektören inte vilka brister ritningar har så att förbättring kan ske till nästa gång. Projektledaren anser det även viktigt att en granskning av lufttäta lösningar görs på projekteringsstadiet. Han har i något fall anlitat en expert på lufttätethetsfrågor för att granska och stötta projektörerna i denna fråga. Målet har varit att det inte skall ske några oplanerade lösningar eller genomföringar på byggarbetsplatsen. Detta mål har man lyckats med, med undantag av ett möte mellan ett tak och en vägg som man "missat" under projekteringen. Även en speciallösning för genomföring av kanaler projekterades och tillverkades.

Många platschefer har utbildning/genomgång på arbetsplatsen inför nya moment (*"sätter oss i boden för kort info ibland..."*). På någon byggarbetsplats har ett fåtal byggnadsarbetare specialutbildats på lufttätethetslösningarna. Dessa personer har sedan utfört allt arbete med montering av det lufttäta skiktet. En kontinuerlig kontroll av täthetsutförandet har skett och markeringar gjorts med färgpenna. Täthetsprovning har utförts innan de inre skivorna monterats så att eventuella brister kunnat åtgärdas. Arbetet har givit resultat i en lufttät byggnad med ett läckage på endast 0,1 l/m²s.

Lufttätthet finns sällan med i kontrollplanen och är i varje fall aldrig en viktig punkt. Inte heller på byggmöten förekommer lufttätetsfrågorna särskilt ofta.

Eftersom det finns ett utbrett missnöje med ritningar och konstruktioner på byggarbetsplatsen har vi vid flera tillfällen ställt frågan om det inte vore bättre att flytta resurser och ansvar för lufttäteten från projekteringen till byggskedet. Då skulle projektören bara ange ett täthetskrav och alla detaljer lösas på arbetsplatsen där man borde ha lättare att se de verkliga problemen. Ingen har tyckt detta förslag vara genomförbart med motiveringen att det inte finns tid och kompetens på byggarbetsplatsen. Möjligen döljer sig bakom svaren också inslag av traditionalistiskt rolltänkande och ovilja att ta på sig ett större ansvar.

4.7 Behov av information och utbildning

Det råder stor enighet om att mer information och utbildning behövs. Man kan tydligt urskilja två olika syften med en förbättrad utbildning/information:

- bättre kunskaper skapar medvetenhet om problemen och ökad motivation för att åstadkomma en god lufttätthet;
- bättre kunskaper om material och metoder underlättar arbetet och ger bättre möjligheter till god lufttätthet.

I synnerhet den första punkten anser man vara mycket viktig (*"kunskaperna finns ofta, men attityden är viktig..."*). Liknande svar kommer igen i frågan om orsaker till bristande lufttätthet där man menar att eventuellt slarv, nonchalans och bristande motivation i grunden beror på bristfälliga kunskaper. Några påpekar också att den första punkten ovan gäller flera andra i byggprocessen och nämner särskilt beställare, arkitekter, projektörer samt el- o VVS-entreprenörer.

När det gäller formerna för information/utbildning finns många olika synpunkter och önskemål. Såväl teoretisk information som praktisk information/demonstration om lufttätthet och dess konsekvenser efterfrågas.

Flera olika former för föredrag/information nämns: korta kurser (halvdag max), information på arbetsplatsen, tryckt material, byggplatsbibliotek, demonstration, modeller, videofilm, rök, termogram, visa konsekvenser mm. *"Skulle uppskatta kort, intensiv teoretisk utbildning ..."*, *"en halv dag om teori, fallgropar, risker, erfarenhetsutbyte – kort och koncis info..."*

Flera pekar också på att utbildning/information skall vara kort och effektiv och vara väl anpassad till mottagaren (*"viktigt med behovsanpassning – rätt info till varje grupp..."*).

4.8 Orsaker till bristande lufttätthet

Vi har vid intervjuerna diskuterat en rad orsaker till bristande lufttätthet. En sammanfattning av svaren ges i tabellen nedan:

Orsak	Uppfattning
Konstruktion, teknisk lösning	Mycket ofta
Ritningar	Ofta
Material	Mycket sällan
Tidspress, ackord	Ibland

Orsak	Uppfattning
Slarv, nonchalans	Sällan
Motivation saknas	Ofta
Okunnighet	Mycket ofta

Det sammanfattande intrycket är att det finns två viktiga orsaker till att det blir bristande lufttäthet:

- Brister i konstruktioner och/eller ritningar. De flesta tycker att dessa brister är dominerande och lägger skulden på både projekteringsledet för okunskap och dålig förståelse för behoven på arbetsplatsen och på beställaren som inte upphandlar de konsulttjänster som skulle behövas. *”Det brister i konstruktionslösningar – konsulterna blir arga när man påpekar det.”*
- Brister i kunskaper som leder till slarv, nonchalans, dålig motivation och felaktiga prioriteringar. Flera pekar på det välkända förhållandet

”Förståelse ⇒ Motivation ⇒ Bättre jobb”

och tror inte att problemen särskilt ofta beror på fusk (medvetet slarv) eller tidspress. Brister i förståelse hos arbetsledningen för betydelsen av lufttäthet kan också leda till dåliga eller obefintliga rutiner för kontroll på arbetsplatsen.

Uppfattningarna om incitament eller belöningsystem skulle kunna fungera är delade. Några trodde att det skulle kunna ge bättre resultat medan andra menade att det inte är viljan utan kunskapen som saknas.

4.9 Kritiska detaljer

Svaren har sammanställts i nedanstående tabell.

	Detalj	Antal som anger att detaljen är kritisk
Genomföringar	Genomföringar allmänt	xxxxx
	Eldosor, elrör	xxx
	Ventilationskanaler, skorstenskanaler	xx
Anslutningar tätskikt - material	Täta mot stålstomme, ståldetaljer	xxx
	Täta mot betong	xx
	Täta mot isolering	x
Anslutningar mellan byggnadsdelar	Mellanbjälklag	xxx
	Kontinuitet i övre och undre våningens tätskikt	x
	Balkonger, terrasser	x
	Fönster/dörrar (karm-vägg)	xxx
	Stödbensväggar	x
	Utfackningsväggar	x
Fogar, skarvar	Fogar, skarvar	x

Genomföringar, speciellt eldosor, pekas ut av många som kritiska detaljer. Att täta mot stål, betong och isolering anges också av många som ett problem. Visst bekymmer vållar också tätningen mellan byggnadsdelar, t ex fönster och dörrar och anslutningen mellan bjälklag - yttervägg, där det ofta blir otätt med bl a kalla golv som följd. Fogar och skarvar anses inte vara något större problem.

4.10 Behov av nya material och produkter

Generellt sett uttrycktes inga stora behov av nya material eller produkter. Vid närmare diskussion menade dock några att det säkert skulle gå att utveckla bättre material/metoder. Andra säger att de speciella hjälpmedel som finns inte används för att de är för dyra eller för att ingen har tid att beställa dem.

”Det skulle behövas bättre material/metoder för eldosor, men ofta säger man att det är för dyrt med specialgrejer ...”, ”kragar eller liknande för eldosor och elrör skulle behövas ...”, ”det finns bra lösningar i Karin Adalberts bok ...”, ”nytt system behövs för folie + skarvar ...”, ”varför finns inte lufttäta elskåp ...”

På frågan om vad man anser om beständighet och livslängd hos de material som skall svara för lufttäteten i byggnadsskalet svarade de allra flesta att de inte trodde att det var något problem eller att de aldrig funderat på frågeställningen. Någon uttryckte tveksamhet mot beständigheten hos tape.

4.11 Konsekvenser av bristande lufttätet

Svaren har sammanställts i nedanstående tabell.

	Konsekvens	Antal svar
Energi	Ökad energianvändning, transmissionsförluster	xx
	Ökad energianvändning, ventilationsförluster	xxxxxxx
Komfort	Drag	xxxxx
	Kalla golv	x
Fuktskador	Fuktkonvektion	xxxx
Luftkvalitet	Funktion hos ventilationssystem	xxxx
	Spridning av lukter, partiklar, gaser inkl radon	xx
Annat	Frysrisk hos installationer	x
	Försämrade ljudisolering	x

Precis som väntat hade de intervjuade skadeutredarna utförliga synpunkter på skador/olägenheter som konsekvens av bristande lufttätet. De flesta av aktörerna i byggprocessen hade en mycket snävare bild och uppgav i stort sett bara energi (ökade ventilationsförluster) och termisk komfort (drag) som oönskade konsekvenser. Några visste också att luftläckage kan vålla fuktskador och störa funktionen hos ventilationssystemet.

En slutsats är att de flesta av aktörerna i byggprocessen är ganska okunniga om och också delvis ointresserade av konsekvenserna av bristande lufttätet och här ligger nog en av förklaringarna till att lufttäthetsfrågorna inte tillräckligt ofta tas på allvar. Se också under avsnittet ”Orsaker till bristande lufttätet” ovan.

4.12 Mät- och kontrollmetoder

De flesta hade inga synpunkter och noterade att lufttäteten mycket sällan kontrolleras trots att det finns krav i BBR. Några tyckte att tryckprovningssmetoden är bra och att den kommer till bäst nytta om den kombineras med läcksökning. Någon påpekade att lufttäteten bör kontrolleras i ett så tidigt skede som möjligt för att man skall kunna dra nytta av resultaten. Det framfördes också önskemål om utveckling av tryckprovningssmetoden bl a för användning i radhus och stora byggnader.

Ett svagt intresse fanns för att utveckla metoder för att mäta på lokala luftläckage för att lära sig bygga tätare och hitta lokala felkällor

”Används sällan, trots att det finns krav i BBR ...”, ”tryckprovning i kombination med läcksökning är mycket bra...”, ”kan finns behov av att mäta lokala läckage - ett verktyg för att lära sig bygga tätare...”, ”tryckmetoden bra, men behöver utvecklas för användning vid radhus...”, ”svårt att prova stora hus – något bör utvecklas...”, ”vore också intressant med en metod som använder det egna ventilationssystemet...”

4.13 Lufttätet i äldre och nyare byggnader

Den vanligaste uppfattningen är att lufttäthetsfrågorna hade sin glanstid på 1970-talet och att då mycket resurser ägnades åt nya metoder, nya material, utbildning/information och kontroller. Sedan dess har intresset för lufttätet minskat betydligt och är idag oftast ingen viktig fråga.

”Intresset har avtagit – kommunernas kontroller har upphört – kvalitetsansvariga förstår inte problemen...”

4.14 Goda exempel

De flesta hade inte särskilt mycket att säga på den här punkten, vilket är ganska naturligt med hänsyn till det svaga intresset för lufttäthetsfrågorna. Lindomehusen (”hus utan värmesystem”) och Hjaltevadshus nämndes några gånger.

På frågan om vilka faktorer som medverkat till goda resultat blev svaret ungefär: motivation och engagemang hos alla inblandade, bra konstruktioner och tillräckliga resurser. En projektledare (byggherrens representant) kunde själv konstatera att ambitiöst krav på lufttätet, noggrant arbete med granskning och kontroll under projekterings och byggskede, specialutbildning av byggnadsarbetare kombinerad med daglig kontroll och uppföljande täthetsprovning har givit mycket gott resultat.

”Lyfte fram kraven...”, ”rätt material – rätt förutsättningar – tillräckliga resurser...”, ”platschefen var mycket engagerad, men det blev dyrt – drog många timmar...”, ”detta objekt blir bra – genomtänkta konstruktioner ...”, ”behövs bra konstruktion och bra förutsättningar...”, ”eldsjäl, kunskap och motivation...”

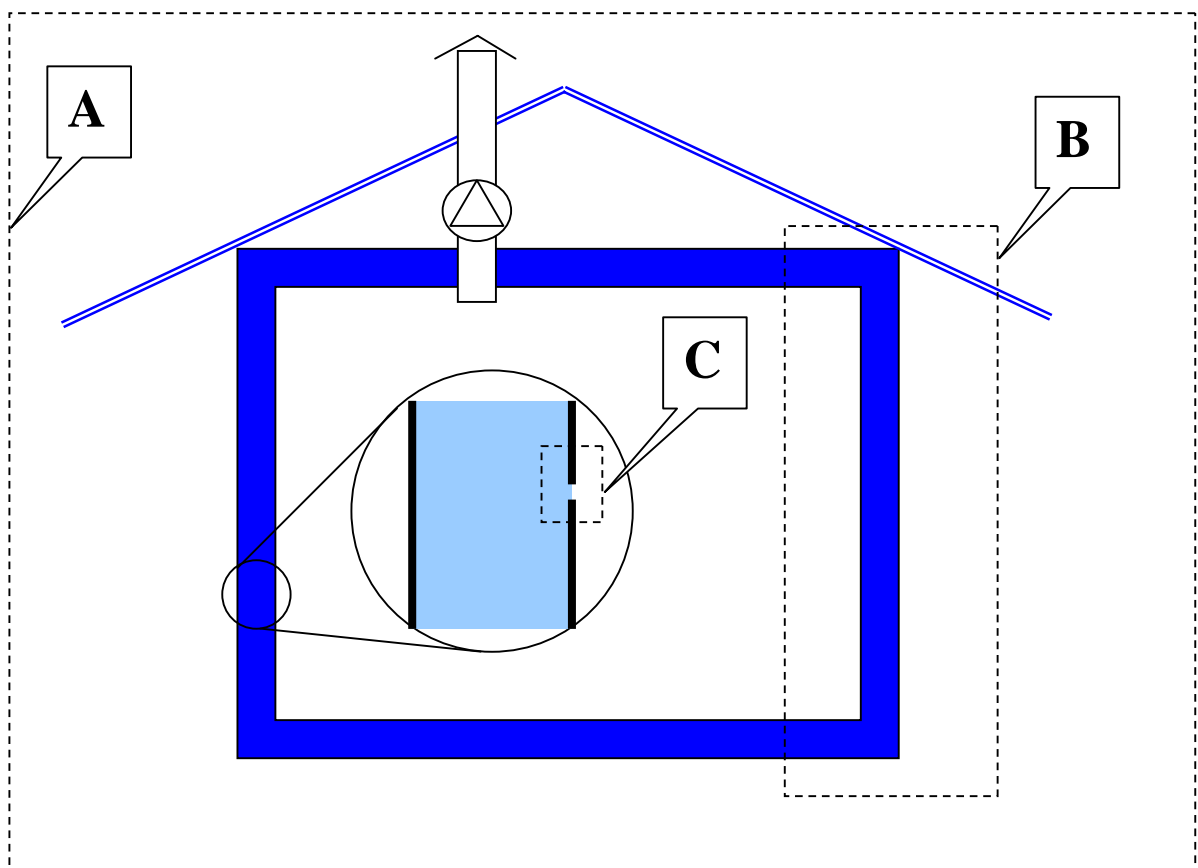
5 Laboriemätningar – sammanställning

5.1 Allmänt

Laborieprovningar av olika lösningar för lufttätethet redovisas inom detta kapitel. Syftet med provningen på laboratorium är att kunna jämföra olika lösningar och därmed få kunskap om förbättringsmöjligheter i dagens byggande. Dessutom illustrerar provningar av olika variationer i arbetsutförande hur arbetsutförandet påverkar den slutliga lufttäteten.

Bakgrunden till valet av detaljlösningar för provning på laboratoriet är att de skall representera sådana lösningar som ofta används i dagens byggande. Utgångspunkt för detta urval har varit de byggarbetsplatsbesök som utförts.

Läckagen i en byggnad kan ses som läckage genom en hel byggnad, genom del av byggnaden alternativt som läckage genom enskild öppning i det lufttäta skiktet. Se figur nedan. De läckage som undersökts inom ramen för detta projekt är framförallt elementarläckagen (dvs läckage genom enskilda öppningar i tätskiktet). En provning har dock genomförts även på en del av en vägg (nivå B enligt figur nedan).



Figur 5.1 Läckagen i en byggnad kan betraktas såsom läckage för hel byggnad (A), läckage genom byggnadsdel (B) eller såsom elementarläcka (C).

Elementarläckagen kan indelas i 3 huvudgrupper:

- Skarvar såsom skarv mellan två plastfolier. Skarvar mellan plastfolie förekommer i väggar och tak.
- Anslutningar såsom anslutning mot fönster, betongbjälklag, betongväggar och putsade ytor.
- Genomföringar av till exempel ventilationskanaler, eldosor och elrör.

Provningens genomförande och mätnoggrannhet framgår av bilaga 5.2. Resultaten från varje enskild provning framgår av bilaga 5.1.

Provningarna har utförts av Roland Löfström, SP samt av Mikael Johansson, examensarbetare från CTH som varit knuten till projektet.

5.2 Sammanställning av olika tähetsprovningar

I tabellen nedan listas olika uppmätta läckage i det lufttäta skiktet (elementarläckor). I de fall att lösningen har provats i detta eller andra projekt anges källan i någon av kolumnerna till höger.

Tabell 5.1 I tabellen presenteras några detaljer med hänvisning till var resultat från provning av detaljen finns.

Läckageställen	Hänvisning till var resultatet finns redovisat	Denna rapport
Genomföringar		
Eldosa	[Levin, 1991] [Roots,1997] [M. Johansson, 2004]	
Eldosa – bristfällig passning av pe-folie	[M. Johansson, 2004]	
Elrör	Se eldosa	
Ventilationskanal genom undertak	[Levin, 1991]	
Tilluftsventil i yttervägg	Se eldosa	
Gummikrage	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	
Anslutningar		
Träsyll – betongplatta s-list		Bilaga 5, konstruktion 1, 1A (med olika betongstruktur)
Träsyll – betongplatta, tätremsa av extruderad polyeten		Bilaga 5, konstruktion 2, 2A (med olika betongstruktur)
Se ovan, infästn. med expanderbult eller skruv		Bilaga 5, konstruktion 2B, 2C (alternativa infästningar)
Träsyll – betongplatta, tätremsa av asfaltpapp		Bilaga 5, konstruktion 3, 3A

Läckageställen	Hänvisning till var resultatet finns redovisat	Denna rapport
Plåtsyll – betongplatta, tätremsa av extruderad polyeten		Bilaga 5, konstruktion 5, 5A, 5B (med olika betongstruktur)
Karm – träregelstomme - ingen drevning - drevning minull - extra hårt packad drevning minull - minull+bottningslist av PE - skumning med PUR-skum - minull+anslutning med plastfolie	[Gary Proskiw 1993]	
Vägg – syll/hammarband av trä, klämning av pe-folie med gips	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	Bilaga 5, konstruktion 6
Vägg – syll/hammarband av trä, klämning av pe-folie med gipsskiva	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	
Vägg – syll/hammarband av plåt, klämning av pe-folie med gipsskiva		Bilaga 5, konstruktion 9
Vägg – syll/hammarband av plåt, klämning av pe-folie med gipsskiva, skruvskallar sticker upp		Bilaga 5, konstruktion 18
Vägg – syll/hammarband av plåt, klämning av pe-folie med träregel		Bilaga 5, konstruktion 10
Vägg – fönstersmyg med pe-folie invikt i fönstersmyg	[M. Johansson, 2004]	
Vägg – fönstersmyg med pe-folie ej invikt i fönstersmyg	[M. Johansson, 2004]	
Pe-folie - putsad yta, klämning av pe-folie med taklist		Bilaga 5, konstruktion 11
Pe-folie - putsad yta, klämning av pe-folie och tätmassa med taklist		Bilaga 5, konstruktion 12
Utegips anslutning mot träsyll/hammarband	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	
Utegips anslutning mot stålsyll/hammarband		Bilaga 5, konstruktion 13
Vindtät klämd mot träsyll med träregel		Bilaga 5, konstruktion 14
Skarvar		
Klämning av skarv i pe-folie mellan glespanel och träregel	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	
Klämning av skarv i pe-folie mellan gips och träregel	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	
Klämning av skarv i pe-folie mellan isolering och träregel. Skarven löper över 2 träreglar (alternativt glespaneler)	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	
Tätband i skarv	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	
Överlapp mellan två pe-folier 1200 mm, klämning mellan isolering	[M. Johansson, 2004]	

Läckageställen	Hänvisning till var resultatet finns redovisat	Denna rapport
Överlapp mellan två pe-folier 600 mm, klämning mellan isolering	[M. Johansson, 2004]	
Överlapp mellan två pe-folier 200 mm, klämning mellan isolering	[M. Johansson, 2004]	
Överlapp mellan två pe-folier 1200 mm, isolering på en sida, klamring	[M. Johansson, 2004]	
Överlapp mellan två pe-folier 600 mm, isolering på en sida, klamring	[M. Johansson, 2004]	
Överlapp mellan två pe-folier 200 mm, isolering på en sida, klamring	[M. Johansson, 2004]	
Klamringens c/c vid skarv med överlapp mellan två pe-folier	[M. Johansson, 2004]	
Skarv i utegips över träregel	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	
Skarv i utegips med plastlist		Bilaga 5, konstruktion 15
Skarv i vindtät - klämning med glespanel - omlottläggning, klämning isolering	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	
Skarv i innegips över träregel (ingen pe-folie inkluderad)	[Sikander, Olsson-Jonsson 1997]	
Öppen skarv mellan gips 1 mm bred (l=900 mm)		Bilaga 5, konstruktion 16
Öppen skarv mellan gips 3 mm bred (l=500 mm)		Bilaga 5, konstruktion 17
Materialegenskaper		
Säkerhetsfolie	Mtrl-tillverkare	
Pe-folie	Mtrl-tillverkare	
utegips	Mtrl-tillverkare	
isoleringsmaterial	Mtrl-tillverkare	

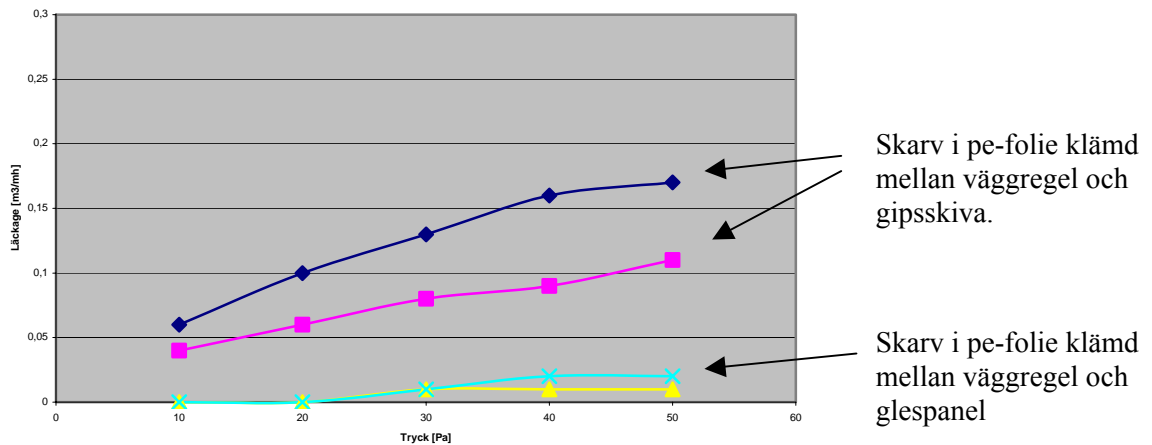
5.3 Skarvar i det inre tätskiktet

Skarvar i tätskikt av plastfolie kan utföras på ett flertal sätt såsom beskrivits i kapitel 3. Här följer en jämförelse av läckagen vid olika tekniska lösningar och arbetsutföranden.

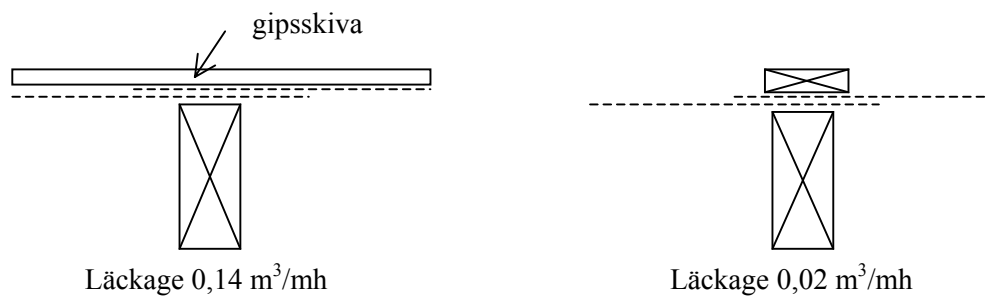
Utformningen av skarv varierar enligt följande:

- Överlapp placerad över väggregel där klämning sker med gips eller gles – se figur 5.3 nedan.
- Överlapp placerad över två gles där klämning sker med isolering – se figur 5.4 nedan.
- Överlapp med isolering på båda sidor - se figur 5.5 nedan.
- Överlapp med isolering på en sida och luftspalt på andra – se figur 5.6 nedan.
- Överlapp tätad med dubbelhäftande butylgummiband.

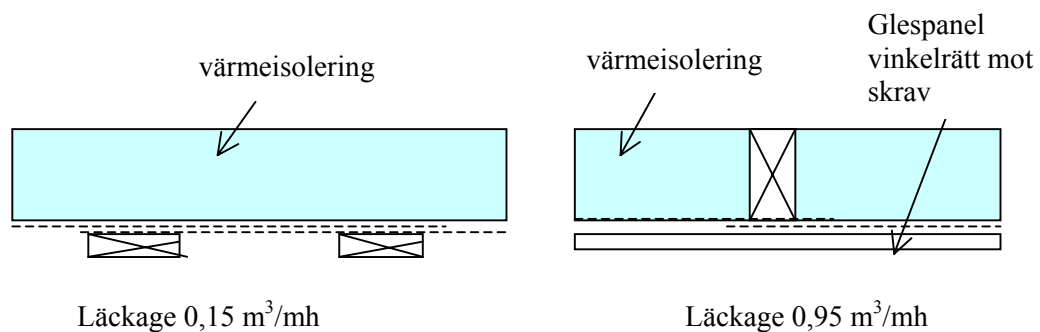
Läckagen vid de olika skarvutförandena framgår av figurer nedan.



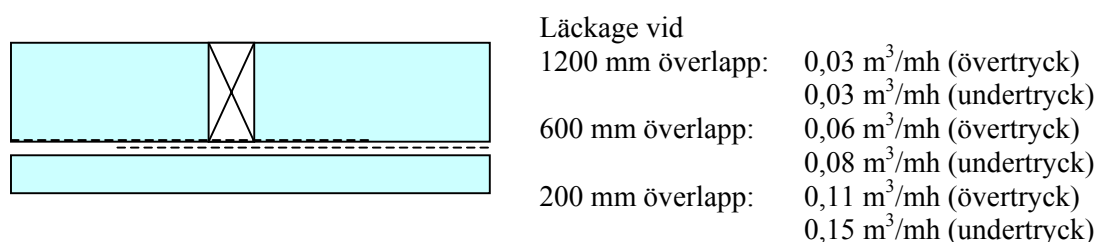
Figur 5.2 Läckaget via skarv i pe-folien vid omlottläggning och klämning av skarven med gipsskiva respektive glespanel. Se utformning enligt figur nedan. Provningsen är genomförd i ett tidigare projekt på SP [Sikander, Olsson-Jonsson, 1997].



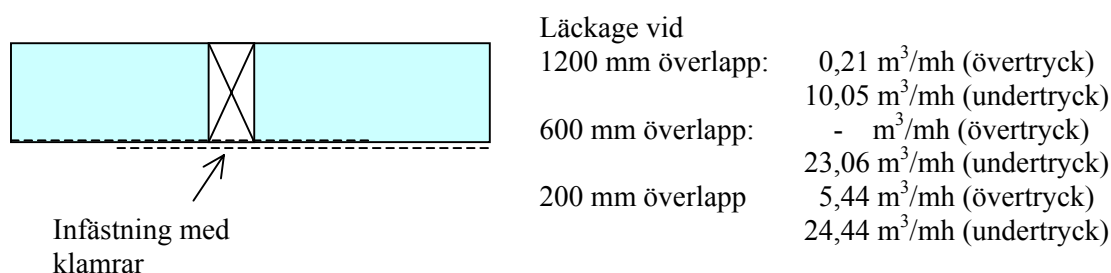
Figur 5.3 Utformning av skarvar som provats och vars läckage framgår av diagram ovan. Läckaget anges såsom läckaget vid 50 Pa tryckskillnad. [Sikander, Olsson-Jonsson, 1997]



Figur 5.4 Tidigare har skarvar i tätskikt som placerats över två glespaneler såsom fallet ofta är i vindsbjälklag provats [Sikander, Olsson-Jonsson, 1997]. Läckaget anges såsom läckaget vid 50 Pa tryckskillnad.



Figur 5.5 Längden på pe-foliens omlottläggning har betydelse för läckaget. Inom ett examensarbete har skarvar med olika omlottläggning enligt ovan provats. Läckaget vid varje figur anges vid 50 Pa tryckskillnad. [Mikael Johansson, 2004].



Figur 5.6 Vid omlottläggning av PE-folien har det stor betydelse om klämning sker eller ej. I figuren är omlottläggningen utförd utan klämning. Provingen är utförd inom ramen för ett examensarbete. Läckaget vid varje figur anges vid 50 Pa tryckskillnad. Inom examensarbetet provades även effekten av extra tät klamring. Extra tät klamring visade att läckaget vid 200 mm överlapp utan klämning halverades vid övertryck och blev cirka 10 gånger mindre vid undertryck (vid 50 Pa). [Mikael Johansson, 2004].

Av ovanstående framgår att

- Klämning av skarv med gips eller glesplaner mot träregel ger ett läckage som är av samma storleksordning som läckaget vid 1200 mm och 600 mm omlottläggning över regel och med klämning med isolering.
- Vid 200 mm omlottläggning över regel och med klämning med isolering fördubblas läckaget jämfört med om 1200 mm överlapp används (vid 50 Pa tryckskillnad).
- Vid omlottläggning utan klämning (med isolering endast på ena sidan) ökar läckaget 30-300 gånger.
- Klamringens c/c har betydelse för tätheten där ingen klämning på annat sätt sker. Endast klamring ger dock generellt sett otäta lösningar.
- Skarvutförande med butylgummiband bedöms vara mycket tät men har ej provats inom ramen för detta projekt.

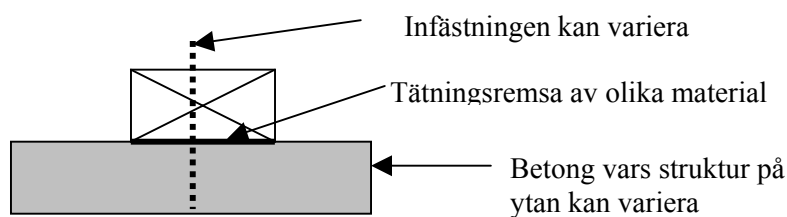
Antalet meter av dessa typer av skarvar i en byggnad är starkt beroende av hur långa längder av PE-folien som monteras i t ex vägg. Vid långa längder blir antalet skarvar endast ett fåtal.

5.4 Skarvar i vindskydd

Vindskyddets lufttätethet är beroende av vindskyddets lufttätethet samt av tätheten på skarvar, anslutningar och genomföringar. Lufttätetsprovning av en plastskena tillverkad för att ansluta två utegipsskivor mot varandra visar att lösningen inte läcker någon mätbar luftmängd (se konstruktion 15 i bilaga 4). I de fall utegipsskivorna möter varandra över en regel har ett läckaget uppmätts till 1,7 m³/mh, se skarvutförande 4 i [Sikander, Olsson-Jonsson 1997]. Många gånger finns dock skarvar som inte tätats varken över regel eller med hjälp av en specielltillverkad skena att ha mellan gipsskivorna. I dessa fall bildas springor mellan gipsskivorna. Läckagen genom sådana springor är betydande, 37 m³/mh vid 1 mm bred springa. Vid 3 mm bred springa ökar läckaget till 92 m³/mh. Se konstruktion 16 och 17 i bilaga 4. Samtliga värden är angivna för tryckskillnaden ± 50 Pa.

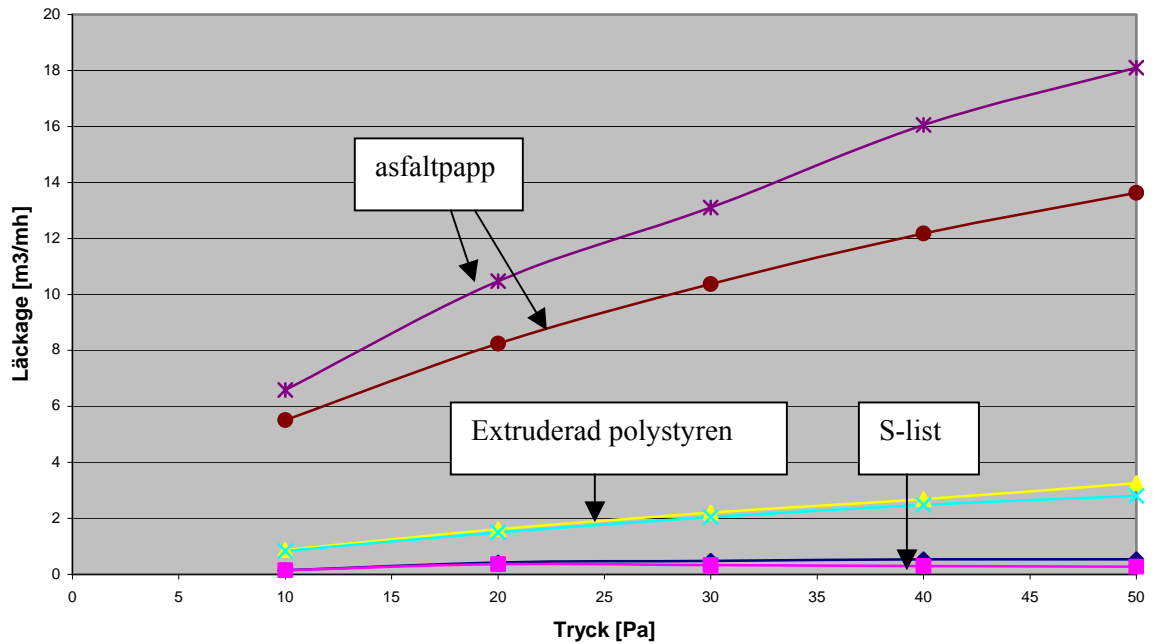
Eftersom läckagen är stora har dessa brister i tekniska lösningar och arbetsutförande stor betydelse för byggnadens lufttätethet om även det inre tätskiktet har brister. Läckagen har även betydelse för konstruktionsdelens värmeisolerande förmåga.

5.5 Anslutning mellan betongyta och syll/hammarband



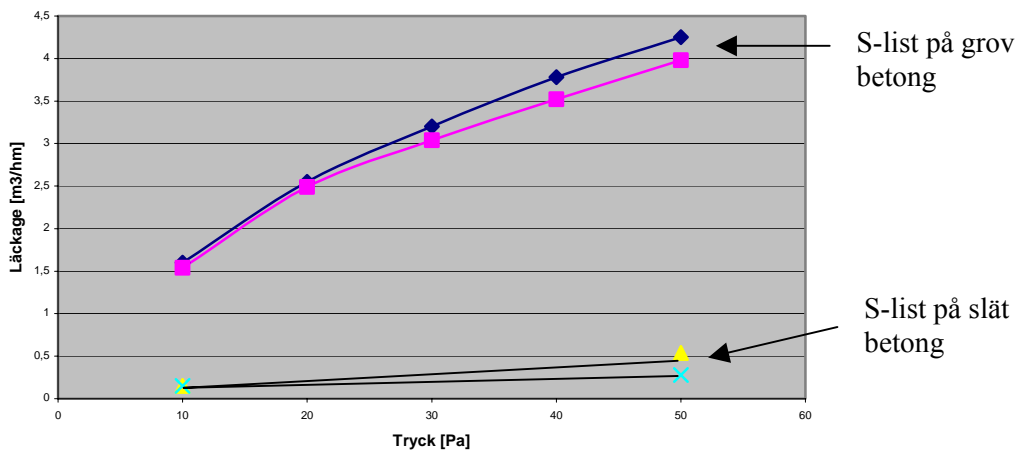
Figur 5.7 Syll infäst mot betongyta. Motsvarande lösning förekommer även vid hammarband eller vid infästning av väggregel mot betongvägg (vid utfackningsväggar).

Infästning av syll, regel och hammarband mot betong är en ofta förekommande anslutningsdetalj. Många meter av denna typ av anslutning förekommer i hus med utfackningsväggar. Förhållandevis betydelsefull är lösningen även där endast syllan ansluter mot en betongplatta. Vid provning på laboratoriet har flera olika typer av tätningstremsor under trä- och stålsyllar, hammarband och regler använts. Resultatet framgår av diagram nedan.



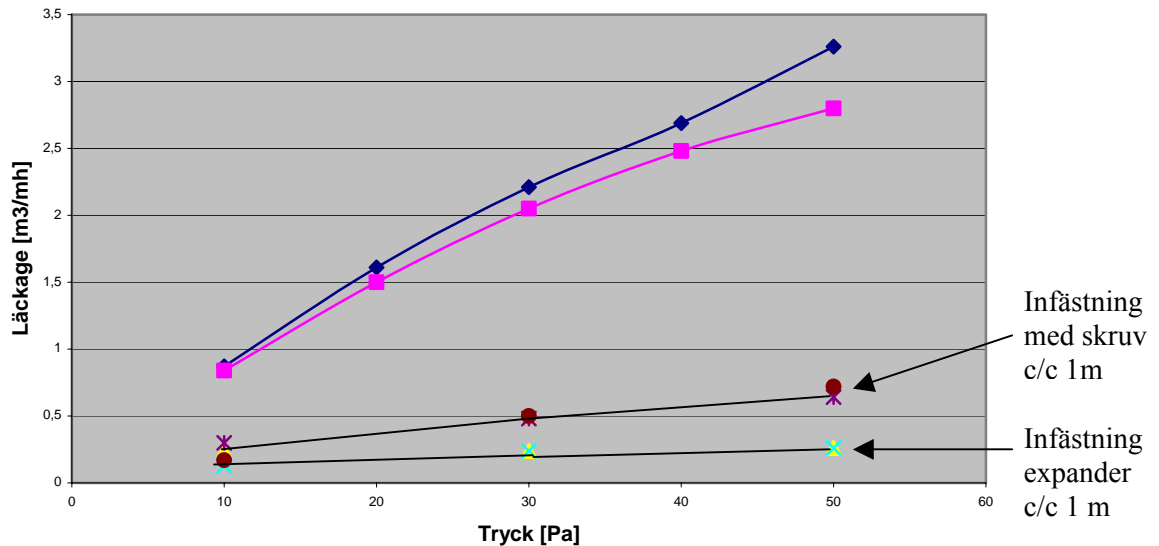
Figur 5.8 Samtliga tätremсор mot underlag av slät betong. S-listen är 6-10 gånger tätare än extruderad polystyren i de fall vi provat. I jämförelse med asfalt-papp är S-listen 30-40 gånger tätare. Skillnaderna är ännu större vid betongytor med grövre struktur. Jämförelserna är gjorda vid 50 Pa tryckskillnad.

Betongens ytstruktur har stor betydelse för tätheten oavsett vilket av de tre materialen som används. Tätningsremсор har således en begränsad möjlighet att tätta i hålrum som uppstår vid betongytan. Av denna anledning bör man eftersträva att ha en slät betongyta i anslutning till syllar, hammarband och regler. Se exempel på provresultat nedan.



Figur 5.9 Strukturen på betongytan under syllan och tätningsremсорn har stor betydelse. Vid fallet då S-list används är läckaget cirka 8 gånger större vid grov betongyta vid 50 Pa tryckskillnad. Motsvarande siffra för extruderad polystyren under syll är 3-4.

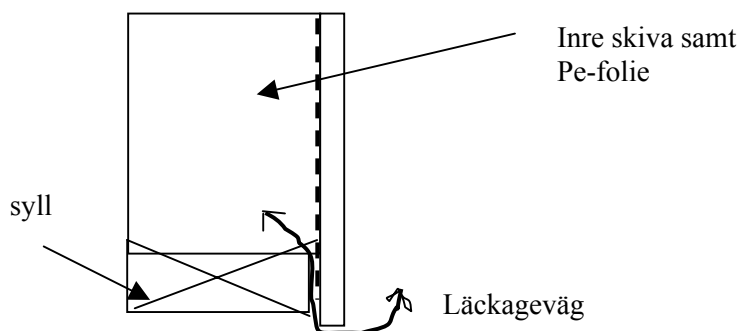
Infästningar av syllar, regler och hammarband mot betong kan utföras på olika sätt. I diagram nedan redovisas infästning med expanderbult och infästning med skruv. Infästning med expanderbult ger enligt provresultatet en tätare lösning. Se konstruktion 2B och 2C i bilaga 4.



Figur 5.10 Valet av infästning av syll/hammarband/väggregel mot en betongyta har betydelse för lufttäteten. Infästning med skruv ger cirka 2-3 gånger större läckage än infästning med expanderbult vid 50 Pa tryckskillnad.

Lufttäteten hos konstruktioner med perforerad plåttregel och tätningssremsa av extruderad polystyrenremsa mot betong är av samma storleksordning motsvarigheten för trä (se konstruktion 2, 2A, 5, 5A i bilaga 4). Vid tätning av perforeringarna minskade läckaget till cirka en tredjedel.

5.6 Anslutning mellan inre tätskikt och syll/hammarband



Figur 5.11 Anslutningen mellan väggens tätskikt av PE-folie och syll/hammarbandet kan utföras på ett flertal sätt av vilka vi provat några på laboratorium.

Tätheten mellan syllen/hammarbandet och det inre tätskiktet har också inverkan på lufttätheten hos anslutningar. Se figur ovan. Syllen kan utgöras av plåt eller trä. Klämningen av PE-folien mot syllen kan utgöras av gips eller träregel. I tabellen nedan jämförs läckagen vid några olika utföranden.

Tabell 5.2 Läckaget mellan det inre tätskiktet och syll/hammarband vid 50 Pa tryckskillnad Resultatet anges som medelvärde av undertryck och övertryck.

	Läckage vid 50 Pa tryckskillnad [m³/mh]	Hänvisning
Syll av trä		
Klämning av PE-folie med gips	0,28	Konstruktion 6 (bilaga 5.1)
Klämning av PE-folie med träregel	0,08	Skarvutförande 7 i [Sikander, Olsson-Jonsson 1997]
Klämning av ”vindtät” med träregel	0,22	Konstruktion 14 (bilaga 5.1)
Syll av plåt		
Klämning av PE-folie med gips	0	Konstruktion 9 (bilaga 5.1)
Klämning av PE-folie med träregel	0,41	Konstruktion 10 (bilaga 5.1)
Klämning av utegips (ingen PE-folie)	0,68	Konstruktion 13 (bilaga 5.1)

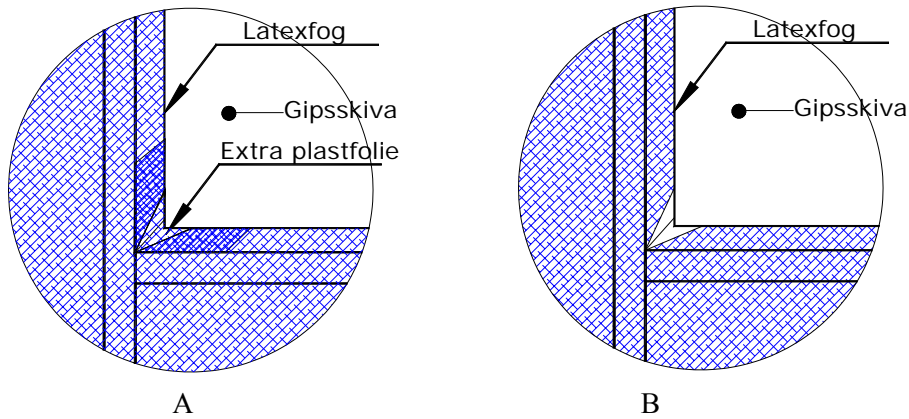
I det fall att skruvskallar sticker upp från plåtregele/syllen finns dock risk för ökat läckage. I vår provning uppmättes en läckageökning på upp till cirka 1 m³/mh vid 50 Pa tryckskillnad. Se konstruktion 18 i bilaga 5.1.

Tätheten vid anslutning av PE-folie mot en putsad yta vid klämning med trälist kan förbättras till att bli ett minimum om en tätmassa kläms mellan den putsade ytan samt PE-folien och trälisten. Vid mätningen på laboratorium sjönk läckaget från 1,3 till 0,03 m³/mh vid 50 Pa tryckskillnad. Se konstruktion 11 och 12 i bilaga 5.1.

5.7 Anslutningar vid fönster/dörrar

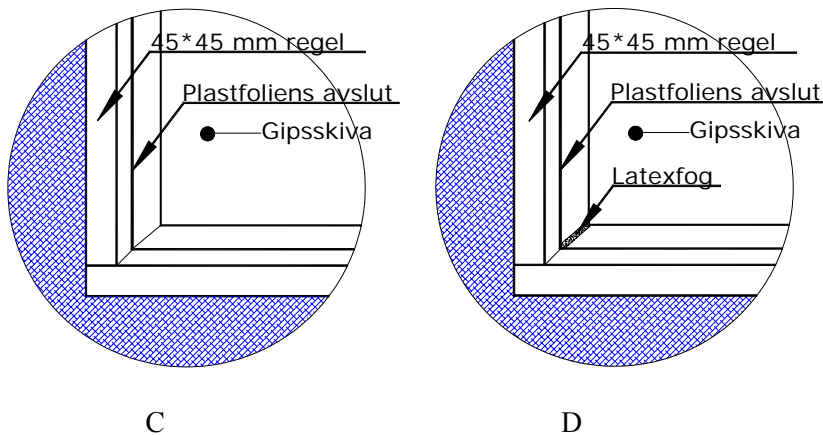
Lösningen för anslutningar kring fönster och dörrar är betydelsefulla eftersom det är en återkommande lösning som utgör många meter läckagerisk i en byggnad. Såsom tidigare påtalats (kapitel 3) finns två principiella lösningar. En lösning där plastfolien skärs av vid väggregeln som fönstret är monterat i och en där plastfolien viks in i fönstersmygen.

Lösningarna för anslutning vid fönstersmyg/dörrsmyg har provats på laboratoriet på SP av examensarbetare från CTH, Mikael Johansson.



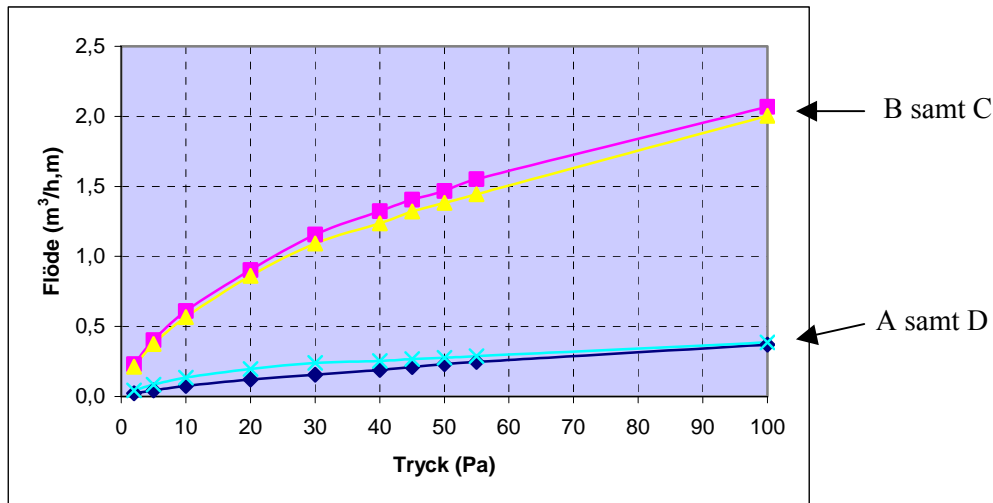
Figur 5.12 Två olika arbetsutföranden för fönstersmyg där PE-folien viks in i smygen. I fall A har komplettering skett i hörn med en tillskuren PE-folie. Figur ritad av Mikael Johansson.

Provnings av invik av PE-folien i fönstersmyg visar att läckage blir mindre om en komplettering av plastfolien sker i hörn med en tillskuren plastfolie fäst med klamrar. Läckaget uppmättes till cirka 4-10 gånger större om kompletteringen inte sker i hörn. Se diagram nedan.

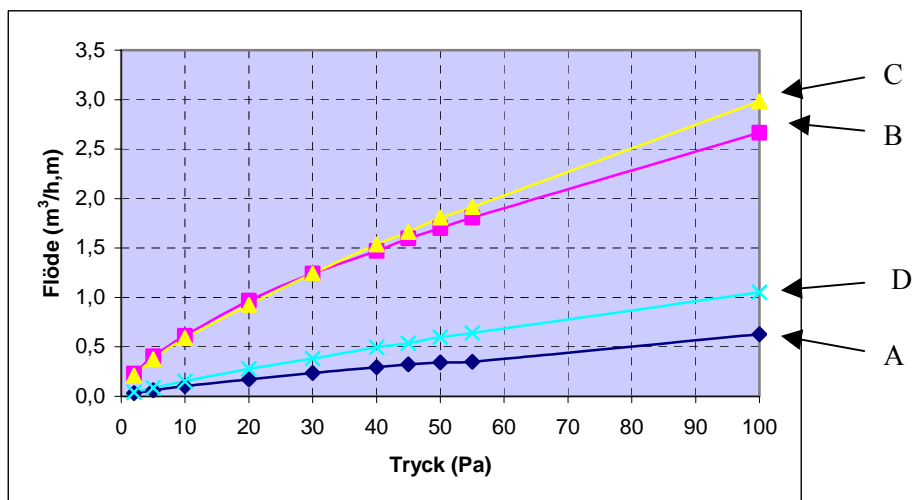


Figur 5.13 Två olika arbetsutföranden vid fönstersmyg där PE-folien skärs av vid väggregel. Lösning D har kompletterats med en mjukfog i vinkeln mellan väggreglarna. Figur ritad av Mikael Johansson.

Provnings av de fall där PE-folien skärs av vid väggregeln och inte viks in i smygen har utförts på två olika sätt. De variationer som provades på laboratorium framgår av figur ovan. Provnings visar att läckaget minskar till en tredjedel om anslutningen mellan reglarna i hörnet kompletteras med en latexfog jämfört med om kompletteringen inte görs. Resultatet framgår av diagram nedan.



Figur 5.14 Resultat av provning vid övertryck. Härav framgår att läckagen i fall A och D är av samma storleksordning och läckagen vid fall B och C är av samma storleksordning.



Figur 5.15 Resultat av provning vid undertryck. Härav framgår att läckagen i fall A och D är av samma storleksordning och läckagen vid fall B och C är av samma storleksordning.

5.8 Genomföringar

Tätheten vid genomföringar av kanaler och rör kan ordnas på flera sätt. På SPs laboratorium har tre varianter provats inom ramen för examensarbetet utfört av Mikael Johansson. De tre lösningarna som provats är:

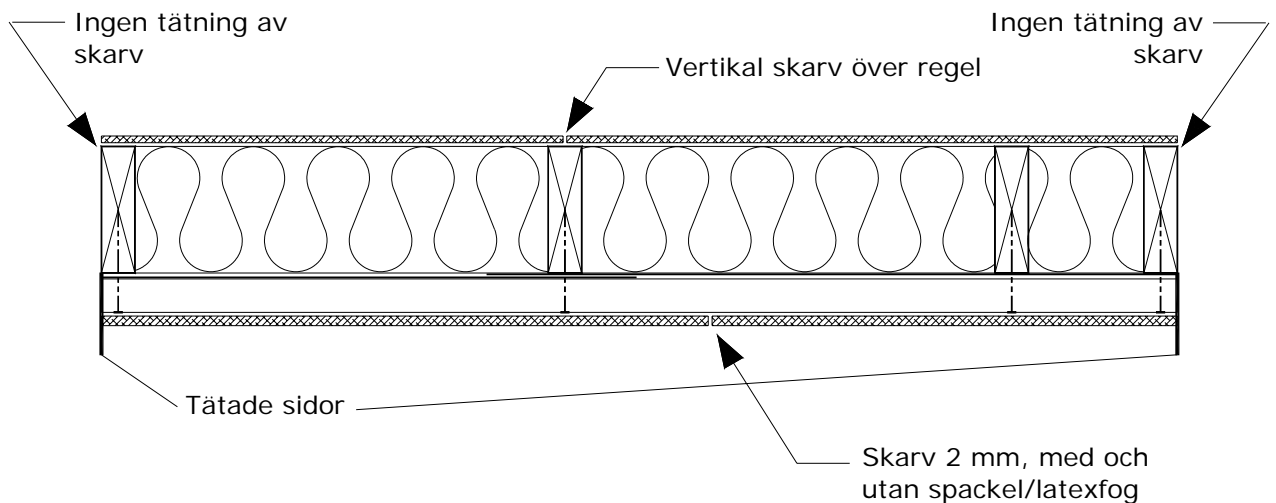
- Ett slarvigt uppskuret hål i PE-folien som är något större än eldosan som representerar genomföringen.
- Ett mindre hål uppskuret i PE-folien: Hålet är mindre än eldosan.
- En särskild tätningsduk, Diffseal, användes vid genomföringen. Tätningsduken är tillverkad i polyeten med ett centriskt placerat hål med 8 mm mindre diameter än eldosan. Duken är försedd med ett självhäftande klister med god vidhäftningsförmåga mot PE-folien.

Provningsresultatet visar att läckaget är betydligt om hålet är tillskuret utan precision, i vårt fall cirka 9-13 m³/h (beroende på över eller undertryck) vid 50 Pa tryckskillnad. Om hålet i PE-folien utförs mindre än genomföringen minskar läckaget drastiskt till knappt 0,2 m³/h vid 50 Pa tryckskillnad.

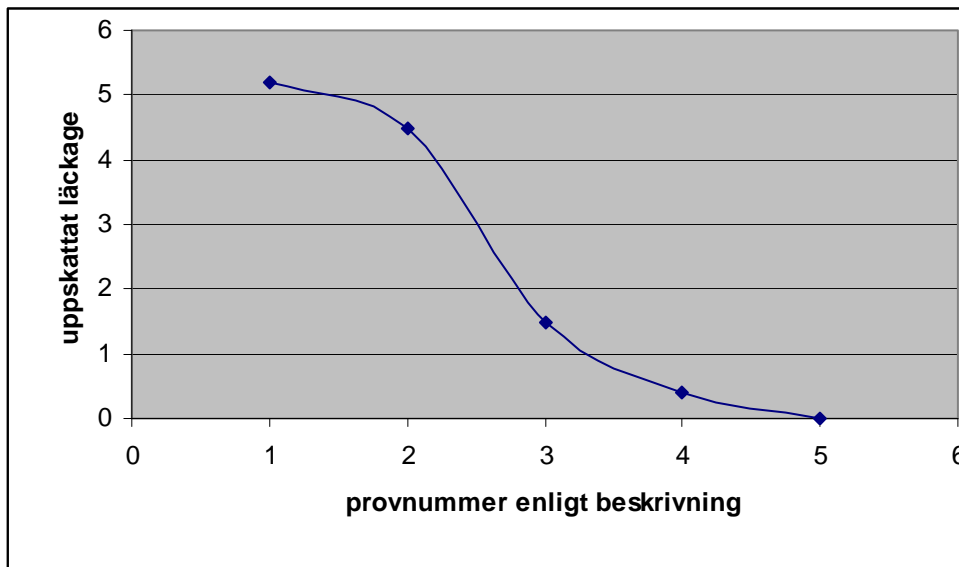
Vid en tidigare provning på SP [Sikander, Olsson-Jonsson, 1997] mättes läckaget vid genomföring av en ventilationskanal där tätheten runt kanalen ordnades med en gummitos ansluten mot plastfolien med butylsträng. Läckaget vid denna lösning uppmättes till 0,13 m³/h.

5.9 Resultat från täthetsprovning – hel väggsektion

Inom ramen för provning av elementarläckor ovan har endast det inre tätskiktets lufttäthet utvärderats. För en komplett konstruktionsdel med inre skiva, isolering och vindskydd kan man konstatera att även dessa andra material bidrar till konstruktionens lufttäthet. För att ge ungefärlig bild av hur olika skikt och material i en konstruktion bidrar till den sammanlagda tätheten har en provserie utförts på laboratoriet. Mätosäkerheten i dessa mätningar är stora varför inga mätresultat redovisas. Dock ger upprepade provningar en bild av hur läckaget minskar allteftersom olika skikt påförs konstruktionen. Se en ungefärlig bild av minskningen av läckaget i figur 5.17. Principsektionen som provades framgår av figur nedan.



Figur 5.16 Principsektion av den provade väggen där varje skikts bidrag till den totala lufttätheten har utvärderats. För att kunna få en bild av de olika skiktens bidrag till lufttätheten har det lufttätande skiktet av PE-folie utförts med en skarv som medger luftläckage. Sektionen ritad av Björn Mattson CTH.



Figur 5.17 En ungefärlig bild av hur luftläckaget genom en konstruktion minskar allteftersom nya material påförs väggsektionen. I provnummer 1 har väggen endast en PE-folie med skarv som lufttätande skikt. I provnummer 2 påförs en inre väggskiva av gips som har en otät springa som tätas i provnummer 3. I provnummer 4 påförs väggsektionen en yttre väggskiva med springa som tätas i provnummer 5.

6 Modellering och datorsimuleringar av luftläckage

Inom ramen för arbetet i konvektionsgruppen har ett antal datorsimuleringar av luftförelser och luftläckage i ett klimatskal gjorts. Modeller av konstruktionsdetaljer och hela byggnader har utförts i två olika typer av programvara. I ett kommersiellt CFD-program (Computational Fluid Dynamics), *Fluent*, har detaljer och olika konstruktionsdelar i ett klimatskal byggts upp. För dokumentation av programvaran se www.fluent.com. När det gäller ”hela” byggnader har *Simulink*, ett verktyg i *Matlab* för simulering av dynamiska förlopp, använts, se www.matworks.com.

6.1 Värmeväxling i en yttervägg vid påtvingad konvektion

När luft strömmar genom byggnadens klimatskal sker en värmeväxling som medför att summan av ventilations- och transmissionsförlusterna blir lägre än om de räknas var för sig. För att få en uppfattning om hur stora energivinster som kan göras tack vare värmeväxling när luft infiltrerar en konstruktionsdel har några olika konstruktionsdetaljer modellerats i *Fluent*. Två av dessa modelleringar redovisas nedan. De är:

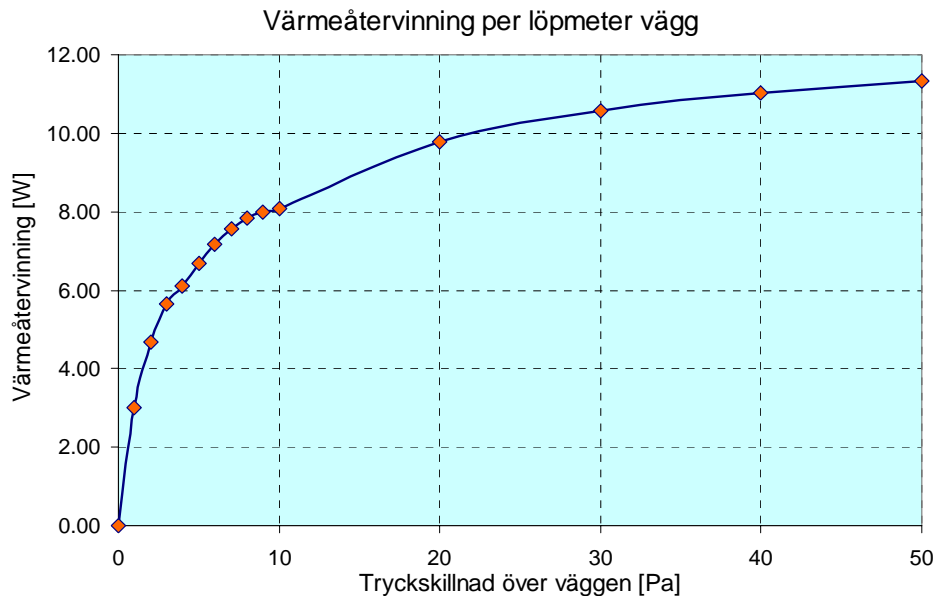
1. En regelvägg där isoleringen ej utfyller utrymmet helt mellan insidans gipsskiva och utsidans vindpapp
2. En regelvägg enligt 1 där isoleringen helt fyller ut detta utrymme

En utförligare beskrivning av simuleringarna och förutsättningarna redovisas i bilaga 6.1.

Alternativ 1

Väggen är modellerad i två dimensioner och luftläckage kan ske i anslutningen mellan vindpapp och syll respektive hammarband på väggens utsida. På väggens insida kan luft strömma mellan anslutningen mellan gipsskiva och syll respektive hammarband. Isoleringen fyller inte ut utrymmet mellan vindpapp och gipsskiva, utan det förekommer luftspalter på 5 mm mellan isolering och vindpapp respektive gipsskiva. Tack vare luftspalterna fungerar konstruktionen ganska effektivt med avseende på värmeväxling.

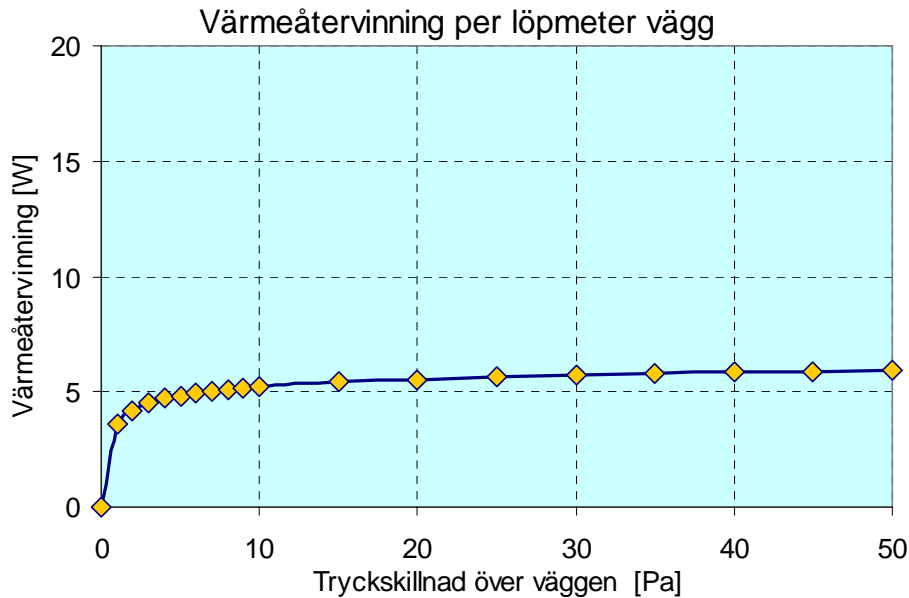
I en tänkt byggnad är luftläckaget tre omsättningar per timme vid 50 Pa tryckskillnad. Utan infiltration är väggens transmissionsförlust ~ 16 W per löpmeter vägg när utomhus-temperaturen är -16 °C och inomhustemperaturen är 22 °C. I figur 6.1 nedan ses beräknad värmeväxling.



Figur 6.1 Värmeåtervinning per löpmeter i den modellerade väggen med luftspalt på båda sidor om isoleringen.

Alternativ 2

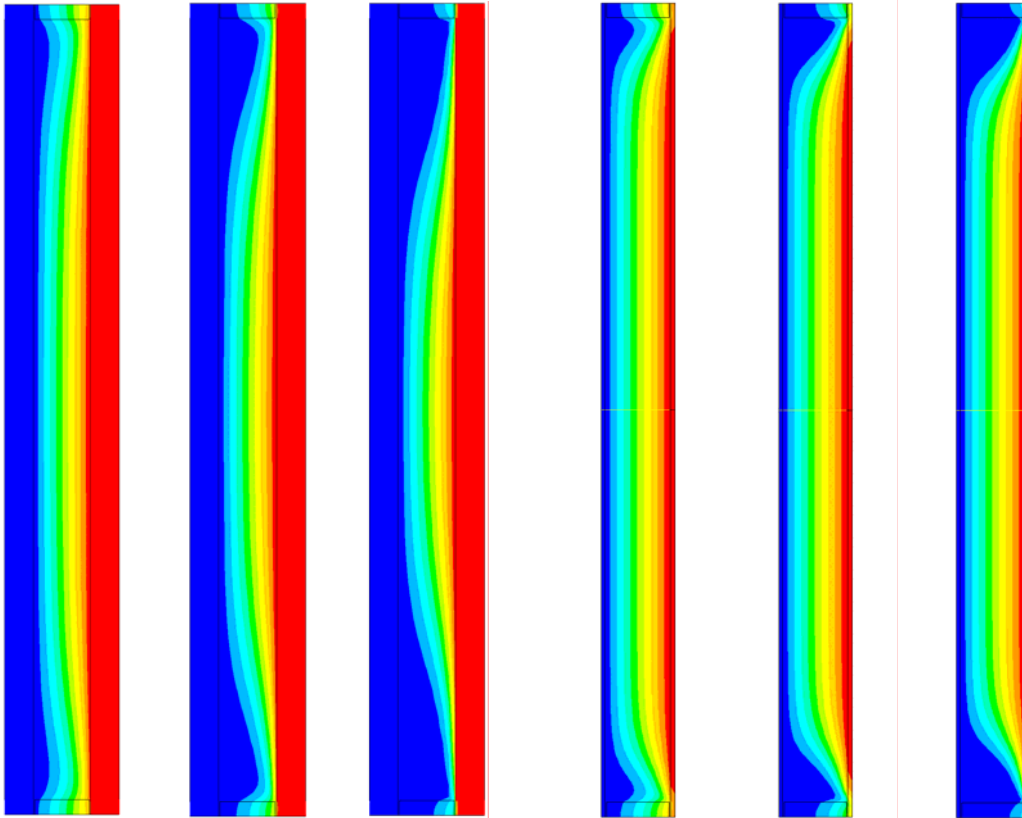
I detta alternativ fyller isoleringen ut hela utrymmet mellan gipsskivan och vindpappen. I alternativ 1 fungerar luftspalterna som tryckutjämnare och infiltrationsluften strömmar genom en större del av isoleringen eftersom det största tryckfallet sker över anslutningarna mellan vindskyddet respektive gipsskiva och syll samt hammarband. I figur 6.2 nedan ses värmeväxlingen i diagrammet för alternativ 2.



Figur 6.2 Värmeåtervinning per löpmeter i den modellerade väggen med helt utfyllande isolering.

Som framgår av graferna i figurer 6.1 respektive 6.2 så har luftspalten betydelse för hur mycket värme som kan återvinnas, eller hur mycket transformationsförlusterna minskar, när luft infiltrerar väggen vid en jämförelse mellan alternativ 1 respektive alternativ 2. I

figur 6.3 visar temperaturfältet i väggarna för de två alternativen när luft strömmar genom dessa.



Figur 6.3 Temperaturfält för de två alternativen. De tre bilderna längst till vänster visar alternativ 1 och de tre till höger alternativ 2. Tryckskillnaden över väggarna är från vänster till höger för de båda alternativen 1, 5 respektive 20 Pa.

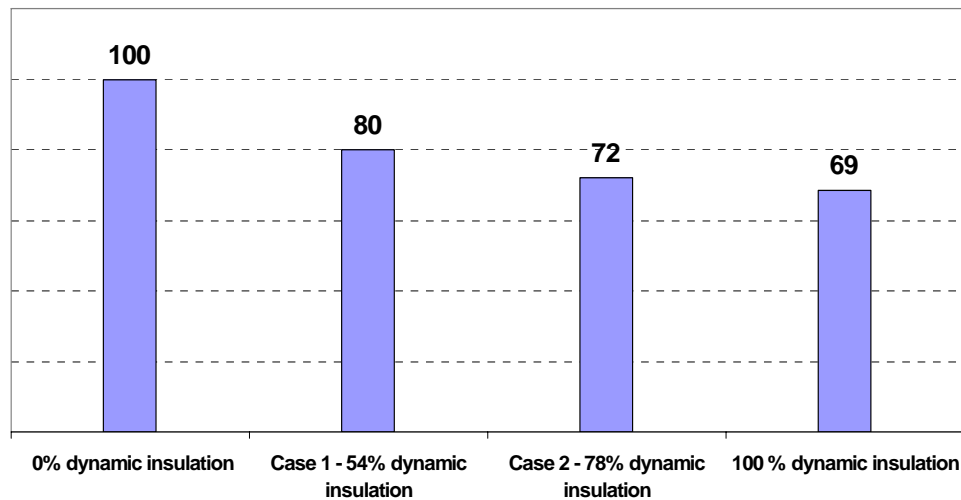
Simuleringarna visar alltså att luftströmning genom byggnadsskalet under vissa förhållanden kan ha viss gynnsam inverkan. Ca 10 – 20 % av transmissionsförlusterna i väggen kan återvinnas vid givna antaganden och under normala väderförhållanden.

Denna värmeåtervinning har också utnyttjats i så kallad ”dynamisk isolering”. Erfarenheterna har dock visat att det är svårt att styra tryckförhållanden och luftflöden så att dynamisk isolering fungerar som det var avsett. Detta illustreras i följande exempel.

6.2 Funktion hos dynamisk isolering

Exemplet visar hur funktionen hos dynamisk isolering kan påverkas av oavsedda otätheter i byggnadsskalet. Två fall har simulerats. I det första fallet är strömningsmotståndet i den dynamiska isoleringen av samma storleksordning som motståndet i övriga läckage. Simuleringen visar då att luftflödet genom isoleringen som bäst når upp till 60 % av det avsedda. I det andra fallet ändras strömningsmotstånden så att luftflödet kan nå upp till 90 % av det avsedda. Effekten av dessa förändringar kan lättast ses genom att simulera energianvändningen under en vinterperiod. I figur 6.4 visas energianvändningen för olika fall: längst till vänster för situationen när man inte har några dynamiska effekter alls (normalfallet, 100 %), sedan det första fallet som simulerats med luftflöden i genomsnitt 54 % av de avsedda, därefter det andra fallet som simulerats och slutligen energianvändningen om

den dynamiska isoleringen fungerat till 100 %. Detaljer för simuleringarna redovisas i bilaga 6.2



Figur 6.4 Energianvändning vid olika funktion hos dynamisk isolering.

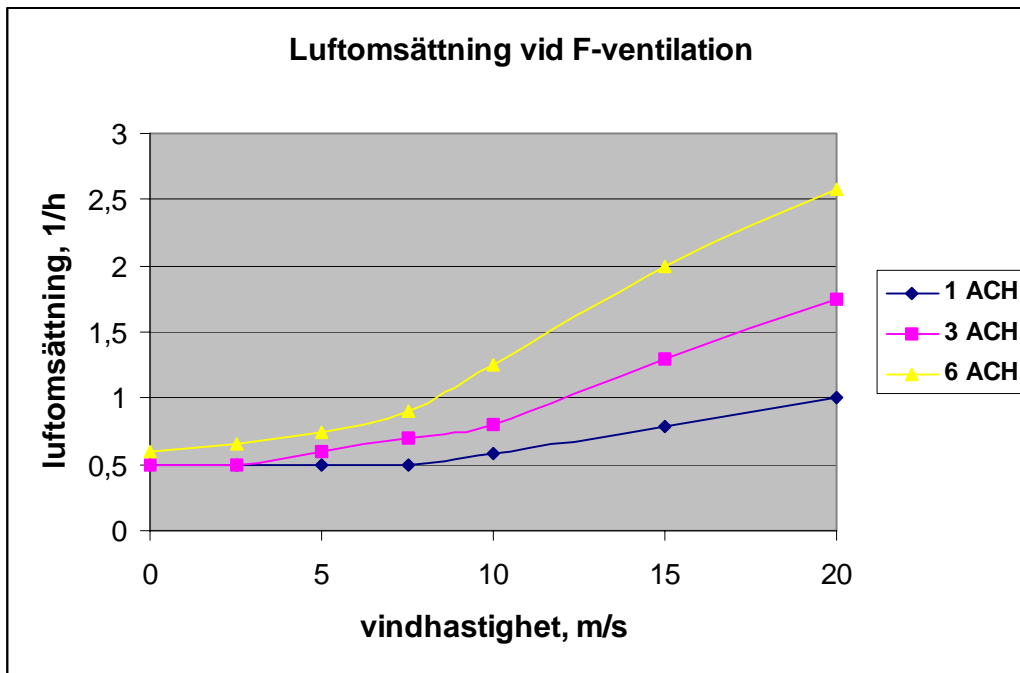
6.3 Luftomsättning vid olika lufttäthet

För att se hur vindhastighet, ventilationssystem med mera påverkar en byggnads luftomsättning har ett antal modeller byggts upp i *Simulink*. Nedan redovisas resultat från simuleringar av luftomsättningen när en byggnad utsätts för vindtryck och termik samt är utrustade med olika mekaniska ventilationssystem.

Husmodellen i *Simulink* är ett fristående enfamiljshus i ett plan. Byggnaden är modellerad med en kvadratisk golvyta 10 x 10 meter. Det är endast väggarna som är otäta i denna modell. Luft kan läcka mellan vindskyddsfolien och syll respektive hammarband, samt mellan dessa och gipsskivan på väggens insida. Dessa otätheter finns runt om hela byggnaden och är jämt fördelade på respektive fasad hos byggnaden. Utöver otätheterna finns också spaltventiler, en på varje fasad, för tilluften i modellerna med mekanisk frånluft. Byggnadens lufttäthet varierar i olika simuleringar och har modellerats som 1, 3 eller 6 omsättningar vid en tänkt tryckprovning på 50 Pa.

I övrigt så är byggnaden utrustad med en frånluftsfläkt som vid ett tryckfall om 10 Pa över tilluftsventilerna skall ge en luftomsättning på 0.5 per timme, samt i modellen med från- tilluftsfläkt även en tilluftsfläkt med samma fläktkaraktistik som frånluftsfläkten. Förutsättningarna för beräkningarna och alla resultat redovisas i bilaga 6.1.

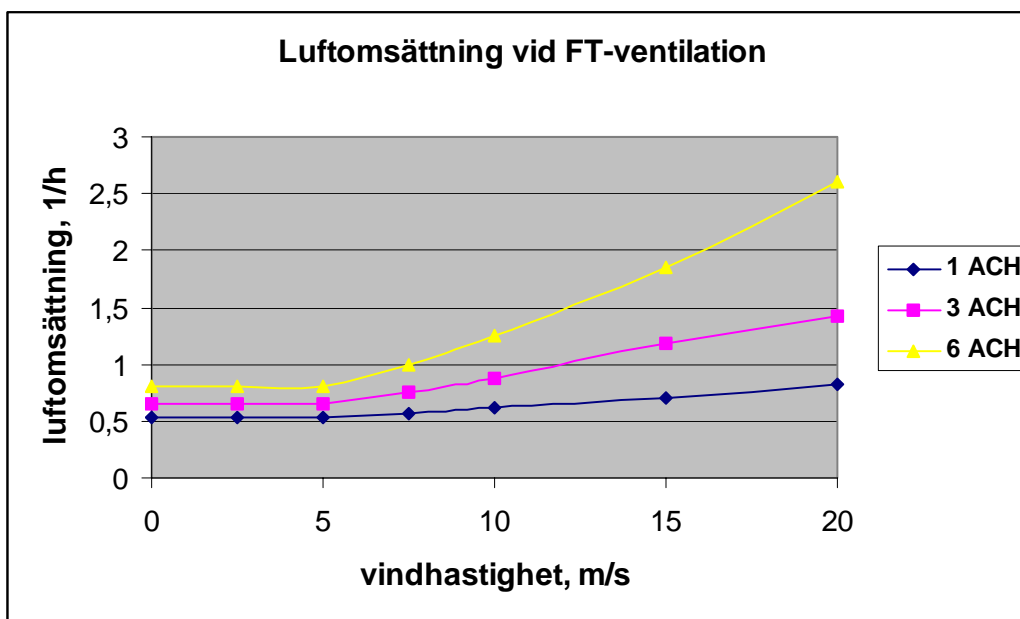
Nedan redovisas exempel på resultat från simuleringar av luftomsättning för ovan beskrivna enfamiljshus. I figur 6.5 redovisas några resultat från ett hus med F-ventilation. Värdena gäller för ”öppet slättlandskap med enstaka hinder” och en byggnad som är ”omgiven av andra byggnader eller liknande på halva byggnadens höjd”.



Figur 6.5 Luftomsättning som funktion av vindhastighet för F-ventilerat småhus.

Resultaten visar att en byggnad med god lufttätet, 1 omsättning per timme, även i ett utsatt läge kan klara en vindhastighet på nästan 10 m/s (motsvarande ca 90 % av tiden i Göteborg) utan att den projekterade luftomsättningen påverkas. Däremot kommer inte avsedd luftmängd in genom de olika spaltventilerna. De som är placerade på anblåsta sidor ger ett större flöde och de på läsidor ger ett mindre flöde än projekterat. En relativt otät byggnad, 6 omsättningar per timme, ger en större luftomsättning redan utan att någon vind blåser. Detta beror på densitetsskillnader i inomhus- respektive utomhusluften

I figur 6.6 redovisas motsvarande värden för ett FT-ventilerat hus.



Figur 6.6 Luftomsättning som funktion av vindhastighet för FT-ventilerat småhus.

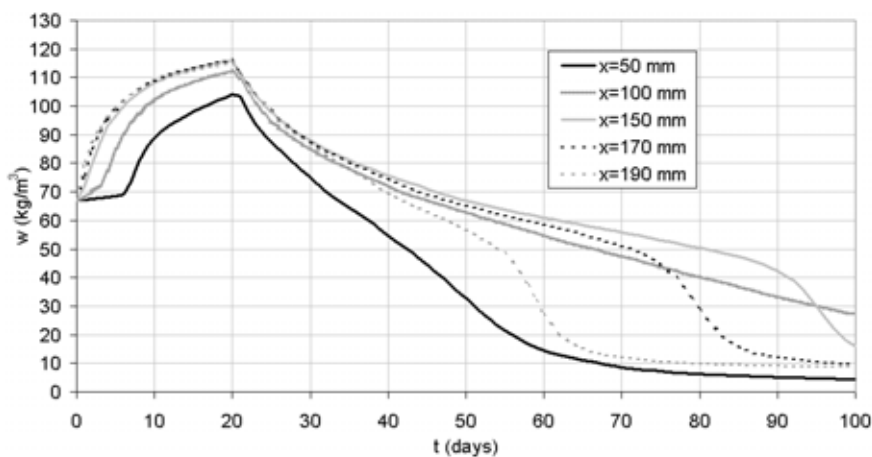
Resultaten skiljer sig inte så mycket från det F-ventilerade huset utom vid låga vindhastigheter. En byggnad med god lufttätet, 1 omsättning per timme, har redan utan någon vind en viss förhöjning av antalet luftomsättningar. Detta beror på att det ”balanserade” ventilationssystemet ej klarar av att upprätthålla ett inre undertryck i byggnaden. Därför kommer en del luft att strömma ut genom otätheter i byggnadens övre del. När det gäller vindpåverkan så klarar även en otät byggnad i ett utsatt läge en vindhastighet på 5 m/s utan att luftomsättningen påverkas ytterligare. Detta beror på att huset med mekanisk från- tilluftsventilation inte har några spaltventiler och att ventiler för tilluft respektive frånluft i modellernas ventilationssystem inte påverkas av vinden.

6.4 Fuktkonvektion – luftrörelsernas påverkan på fuktförhållandena

Luftläckage genom byggnadsskalet kan ha stor påverkan på fuktförhållandena. Om utläckande varm luft avkyls till daggpunkten kondenserar vattenångan och fukttinnehållet stiger. Detta sker såväl vid diffusa läckage genom större ytor som vid punktläckage vid individuella otätheter.

Värme- och fuktförhållandena i en vägg med luftgenomströmning blir helt olika förhållandena i en helt lufttät vägg. Beräkningsexemplet nedan visar hur en konstruktion fuktas upp under en period med exfiltration för att sedan torka igen när luftströmmen vänder och luften i stället läcker in. Exemplet gäller en vägg med exfiltration under 20 dagar och därefter infiltration under 80 dagar. Fuktransporten sker huvudsakligen på grund av luftströmmen men också på grund av fukt- och temperaturgradienter. Närmare detaljer om beräkningarna redovisas i bilaga 6.2.

Resultat från simuleringarna redovisas i figur 6.7 som fukthalt på olika djup (inifrån räknat) i materialet och som funktion av tiden. Fukthalten stiger snabbt under perioden med exfiltration och torkar sedan långsamt ut.

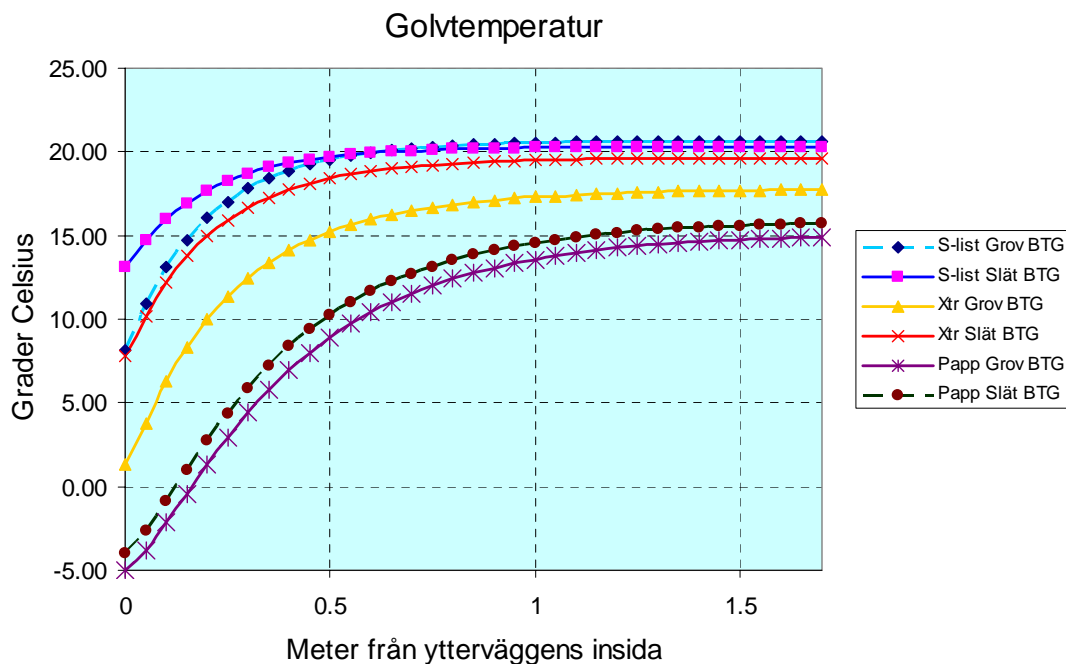


Figur 6.7 Fukthalt på olika djup (inifrån räknat) i materialet och som funktion av tiden.

6.5 Beräkning av yttemperaturer vid läckage mellan syll och betongplatta

Diagrammet i figuren nedan visar golvtemperaturen när kall uteluft läcker in mellan syll-
len i en yttervägg och en betongplatta på mark. Luftläckagen är modellerade för 20 Pa
tryckskillnad över ytterväggen. Tabellen nedan visar typ av syllisolering och betongyta,
samt läckaget mellan syll och betong i m³/h och löpmeter vägg. Beräkningarna av golv-
temperaturer har sedan utförts i *Fluent*. Medeltemperaturen i rumsluften är 22 °C och ute-
luften -10 °C. Figur 6.8 visar yttemperaturen på golvet på olika avstånd från ytterväggen.

Typ av syllisolering	Betongyta	Flöde i m ³ /h och löpmeter vägg	Konstruktionsnummer i bilaga 5.1
S-list	Grov	2,55	1
S-list	Slät	0,22	1A
Extruderad polystyren	Grov	6,88	2
Extruderad polystyren	Slät	1,61	2A
Asfaltpapp	Grov	16,2	3
Asfaltpapp	Slät	10,5	3A



Figur 6.8. Yttemperatur på golvet för olika syllisoleringar och grov eller slät yta på betongen.

Enligt Boverkets byggregler bör ”yttemperaturen på golv i vistelsezonen beräknas bli lägst 16 °C (i hygienrum lägst 18 °C och i lokaler avsedda för barn lägst 20 °C)...” Enligt simuleringarna uppfyller flera av konstruktionerna inte dessa krav. Låga yttemperaturer kan också ge kondens och oacceptabla operativa temperaturer. Kalla golv har av många intervjuade beskrivits som en vanlig och besvärande olägenhet av luftläckage.

En noggrannare beskrivning av simuleringen och flera resultat redovisas i bilaga 6.3.

7 Summering och slutsatser

7.1 Summering

Arbetsplatsbesök

Sex byggarbetsplatser har besökts i syfte att samla in uppgifter om lufttätetslösningar som används idag. Även variationer i arbetsutförande har studerats. Variationen av arbetsutföranden och lösningar för lufttätet är stor. Några vanliga variationer som vi sett och som återkommer från arbetsplats till arbetsplats har vi dock studerat och sammanställt för att kunna utvärdera på laboratorium. Några sådana variationer som kan nämnas är:

- lösning för skarv mellan två PE-folier. Skarvar kan klämmas mellan trä, gips eller isolerskivor. Ibland sker ingen klämning alls. Vid skarven kan dessutom överlappet mellan PE-folierna variera.
- lösning för anslutning av t ex vägg mot betongbjälklag. Olika tätningsremсор används under syll eller över hammarband. Betongen har olika ”skrovlig” yta. Infästningen av syllen sker på olika sätt.
- anslutningen vid fönster. Ibland viks PE-folien in i fönstersmygen, ibland inte. Arbetsutförandet skiljer sig åt i flera detaljer.
- arbetsutförandet och tekniska lösningar för genomföringar.

Kunskapsinventering

Attityder, erfarenheter och önskemål hos ett antal personer i byggsektorn har insamlats genom intervjuer och samtal. De viktigaste resultaten kan sammanfattas enligt nedan:

- Uppfattningarna om lufttätets betydelse varierar mycket och med några undantag betraktas inte lufttäteten som någon viktig fråga. Lufttätetsfrågor diskuteras inte särskilt ofta och finns sällan med i kontrollplaner eller vid byggmöten.
- De viktigaste två skälen till brister i lufttäteten uppges vara dåliga ritningar/konstruktioner och bristande kunskap/motivation.
- Det finns stort behov av information/utbildning av två slag: dels för att öka kunskaperna och därmed motivationen, dels för att införa bättre konstruktionslösningar och arbetsmetoder.
- De mest kritiska detaljerna är olika typer av genomföringar, men också anslutningar mot stål, betong och isolering. Bättre material och produkter för att lösa de kritiska detaljerna behövs.
- Många är ganska okunniga om negativa effekter av luftläckage och anger bara de uppenbara konsekvenserna: försämrade termisk komfort (”drag”) och ökad energianvändning (på grund av ökade ventilationsförluster).
- Intresset för mät/kontrollmetoder var svagt och man var i stort sett nöjd med den metod (”tryckmetoden” SS-EN 13829) som finns.

Laboratoriemätningar

På laboratoriet täthetsprovades ett flertal lösningar som uppmärksammades vid arbetsplatsbesöken. Syftet med provningen på laboratorium är att kunna jämföra olika lösningar och därmed få kunskap om förbättringsmöjligheter i dagens byggande. Dessutom illustrerar provningar hur variationer i arbetsutförandet påverkar den slutliga lufttäteten.

De viktigaste resultaten kan sammanfattas enligt nedan. Jämförelser har gjorts vid 50 Pa tryckskillnad:

- Klämning av skarv med gips eller glesplaner mot träregel gav ett läckage som var av samma storleksordning som läckaget vid 1200 mm och 600 mm omlottläggning över regel och med klämning med isolering. Vid omlottläggning utan klämning (med isolering endast på ena sidan) ökade läckaget 30-300 gånger.
- Skarvar i vindskydd kan utföras mycket täta om specialtillverkade t ex skarvlistor används. En dåligt tillskuren utegipsskiva med öppna springor medger däremot ansenliga läckage.
- Tre provade tätningssystem under syll gav olika läckage. Läckaget vid den tätaste lösningen var 30-40 gånger mindre än för den mest otäta lösningen. Tätheten påverkas även av betongens ytstruktur. I vårt försök var läckaget upp till 8 gånger större vid skrovlig betongyta än vid slät för samma tätningssystem.
- Läckaget vid fönster var 4-5 gånger större för den sämsta lösningen än för de bästa lösningarna som testades (utfört inom ramen för ett examensarbete).
- Genomföringar där hål i PE-folien skurits för stort medger avsevärda läckage.

Inom ramen för provning av läckage har framförallt det inre tätskiktets lufttäthet utvärderats. För en komplett konstruktionsdel med inre skiva, isolering och vindskydd kan man konstatera att även dessa andra material bidrar till konstruktionens totala lufttäthet.

Simuleringar

I rapporten redovisas några exempel på simuleringar av konsekvenser av bristande lufttäthet. De behandlar dynamisk isolering, funktion hos F- och FT-ventilerade småhus, fuktkonvektion och kalla golv. Någon systematisk jämförelse mellan simulerade effekter och effekter beskrivna av de intervjuade personerna har inte gjorts, men simuleringsresultaten motsäger inte de erfarenheter från praktiken som redovisats.

Tillgången till pålitliga simuleringsverktyg är viktig för det fortsatta arbetet i forskningsprogrammet. De ger möjlighet att studera och förklara effekter av luftrörelser. De ger också möjlighet att studera olika lufttäthetslösningar och inverkan av t ex arbetsutförande, åldring och årstidsväxlingar.

7.2 Rekommendationer

De slutsatser som kan dras av projektet är att förbättringar av lufttätheten i första hand kräver ökad utbildning och information. I andra hand kommer utveckling av konstruktionslösningar/metoder, nya material/produkter och kontrollmetoder.

Utbildning/information

Utveckla hjälpmedel för utbildning och information om lufttäthetsfrågorna i byggprocessen!

Utbildningen har två olika syften:

- Att ge kunskap om lufttäthet och dess konsekvenser för att skapa engagemang och motivation för bättre lufttäthet.
- Att ge kunskap om hur god lufttäthet kan åstadkommas, dvs kunskap om konstruktionslösningar, materialval, arbetsmetoder etc.

På **byggarbetsplatsen** behövs bägge slagen av kunskap; i första hand kunskap om betydelsen av lufttätethet, dvs att dessa frågor tas på allvar och lyfts fram i kontrollplaner och på byggmöten. Kedjan:

kunskap om lufttätethet → motivation → tät byggnad

är mycket tydlig. Dessutom behöver man i många fall (då ritningar och/eller konstruktionslösningar är bristfälliga) veta hur man gör (metoder, material m m).

En mycket viktig grupp att informera och utbilda är **el- och VVS-installatörerna**. Deras arbete kommer ofta i konflikt med täthetssträvandena och de behöver därför god kännedom om behovet av lufttätethet och hur man skapar den.

Projektören behöver också båda slagen av kunskap - både om betydelsen av lufttätethet och om material och konstruktionslösningar. Många har klagat på att ritningar och konstruktioner inte är utförbara och anpassade till arbetsplatsens behov och förutsättningar. En viktig del av utbildningen för projektören är därför att förstå arbetsplatsens problem och att säkerställa en bättre feed-back mellan projektör och byggarbetsplats. Projektören och arkitekten bör också planera utformning och konstruktion så att svårtätade utformningar undviks och så att man planerar placering av installationer så att de inte stör lufttätetheten.

Den utbildning som rekommenderas ovan kan konsulter och entreprenörer skaffa sig på egen hand för att förbättra lufttätetheten. Frågan är bara om det hos dessa aktörer finns tillräckliga drivkrafter för att sätta igång en sådan process. Läget i branschen och svaren på intervjufrågorna antyder väl att intresset för lufttätethetsfrågorna är svagt på ledningsnivå i företagen. Lufttätethetskravet finns i BBR, man samhället har lagt över ansvaret på byggherren och har inte resurser att följa upp att reglerna följs. Återstår alltså **byggherren/beställaren** som måste förstå att det lönar sig att ställa strängare och tydligare krav på lufttätethet och också någon gång vara beredd på en ökad investeringskostnad för bättre projektering och kontroll. I ett LCC-perspektiv är det mycket troligt att en ökad investering i lufttätethet är lönsam.

Kvalitetssäkring

Utveckla hjälpmedel för att säkerställa att lufttätethetsfrågorna får en mer central roll i kvalitetsarbetet!

Det gäller t ex byggherrens styrning, krav och uppföljning, projektörens kompetens och arbetsmetoder samt hanteringen på byggarbetsplatsen med information, kontrollplaner och byggmöten.

Det kan alltså handla om checklistor, krav på kompetens, funktion, material, beständighet etc, identifiering av kritiska moment och konstruktioner, mät- och kontrollmetoder mm. Mycket av det arbete som gjorts och görs om hanteringen av fuktsäkerheten i byggprocessen, se t ex Sikander och Grantén (2003), kan säkert också användas för lufttätethetsfrågorna.

Konstruktionslösningar/Metoder

Se till att bra konstruktionslösningar blir kända och använda i projektering och på byggarbetsplatser!

Flera goda lösningar finns beskrivna, se t ex Adalbert (1998), och vi har i projektet sett att ett konsekvent användande av bra lösningar ger mycket goda resultat. Att föra ut kunskaperna om dessa lösningar är en viktig del av informations/utbildningsarbetet, se utbildning/information ovan.

Nya material/produkter

Beskriv behov och önskemål för byggmaterialproducenter!

De två viktigast önskemålen som framkommit är dels bättre hjälpmedel för att täta vid olika typer av genomföringar och dels ett system för tätning till rimligt pris, robust, beständigt och med produkter anpassade till varandra: folie, skarv, anslutning och genomföring.

Kontrollmetoder

Utveckla tryckmetoden för användning i radhus och stora byggnader!

Generellt är intresset för mät/kontrollmetoder svagt och i de flesta fall anses tryckmetoden vara tillfyllest. Om något skall göras inom detta område är det radhus och större byggnader som skall uppmärksammas. Intresset för att kunna mäta på lokala läckage är också svagt; man är nöjd med läcksökning med IR-kamera i kombination med tryckprovning.

7.3 Ytterligare idéer

Ytterligare några idéer, som har diskuterats under projektet, redovisas här:

Täthetspris

För att uppmärksamma lufttäthetsfrågorna har diskuterats att inrätta ett täthetspris: "Årets tätaste bygge" eller "Stora täthetspriset". Det skulle kunna ge publicitet och belöna byggprojekt som tagit lufttäthetsfrågorna på allvar. SBUF och/eller SP skulle kunna stå som arrangör.

Långtidsegenskaper - underhållsbar/besiktningbar lufttätethet

Vid flera tillfällen har frågan om beständighet och livslängd hos det lufttätande skiktet kommit upp. Detta skikt byggs ju in i byggnadsskalet och skall fylla sin funktion under byggnadens hela livstid. Naturligtvis måste vi ställa frågan om vi verkligen tror att de använda materialen har tillräcklig beständighet. Ett alternativ skulle vara att göra lufttätningen inspekterbar och underhållsbar; t ex genom att ha lufttäta skivor som ytskikt och åtkomliga tätningar (tätlistor, fogrensor e.d.) – dolda av täcklistor - i anslutningar och skarvar. Då skulle tätningen kunna förnyas vid behov på samma sätt som man byter tätlistor i fönster. Denna lösning kräver visst nytänkande och är väl närmast aktuell vid utveckling av nya byggsystem.

Konstruktionslösning på arbetsplatsen

Med hänsyn till de vanliga klagomålen på ritningar och konstruktioner har vi också ställt frågan om man skulle kunna flytta över resurser och ansvar från projekteringsskedet till byggskedet för att lösa lufttäthetsfrågorna. Vid projekteringen ges då bara funktionskrav på lufttätethet, medan man på arbetsplatsen får ansvaret för att välja material och detaljerad

konstruktionslösning. Fördelen skulle vara att man på arbetsplatsen har nära kontakt med problemet och kan kontrollera resultatet. Denna idé skulle vara mest aktuell vid totalentreprenader där entreprenören kan styra över resurser från projekterings- till utförandefas. Vid diskussioner om denna idé på byggarbetsplatser har vi mött stor tveksamhet och invändningar som att "vi har inte tid" och "vi har inte kompetens". Möjligen är man också ovillig att ta över ansvaret för lufttätheten.

8 Referenser

Referenslistan upptar endast litteratur som direkt hänvisats till i texten. För en utförligare litteraturlista hänvisas till den litteratursammanställning om lufttätethet som gjorts vid Byggnadsfysik, CTH.

Adalbert, Karin, 1998. God lufttätethet – En guide för arkitekter, projektörer och entreprenörer. Rapport T5:1998, Byggnadsforskningsrådet, Stockholm.

Johansson, Mikael, 2004. Byggnaders Lufttätethet - En studie av utformning och praktiskt utförande av konstruktionsdetaljer i klimatskärmens lufttäta skikt. Examensarbete. Institutionen för Byggnadsteknologi, Byggnadsfysik, CTH, Göteborg 2004

Levin, Per, 1991. Building technology and air flow control in housing. BFR D16:1991, Stockholm

Proskiw, Gary, 1993. Air Leakage Characteristics of Various Rough-Opening Sealing Methods for Windows and Doors, Airflow Performance of Building Envelopes, Components and Systems, ASTM STP 1255, Mark P. Modera and Andrew K. Persily, Eds, American Society for Testing and Materials, Philadelphia 1995, s. 123-134

Roots Peter, 1997. Heat transfer through a well insulated external wooden frame wall. Lund: Department of Building Technology. Building Physics. ISBN91-88722-09-0

Sikander Eva & Olsson-Jonsson Agneta, 1997. Lufttätethet i hus med träregelstomme och utan plastfolie. Borås: SP Rapport 1997:34 Swedish National Testing and Research Institute

Sikander, Eva och Grantén, Jörgen, 2003. Byggherrens krav, styrning och verifiering för fuktsäker byggnad. SP Rapport 2003:09, SP Energiteknik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

SS-EN 13829:2000. Byggnaders termiska egenskaper – Bestämning av byggnaders lufttätethet – Tryckprovningmetod.

Bilaga 1

Del I Modellering av luftströmlar inom och genom byggnadsdetaljer

Syfte

Syftet med detta arbete är att ta fram modell/verktyg för att analysera luftströmlar (konvektiva processer) i byggnadsdelar. Bakgrund fås genom att sammanställa delar av den kunskap som finns i befintlig litteratur som behandlar frågor som direkt eller indirekt har betydelse för infiltration eller luftläckage. Genom att modellera olika typer av luftläckage genom klimatskalet kan inverkan på värmetransport, fuktförhållanden och ventilationsgrad simuleras i samverkan med programmets två övriga delar.

Litteraturstudierna berör bl a nedanstående områden:

- läckagekaraktäristik för enskilda detaljer och hela byggnader
- strömningsteori för enskilda läckagevägar och hela system av läckage
- utvärdering av redan uppmätta läckage för detaljer så som genomföringar genom tätskikt, anslutningar mellan olika konstruktionsdelar och skarvar av olika vindskyddande skikt
- teori för värmeväxling i så kallade dynamiska isoleringar
- klimatförhållanden med avseende på vindhastighet och vindriktning
- olika typer av ventilationssystemers inverkan på en byggnads luftläckage

Programvaran

Till grund för arbetet med att skapa datormodeller används ett kommersiellt CFD-program (computational fluid dynamics), Fluent. Traditionellt har denna typ av programvara använts för modellering av aerodynamiska problem, men idag finns möjligheter att modellera även andra strömningsproblem. Programmet har flera modelleringsmöjligheter som inte finns i enklare programvara, som till exempel HEAT 3. De modelleringsmöjligheter som gör att programvaran är lämpad för denna del av konvektionsprojektet är olika typer av randvillkor, olika modeller för värmestrålning, luftströmning genom porösa material och egenkonvektion. En viktig modelleringsmöjlighet saknas dock, kondensation av vattenånga. I programmet saknas också funktioner för beräkningar av fukttransport i material. Dessa brister kan överkommas med egendefinierade funktioner i en utveckling av arbetet.

Eftersom det dels saknas en hel del mätdata, och mycket av de mätningar som gjorts inte utan vidare kan användas för aktuella konstruktioner, kommer också mätningar i laboratorium att utföras. Dessa mätningar görs inom programmets del III. Mätningarna används även för validering av modellerna och relevanta detaljer för kompletterande mätningar av lufttäthet föreslås och analyseras.

Avsikten är även att inom detta projekt påbörja att ta fram en form av täthetskatalog. Där skall vanligt förekommande konstruktionsdetaljer och deras läckagekaraktäristik redovisas.

Ett antal kritiska detaljer med avseende på luftläckage kommer att modelleras. Resultat från dessa modelleringar syftar till att ge information om luft-, värme- och fuktflöden samt tempera-

raturfält inom en konstruktion. Dessa resultat analyseras för att ge svar på frågor om enskilda detaljers inverkan på fukt- och ventilationsproblem, bl a:

- vilka detaljer är mest kritiska för att inte få komfort- eller fuktproblem
- vilka detaljer är, rent konstruktivt, svåra att få täta
- varför blir vissa detaljer otäta fastän de utförs enligt anvisningar eller praxis (till exempel plastfoliens klämning mot syllen)

Dagsläget

Litteraturstudien är i stort sätt slutförd. Vissa kompletteringar kommer att göras. I licentiatuppsatsen redovisas allmänna forskningsrön inom respektive område enligt litteraturförteckning. Modellarbetet pågår med utgångspunkt från Fluent och genom beräkning av ett antal elementära fall. Vidare har ett antal byggarbetsplatser besökts. Därifrån har ett antal detaljer, kritiska med avseende på lufttäthet, valts ut. För några av dessa har luftläckage mätts i laboratorium. Resultat från dessa mätningar kommer att ligga till grund för simuleringar våren 2004.

Part II System modelling and analysis of the air transport in and through the building envelope as a part of a whole building

Scope

This part of the project deals with the problem relevance analysis, development of the calculation tool for overall heat, air and moisture transport processes in a building, validation of the calculations and demonstration of the program applicability.

Software

For this part of the project, a special calculation tool “HAM-Tools” is used. “HAM” stands for *Heat, Air and Moisture* transport processes in a building and a building envelope that are simulated by this program, while “Tools” describes its modular structure. The program is designed in graphical programming language Simulink, which is a part of widely used calculation tool Matlab, and has following capabilities:

- 1D transient heat, air and moisture (HAM) transfer through the building enclosure
- transient HAM balance of an enclosed air, assuming well mixed air
- multi-zonal HAM calculations
- detailed modelling of internal HAM gains, coming from transmitted solar radiation, people, appliances, wind and temperature induced air flows through intentional and unintentional openings, with variable intensities and control strategies
- detailed modelling of the HVAC equipment (flows, pressure drops, control systems)
- detailed modelling of the radiation heat exchange with surroundings based on the building orientation,
- simplified modelling of the wind induced air pressure distributions around the building and driving rain
- simplified modelling of the long-wave radiation exchange between enclosed surfaces
- possibility to couple to other codes / procedures for 2D and 3D HAM calculations

The HAM-Tools is publicly available research and educational tool for integrated building simulations. It is available for free downloading from www.ibpt.org.

Validation

The HAM-Tools wall block has been validated through the inter-model comparison performed within the HAMSTAD project (Heat Air and Moisture Standardization), initiated by European Union (year 2000-2002). The HAM-Tools whole model validation (e.g. simulations of the building or the building section as a whole) has been done against measurements taken on experimental cold attic with six differently ventilated and insulated compartments. The program has shown good level of predictive accuracy of internal climate conditions (indoor temperature and relative humidity) for all six compartments compared with field results.

Software capabilities compared to other simulation tools

Compared to the other codes, HAM-Tools appears as a quite unique simulation program for providing coupled heat, air and moisture calculations for the whole building and building components, including HVAC equipment, and for being modular. A host of commercially available computer programs already exist for the energy balance of the whole buildings*. Almost all of them deal with heat and air balance, like IDA, ENORM, HEAT 3, ESP-r, EnergyPlus and only one with moisture to certain extent - BSim2002. All these codes are fully appropriate for designing standard buildings, e.g. buildings of standard shape and with standard equipment. Innovative building elements like integrated heating and cooling systems, ventilated glass facades, solar walls or non-standard HVAC equipment are not defined there. There is another generation of programs, called modular simulation tools, represented for example by TRNSYS and SPARK, which have the advantage that components and systems can be modelled “as the need appears”, including also non-standard elements. Until now, none of them provide moisture calculations coupled to the heat and air balance for the whole building.

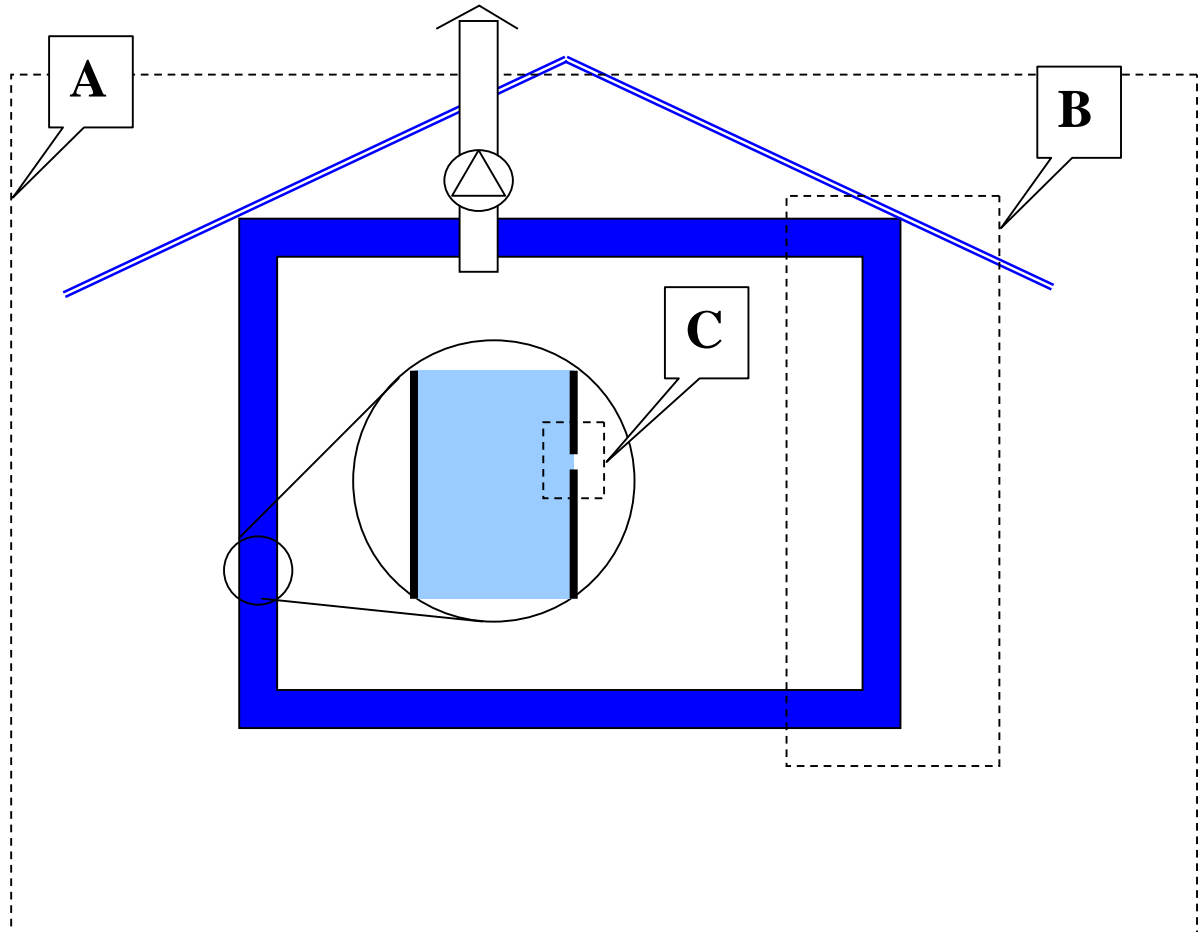
Time schedule

This part should be finished in the spring 2004.

* See for example www.eere.energy.gov

Bilaga 2

Luftrörelser i och kring konstruktion

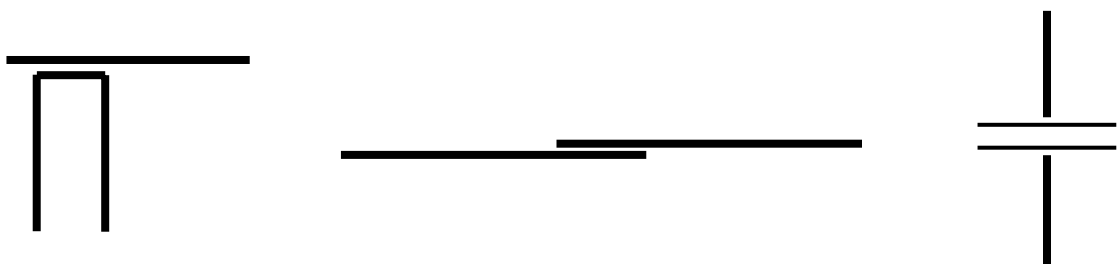


Tre nivåer:

A. Hela byggnaden

B. Byggnadsdel

C. Elementarläcka (anslutning, skarv, genomföring)



Organisation för del 3 Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen

Projektledare Claes Bankvall, SP
Projektsamordning Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier

Projektgrupp förutom ovanstående:

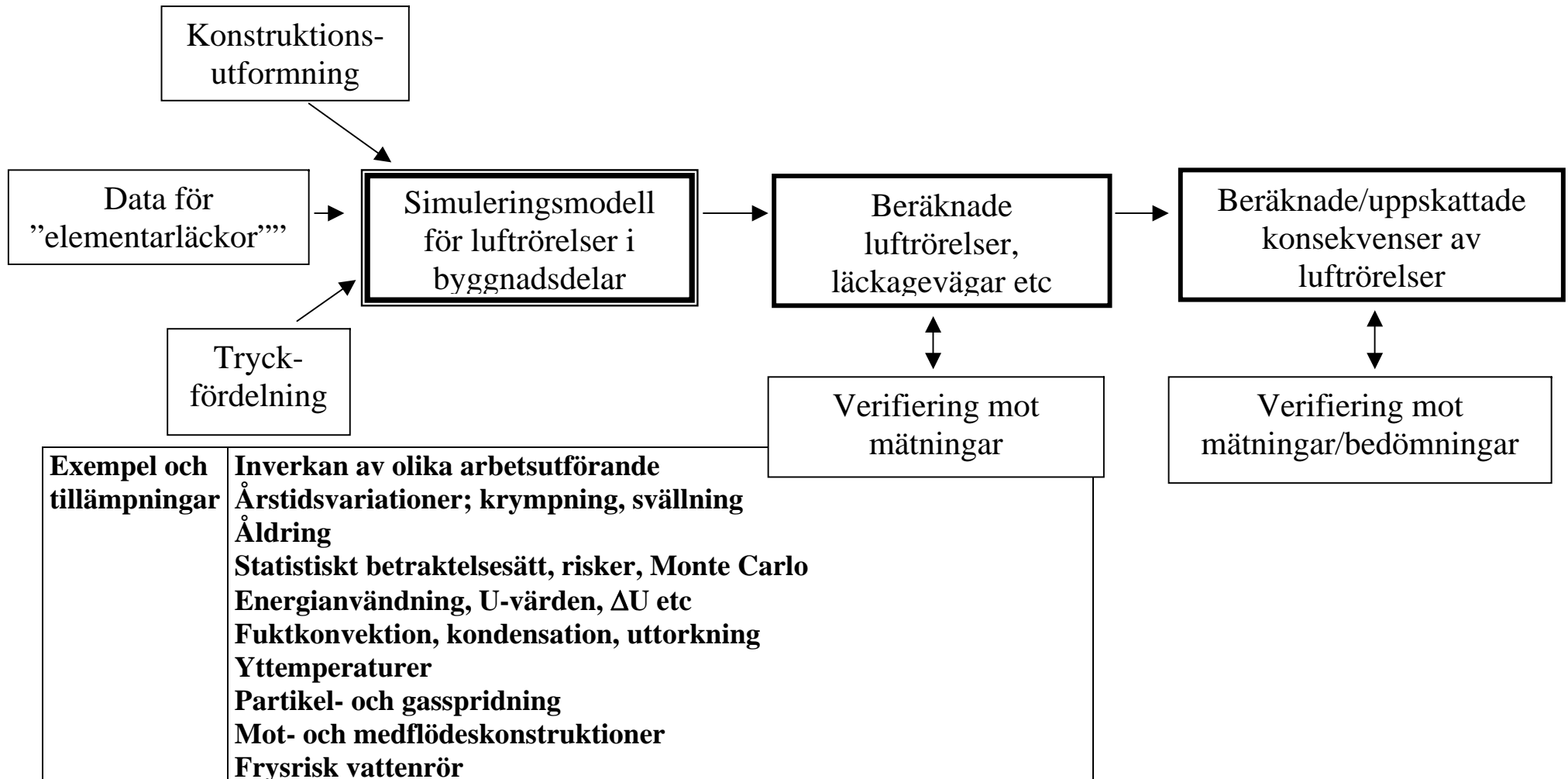
Från CTH: Konvektionsgruppen Claes Bankvall
Johan Claesson
Carl-Eric Hagentoft
Björn Mattsson
Angela Sasic
Mihail Serkitjis
Paula Wahlgren
Från entreprenörer Rolf Jonsson, Wästbygg
Stellan Börjesson, SBS
Gert Freiholtz, Peab
Från SP Per Ingvar Sandberg
Eva Sikander

Dessutom finns en referensgrupp för hela programmet ”**Luftrörelser i och kring konstruktion**”:

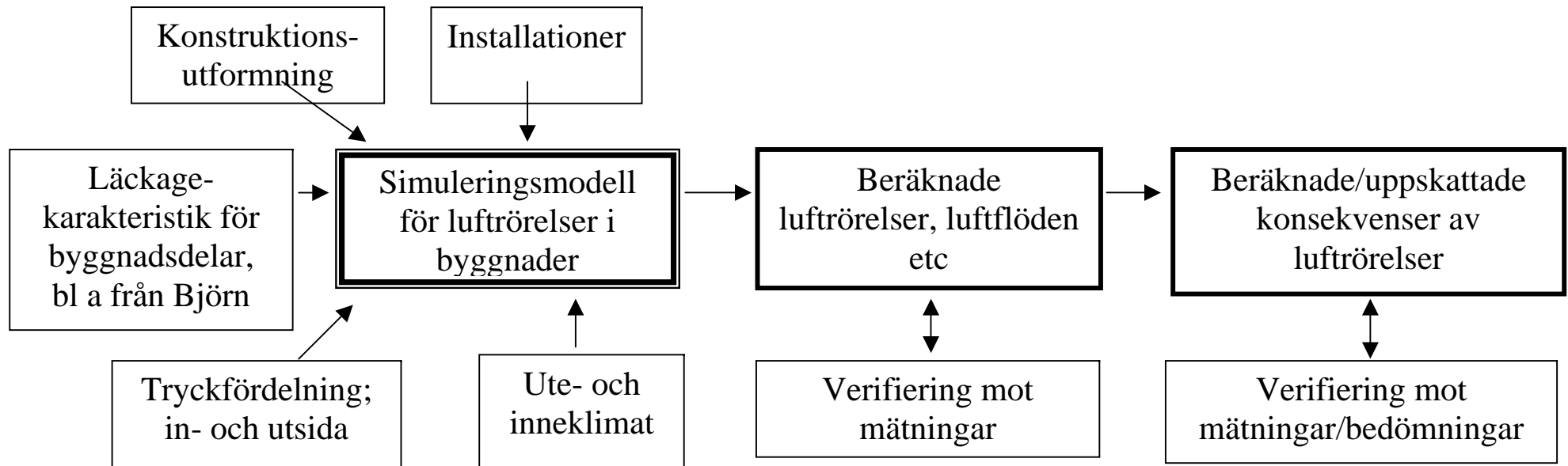
Per Fahlén, Chalmers Installationsteknik
Arne Elmroth, LTH Byggnadsfysik
Bertil Fredlund, Industrins byggmaterialgrupp
Per Levin, KTH Byggnadsteknik/Stockholm
Konsult
Per Ingvar Sandberg, SP Byggnadsfysik
Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier
Rolf Jonsson, Wästbygg
Stellan Börjesson, SBS
Gert Freiholtz, Peab
Johnny Kronvall, Malmö högskola

	Elementarläcka	Byggnadsdel	Hela byggnaden
Lab.mätning	Del III+ X-jobb Indata till sim.	Del III+ X-jobb För validering av sim.	
Fältmätning		Del III; eventuellt för validering av simulering	Del III; eventuellt för validering av sim.
Arbetsplatsbesök; intervjuer, kritiska konstruktioner	Alla + X-jobb	Alla + X-jobb	Alla + X-jobb
Konstruktionsutformn		Del III+X-jobb	
Simuleringsverktyg		Del I	Del II
Indata		Del I; från labmätning och litteratur	Del II Från del I, litteratur och fältmätn
Validering		Med hjälp av labmätning	Med hjälp av fältmätning ?
Tillämpning		Luftrörelser inverkan på värmtransport	Energianvändning i småhus med dynamisk ventilation Luftomsättning i småhus med varierande otätheter Värme- och fuktbalans på vindar
Konsekvenser av luftrörelser		Alla	Alla
Del I. Modellutv. för konvektiva processer i byggnadskomponenter			
Del II. Systemanalyser av luftrörelser mellan delkomp. i hel byggnad			
Del III. Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen			

1.1.1 Del I: Modellutveckling för konvektiva processer i byggnadskomponenter

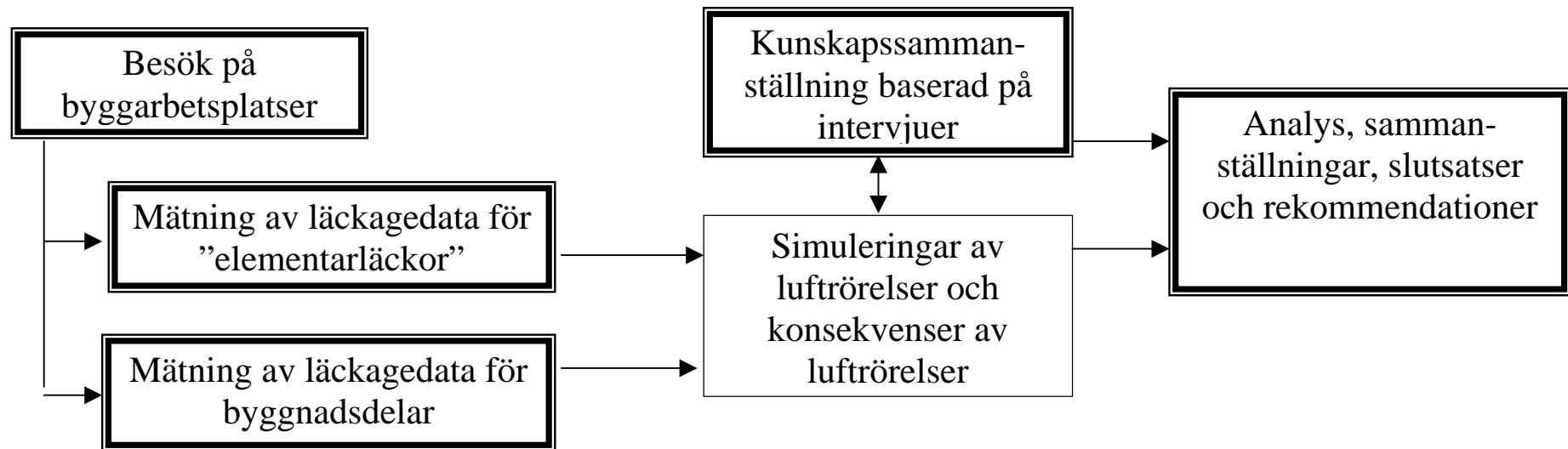


1.1.2 Del II: Systemanalyser av luftrörelser mellan delkomponenter i hel



Exempel och tillämpningar	Värme- och fuktbalanser Energianvändning Termisk komfort, golvdrag Samverkan installationer – byggnad Ventilationssystemens funktion, friskluftsflöden, luftutbyteseffektivitet mm
----------------------------------	---

1.1.3 Del III: Lufttätetsfrågorna i byggprocessen



Bilaga 3

Arbetsplatsbesök – beskrivning av konstruktioner och arbetsutförande

Byggnad 1

Byggnad 1 är en byggarbetsplats där flerbostadshus uppförs med totalentreprenad. Stommen utgörs av betong där bjälklagen är filigranbjälklag. Utfackningsväggar är utförda i stålreglar med träreglar runt fönster och dörrar. Väggarna är isolerade med mineralull med plastfolie och innegips på insidan av väggen. Vindskyddet utgörs av utegips med utvändigt fasadskiva av mineralull. Fasadbeklädnaden är tegel med bakomvarande luftspalt.

Följande noteringar har gjorts:

- Utfackningsväggar med stålreglar är tätade mot betongväggar och betongbjälklag med mellanliggande tätremsa av extruderad polystyren. Täthetsutförandet har provats på laboratorium.
- Tätheten mellan plastfolien och stålregel/stålsyll är utförd genom klämning av plastfolien mot stålregel med gipsskiva. Tätheten har provats på laboratorium.
- Skruvar i plåtregel sticker upp vid knutpunkter. Tätheten vid uppstickande skruvskallar har provats på laboratorium.
- Skarvning av plastfolien är utförd med överlapp. Överlappet varierar men var i flera fall cirka 20-30 cm. Skarven var placerad över regler. Variationer i överlapp har provats på laboratorium.
- Anslutning runt fönster och dörrar är utförda med invikt plastfolie. Plastfolien är tätad mot fönsterkarm med fogmassa. Motsvarande utförande har provats på laboratorium.
- Genomföringar av t ex eldosor är utförda genom att håltagning i plastfolien har utförts något mindre än eldosan. Motsvarande utförande har provats på laboratorium.



Bild 1 Genomföring av värmerör och eldosor.



Bild 2 Fönsteranslutning där plastfolien viks in i fönstersmyg. Plastfolien tätas sedan men fogmassa mot fönsterkarm. Glipor mellan plastfolie och fog förekommer dock. Se pil.

Två snickare kommenterade spontant lufttätheten. De menade att de inte anser plastfolien vara bra. Hus från 1800-talet utan plastfolie fungerar ju utan problem.

Byggnad 2

Radhusen är uppförda i tre plan och entreprenadformen är generalentreprenad. Stommen utgörs av betong med utfackningsväggar. Utfackningsväggar är utförda med träreglar men med hammarband och syll i perforerad plåt. Väggarna är isolerade med mineralull. Plastfolien på insidan av väggen är indragen 45 mm för att ge plats till rördragningar. Detta utrymme är fyllt med mineralull. Vindskyddet utgörs av utegips.

Följande noteringar har gjorts:

- Hammarband, syll och väggregel av plåt mot betongväggar och betongbjälklag med mellanliggande tätremsa av S-list. Täthetsutförandet har provats på laboratorium.
- Tätheten mellan plastfolien och stålregel/stålsyll är utförd genom klämning av plastfolien mot stålregel med 45x45 träregel. Tätheten har provats på laboratorium.
- Skruvar i plåtregel sticker upp vid knutpunkter. Tätheten vid uppstickande skruvskallar har provats på laboratorium.
- Skarvning av plastfolien är utförd med överlapp. Överlappet varierar men var i flera fall cirka 10-80 cm. Variationer i överlapp har provats på laboratorium.
- Anslutning runt fönster och dörrar är utförda med invikt plastfolie. Extra plastfolie är påförd i hörnen. Plastfolien är tätad mot fönsterkarm med fogmassa. Motsvarande utförande har provats på laboratorium.
- Genomföringar av enstaka elrör med otäthet i plastfolien runt om. Otätheterna avsåg man att täta med tejp i senare skede. Motsvarande utförande har provats på laboratorium.



Bild 3 Anslutning vid fönster där PE-folien vikts in i smygen. En kompletterande PE-folie har häftats fast i hörn.



Bild 4 Anslutning av utfackningsvägg mot betongstomme. S-list finns klämd mellan syll och väggregel och betong. PE-folien är klämd med träreger mot plåtregel.



Bild 5 Tätremsa av S-list mellan hammarband och betongbjälklag.



Bild 6 Eldragningar är planerade att finna invändigt PE-folien. I detta fall har dock eldragningen dragits genom PE-folien för el-dragning till utebelysning.

Byggnad 3

Området består av ett flertal byggnadskroppar i 2 alternativt 3 våningar. Stommen utgörs av träregelstomme i väggar medan bjälklag är utförda med betong (filigranbjälklag). Väggar är isolerade med mineralull och har 45 mm indragen plastfolie så att ett installationsutrymme för eldragningar bildas. Se figurer nedan. Vindsbjälklagen är isolerade med mineralull med plastfolie på insidan. Glespanel håller plastfolie och isolering på plats.

Följande noteringar har gjorts:

- Skarvning av plastfolien i väggar är utförd med överlapp. Överlappet varierar men var i flera fall cirka 30-100 cm. I hus med träpanelfasad kläms överlappet med mineralull på båda sidor av plastfolien. I hus med putsfasad finns isolering endast på ena sidan och ingen klämning av skarven sker. Variationer i överlapp och klämning med isolering eller utan klämning har provats på laboratorium.

- Mellanbjälklagsanslutning har planerats och utförts med en hel, obruten plastfolie som ansluts till väggens plastfolie med överlapp (med klämning av mineralull).
- Plastfolien i vindsbjälklagets har 30 cm bred överlapp som når över 2 glespanel. Klämningen sker genom att isoleringsmaterialet trycker plastfolien mot glespanelen. Denna typ av överlapp har provats på laboratorium.
- Anslutning runt fönster och dörrar är utförda med invikt plastfolie. Plastfolien är tätad mot fönsterkarm med fogmassa. Motsvarande utförande har provats på laboratorium.
- Genomföringar i plastfolien förekommer till exempel där eldragningen passerar till utebelysning. Sådana genomföringar är tätade med fogmassa eller transparent tejp. Vid genomföringar av ventilationskanaler är håltagningen i plastfolien väl avpassad till kanalen så att plastfolien sluter tätt mot kanalen. I något fall har håltagningen misslyckats och öppen spalt bildats bredvid kanalen. Denna spalt avser man att tätas med tejp.



Bild 7 Prefabricerade bjälklagslement har förberetts med en PE-folie som skall anslutas mot PE-folie i vägg. På detta sätt blir PE-folien dragen hel förbi bjälklagsanslutningen som annars är en svårlöst detalj.



Bild 8 Även prefabricerade mellanväggar har förberetts med PE-folie för anslutning mot PE-folie i vägg.



Bild 9 Utvändigt vindskydd med horisontell skarv kompletterad med vindskyddspapp.



Bild 10 Anslutning vid fönster där PE-folien dragits in i smyg och ansluts med fogmassa mot fönsterkarm.



Bild 11 Skarv i vägg genom att två PE-folier överlappar varandra.



Bild 12 Genomföring av kanal där håltagning är utförd något mindre än kanalen.



Bild 13 Genomföring av kanal där håltagning är utförd större än kanalen och luftläckage kan ske.

Byggnad 4

Byggnaden är ett tvåvånings bostadshus helt i trä. Tätskiktet utgörs av plastfolie i väggar och tak. Plastfolien är indragen 45 mm så att ett installationsutrymme för eldragningar bildas. Installationsutrymmet är fyllt med mineralullsisolering. Vindskyddet utgörs av gipsskiva.

Följande noteringar har gjorts:

- Skarvning mellan plastfolier i väggar kommer med långt mellanrum eftersom plastfolien är utrullad horisontellt. Skarvar är främst placerade i anslutning till hörn. Omlottläggningen varierar.
- Tätskikt utgörs av säkerhetsfolie och överlappet är cirka 30 cm och är placerad över minst en glespanel. Klämning sker med den mineralullsisolering som placeras på vindsbjälklaget.

- Mellanbjälklagens anslutning mot yttervägg är tätad med plastfolie som är dragen förbi bjälklagsanslutningen och som omlottlägges med väggens plastfolie.
- Täthet vid anslutning mot fönster är utförd genom att plastfolien är avskuren vid väggregel vid fönstret. Plastfolien är alltså ej dragen in mot fönsterkarm.
- Genomföringar i plastfolien förekom vid elrörs genomföring i vägg. Snitt som var större än genomföringen hade tagits upp. Dessa är tätade med tejp.



Bild 14 Fönsteranslutning där PE-folien skurits av vid väggregel runt fönster och klämning sker mellan två träreglar.

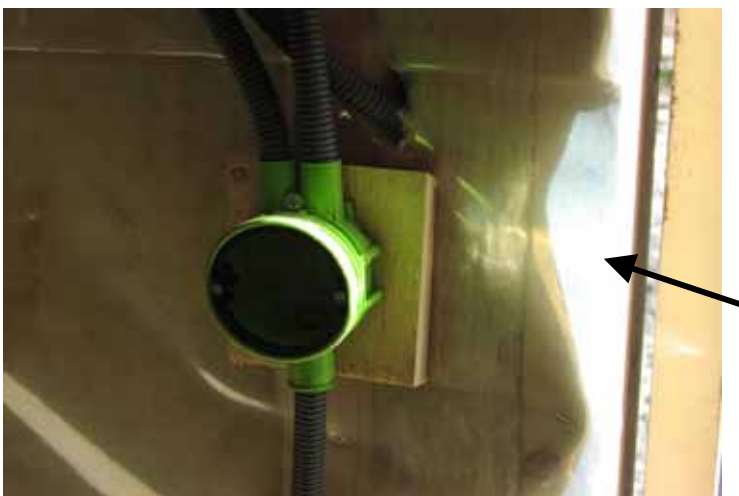


Bild 15 PE-folien bubblar vid anslutning mot dörr.



Bild 16 Överlapp mellan säkerhetsfolier i tak är här utförd över 1 glespanel och med klämning med isolering.



Bild 17 Överlapp i vägghörn med endast några 10-tal mm.

Byggnad 5

Byggnaden är en radhusbyggnad i ett plan. Väggar och tak är uppbyggda med förtillverkade element som är oisolerade och som inte har den invändiga plastfolien monterad. Utvändigt utgörs vindsyddet av utegips. Plastfolien monteras på insidan de förtillverkade elementen efter det att huset är rest. Invändigt plastfolien monteras på plåtareglar med mellanliggande isolering som bildar ett installationsutrymme för eldragningar.

Följande noteringar har gjorts:

- Skarvning mellan plastfolier i vägg är utförda med dubbelhäftande butylgummi-band. Vid vinklar där monteringen är svår monteras en stödskena på plåt som stöd för monteringen av butylgummi-bandet (får ett mothåll vid monteringen).
- Avståndet mellan varje skarvning är ungefär lika med plastrullarnas bredd.
- Skarvning mellan plastfolier i tak är utförda med dubbelhäftande butylgummi-band.

- Anslutning mot fönster är utförd genom att plastfolien dras in i smyg och ansluts mot karm med fogmassa. I hörn kompletteras plastfolien och tätningen av kompletteringen sker med hjälp av dubbelhäftande butylgummiband. Se bild.
- Anslutningen av plastfolie mot betongbjälklag sker genom att plastfolien kläms av plåtregel försedd med gummiflansar mot betongen. Metallskenan är infäst mot betongplattan med c/c 50-60 mm.
- Genomföring av ventilationskanal är utförd med specialtillverkade plåtkanaler försedda med flansar som kläms mot plastfolien.

Byggherrens representant/projektledaren (Werner Strolz) har ställt krav på en lufttätethet som underskrider den lufttätethet som framgår av BBR. Kravet är $0,16 \text{ l/sm}^2$ som kan jämföras med kravet i BBR som är $0,8 \text{ l/sm}^2$. Projektledaren har även ombesörjt så att en expert på lufttätethetsfrågor (Karin Adalberth) har anlåtats i ett tidigt skede i projekteringsprocessen. Projektledaren har även dagligen gjort kontroller av arbetsutförandet. Två specialutbildade byggnadsarbetare har arbetat med monteringen av plastfolien för att få ett så bra resultat som möjligt. Den provtryckning och utvärdering som gjorts av första byggnaden visar på ett läckage kring $0,1 \text{ l/sm}^2$.



Bild 18 Anslutning vid fönster med bl a butylgummiband.



Bild 19 Anslutning av väggens PE-folie genom klämning av plåtregel och tätremsa (gummiflansar) mot betong.



Bild 20 Fog mellan två e-folier i vägg med dubbelhäftande butylgummiband. Den dagliga kontrollen har här medfört en markering (rött x) som innebär att åtgärd skall genomföras.



Bild 21 Prefabricerat mellanbjälklag har förberetts för avslutning mot vägg med en PE-folie som skall ansluta mot väggens PE-folie med butylgummiband.



Bild 22 Genomföring av kanal i tätskikt med hjälp av en specialtillverkade flänsar där PE-folien och butylgummiband kläms genom att flänsarna skruvas ihop.

Byggnad 6

Byggnaden är en industribyggnad som byggs till. Tillbyggnaden är utförd med bärande stålstomme. Anslutning mot den befintliga byggnaden utgörs framförallt av anslutning mot gammal tegelyttervägg. Lösningen här är komplicerad och var ej slutligen löst vid besöket. Den gamla väggen, som nu blir innervägg, är ej lufttät i sig. Även om anslutningen av den nya konstruktionen mot tegelväggen blir lufttät så kan luftläckage komma i den gamla ytterväggen som blir innervägg.

Den bärande stålstommen är färdigmonterad då det inre tätskiktet i form av plastfolie skall monteras. Stålstommen medför genomföringar i plastfolien. Tätheten vid dessa genomföringar kunde ej studeras eftersom den inre väggbeklädnaden var monterad vid besökstillfället.

Vid stålstommar är intrycket att det behövs extra god planering av lufttäteten för att resultatet skall bli tillfredsställande.



Bild 23 PE-folie från tak och vägg förs in för klämning mellan stål balk och tak. Oklars hur tät sådan lösning blir.



Bild 24 Vägg är ej förberedd med PE-folie at ansluta till tak. Svårt att åstadkomma lufttätet.

Bilaga 4 Frågeformulär

Detta frågeformulär användes vid intervjuerna.

		Synpunkter
Intervjuad	Namn Arbetsplats/företag Arbetsuppgifter/roll Utbildning/erfarenhet Ålder	
Attityd till lufttätethet	Är lufttätethet viktigt Varför? Exempel Egna erfarenheter Vad tycker arbetskamraterna? Vad tycker närmaste chef?	
Hur hanteras lufttätethetsfrågorna på din arbetsplats	Ritningar Konstruktionslösningar Utbildning/information Kontroller, kvalitetsplan Vad skulle du vilja ändra på? Exempel	
Behov av information/utbildning	Skulle lufttätetheten bli bättre med ökad information/utbildning? Information Instruktion, demonstration Kurser, utbildning Annat	
Behov av nya material och hjälpmedel	Nya material Tape Fogmassor Stosar	
Orsaker till bristande lufttätethet	Vad beror det på att brister i lufttätetheten uppstår? Konstruktion, teknisk lösning Material Ritningar Tidspress, ackord Slarv, nonchalans Motivation saknas Var och hur kan man göra förbättringar? Exempel	
Kritiska detaljer	Vilka är de mest kritiska detaljerna/byggnadsdelarna Anslutningar Fogar Genomföringar Fönster, dörrar Exempel	
Konsekvenser av bristande lufttätethet	Vilka konsekvenser (skador/olägenheter) får bristande lufttätethet? Energi Komfort Frysrisk Fuktskador Funktion hos ventilationssystem Gas-, lukt-, och partikelspridning, inkl Radon Ljudisolering Exempel	
Mät- och kontrollmetoder	Vilka metoder finns/används för att mäta lufttätethet? Hela hus Detaljer Vilka metoder saknas?	

		Synpunkter
Verklig lufttätethet i äldre och nya byggnader	Hur är lufttätetheten i nya och gamla byggnader?	
Goda exempel	Har du exempel på byggnader med god lufttätethet? Varför har man lyckats?	

4.1 Svarssammanställning

		Synpunkter
Intervjuad	Namn Arbetsplats/företag Arbetsuppgifter/roll Utbildning/erfarenhet Ålder	NN MM Platschef i ca 30 år Yrkesskola, bitr platschef, platschef 50
Attityd till lufttätethet	Är lufttätethet viktigt Varför? Exempel Egna erfarenheter Vad tycker arbetskamraterna? Vad tycker närmaste chef?	Kopplar till diffspärr; bra diffspärr är nödvändigt och därmed får man också god lufttätethet. Skall vara tätt runt värmeisolering. Blandar lite isolering och täthet. Lufttätethet viktig för energihushållning. Lufttätethet viktig vid styrd ventilation. Inte grepp om riskerna med fuktkonvektion. Olika attityder hos medarbetare; förståelsen finns inte i ryggmärgen. El o VVS förstör ofta lufttätetheten. Bra med indragen diffspärr; man "offrar" de innersta 5 cm (av värmeisol) för att klara lufttätetheten. Lufttätethet tas normalt inte upp på byggmöten. Chefen uppmuntrar inte till lufttätethet – kundandet finns ju på arbetsplatsen. Krav finns, men kontrolleras aldrig.
Hur hanteras lufttätethetsfrågorna på din arbetsplats	Ritningar Konstruktionslösningar Utbildning/information Kontroller, kvalitetsplan Vad skulle du vilja ändra på? Exempel	Svårt vid starkt uppdelade entreprenader, som här; gränssnitten fungerar inte. Blandning av lösningar på ritning och lösning på arbetsplats. Ofta fungerar inte ritningslösningar på arbetsplatsen. Kan vara nödvändigt att utbilda personalen på arbetsplatsen i lufttätethet. Sätter oss i boden för kort info ibland. Stor skillnad i utbildningsbehov mellan ny och gammal personal. Allmänt har medvetenheten om betydelsen av lufttätethet ökat.
Behov av information/utbildning	Skulle lufttätetheten bli bättre med ökad information/utbildning? Information Instruktion, demonstration Kurser, utbildning Annat	För bättre lufttätethet krävs a) medvetenhet och b) hjälpmedel, metoder. Lufttätethetsverkstad god idé. Tror att både arbetsledare och gubbar behöver utbildning/information.
Orsaker till bristande lufttätethet	Vad beror det på att brister i lufttätetheten uppstår? Konstruktion, teknisk lösning Material Ritningar Tidspress, ackord Slarv, nonchalans Motivation saknas Var och hur kan man göra förbättringar? Exempel	Tidspress ackord inte problemet. Problem vid nya ovanliga lösningar, t ex. vid till- och ombyggnad. Bristande kreativitet. Slarv inte ofta. Motivation saknas ibland. Medvetenheten har ökat.
Kritiska detaljer	Vilka är de mest kritiska detaljerna/byggnadsdelarna Anslutningar Fogar Genomföringar Fönster, dörrar Exempel	Detaljer, genomföringar kritiska. TRP mot stål är svårt. Stålstomme och plåtfasad svårt. Att göra tätningen är väderberoende. Kan vara problem vid byte av fönster. Ofta finns inte förutsättningar vad gäller tid, väder mm. Kan vara svårt att tätta mot betong.

		Synpunkter
Konsekvenser av bristande lufttäthet	Vilka konsekvenser (skador/olägenheter) får bristande lufttäthet? Energi Komfort Frysrisk Fuktskador Funktion hos ventilationssystem Gas-, lukt-, och partikelspridning, inkl Radon Ljudisolering Exempel	Energihushållning Ventilation
Mät- och kontroll- metoder	Vilka metoder finns/används för att mäta lufttäthet? Hela hus Detaljer Vilka metoder saknas?	Inga speciella önskemål eller synpunkter
Verklig lufttäthet i äldre och nya byggnader	Hur är lufttätheten i nya och gamla byggnader?	Nya byggnader är tätare, beroende på ökad medvetenhet och ökad isolertjocklek (!)
Goda exempel	Har du exempel på byggnader med god lufttäthet? Varför har man lyckats?	Forskningscentrum EBM Med <ul style="list-style-type: none"> - rätt material - rätt förutsättningar - tillräckliga resurser går det alltid att bygga tätt.

4.2 Svarssammanställning

		Synpunkter
Intervjuad	Namn Arbetsplats/företag Arbetsuppgifter/roll Utbildning/erfarenhet Ålder	NN/NN MM Platschef/projektledare "långa vägen" 45/52
Attityd till lufttäthet	Är lufttäthet viktigt Varför? Exempel Egna erfarenheter Vad tycker arbetskamraterna? Vad tycker närmaste chef?	Tycker lufttätheten viktig bl a för att ventilationen skall fungera, men ibland tatar vi för mkt och det blir fel (gäller spec ombyggnad). Idag mer noggrann än tidigare tape, fogmassa mm. Ibland svåra konstruktioner som inte går att täta. Fuktfrågorna viktigare än lufttätheten! Två skolor bland arbetskamraterna: Täthet behövs för att ventilationen skall fungera och För täta hus är inte bra – ger problem. Inga synpunkter från cheferna – "det fungerar inte så". De förutsätter att vi följer ritningar och beskrivningar och lägger sig inte i. Andra entreprenörer (el VVS) tar inte detta på allvar – känner inget ansvar. Konsulterna tänker inte på lufttätheten. Tänker på ljud och brand, men inte lufttäthet.

		Synpunkter
Hur hanteras lufttäthetsfrågorna på din arbetsplats	Ritningar Konstruktionslösningar Utbildning/information Kontroller, kvalitetsplan Vad skulle du vilja ändra på? Exempel	Ritningar o beskrivningar gås igenom inför nya arbetsmoment. Ofta saknas detaljer om tätheten på ritningarna och man måste lösa problemen på arbetsplatsen (ex tätskikt genom fackverksbalk). Det finns behov av mera förtillverkade detaljer (stoser, kragar mm) för att underlätta tätningen vid svåra detaljer. Tätheten finns med i kontrollplan, men är ingen viktig punkt. Tänk igenom bättre på ritbordet hur detaljerna skall lösas! Ibland för sent att lösa problemen på arbetsplatsen – man borde löst detta tidigare! Lättare att lösa problem vid totalentreprenad. Kontrollmätningar, t ex provtryckning, förekommer inte. Hot om kontroll skulle inte påtagligt förbättra tätheten – ingen slarvar avsiktligt!
Behov av information/utbildning	Skulle lufttätheten bli bättre med ökad information/utbildning? Information Instruktion, demonstration Kurser, utbildning Annat	Ja, ju fler som är medvetna, dess bättre. Markant förbättring under senare år. Kunskaperna finns ofta, men attityden viktig – man måste vilja bygga tätt. Kanske behov utbildning om isolering och täthet – de hänger ju ihop!
Orsaker till bristande lufttäthet	Vad beror det på att brister i lufttätheten uppstår? Konstruktion, teknisk lösning Material Ritningar Tidspress, ackord Slarv, nonchalans Motivation saknas Var och hur kan man göra förbättringar? Exempel	Ja, ibland knepiga konstruktioner Nej Ja, ofta Ja, ibland Finns alltid Förekommer
Kritiska detaljer	Vilka är de mest kritiska detaljerna/byggnadsdelarna Anslutningar Fogar Genomföringar Fönster, dörrar Exempel	Eldosor, ståldetaljer som bryter igenom tätskiktet, ventilationskanaler, generellt genomföringar snarare än anslutningar och skarvar. Fönster/dörrar kan vara problem – anslutning väggkarm. Mellanbjälklag – genomblåsning; anslutning mellan övre och undre våningens tätskikt
Konsekvenser av bristande lufttäthet	Vilka konsekvenser (skador/olägenheter) får bristande lufttäthet? Energi Komfort Frysrisk Fuktskador Funktion hos ventilationssystem Gas-, lukt-, och partikelspridning, inkl Radon Ljudisolering Exempel	Kondens från fuktkonvektion Komfort Funktion hos ventilationssystem
Mät- och kontrollmetoder	Vilka metoder finns/används för att mäta lufttäthet? Hela hus Detaljer Vilka metoder saknas?	Ja, kanske, men i vilket skede? Nog bra om det funnes sådana metoder.
Verklig lufttäthet i äldre och nya byggnader	Hur är lufttätheten i nya och gamla byggnader?	Mycket tätare nu än för 20 år sedan. Men, hussvamp konsekvens av för ambitiös tätning vid ombyggnad av gammalt hus. Tänka sig för innan man tätar (och isolerar) gamla hus!
Goda exempel	Har du exempel på byggnader med god lufttäthet? Varför har man lyckats?	Lindomehusen. Lyckats för att man lyfte fram kraven på lufttäthet och gjorde mätningar efteråt. Platschefen var mycket engagerad. Blev dyrt - drog många timmar.

4.3 Svarssammanställning

		Synpunkter
Intervjuad	Namn Arbetsplats/företag Arbetsuppgifter/roll Utbildning/erfarenhet Ålder	NN/NN MM Arkitekter; idéskedena planering o design Arkitektutbildning 47/34
Attityd till lufttätethet	Är lufttätethet viktigt Varför? Exempel Egna erfarenheter Vad tycker arbetskamraterna? Vad tycker närmaste chef?	Ja, viktig fråga för huset, men inte viktig för mig. Viktigt för inneklimat och energi. Men man hade ju bra klimat inne även tidigare med otäta hus. Vi inriktar oss på att uppfylla samhällets krav och ifrågasätter inte dessa krav. Sällan en viktig fråga för arkitekter; tar inte hänsyn till lufttätetheten i utformningen; förutsätter att man löser lufttätethetsproblemen. Detta är väl en fråga för ventilationskonsulter och k-konsulter. Ingen byggherre talar om lufttätethet; behandlas inte vid byggmöten e.d. ”Tvärt emot vad alla tror skall huset vara tätt för att få ett bra inneklimat” (om Lindomehusen)
Hur hanteras lufttätethetsfrågorna på din arbetsplats	Ritningar Konstruktionslösningar Utbildning/information Kontroller, kvalitetsplan Vad skulle du vilja ändra på? Exempel	Inte särskilt relevant
Behov av information/utbildning	Skulle lufttätetheten bli bättre med ökad information/utbildning? Information Instruktion, demonstration Kurser, utbildning Annat	Skulle behöva mer kunskap eftersom andra tycker frågan är viktig; vi kan inte tillräckligt. Företaget satsar på vidareutbildning och skulle uppskatta kort, intensiv teoretisk utbildning. Branschen är ”avlövad” vad gäller teknisk kompetens, t ex brand och akustik
Orsaker till bristande lufttätethet	Vad beror det på att brister i lufttätetheten uppstår? Konstruktion, teknisk lösning Material Ritningar Tidspress, ackord Slarv, nonchalans Motivation saknas Var och hur kan man göra förbättringar? Exempel	Inga synpunkter.
Kritiska detaljer	Vilka är de mest kritiska detaljerna/byggnadsdelarna Anslutningar Fogar Genomföringar Fönster, dörrar Exempel	Inga synpunkter.
Konsekvenser av bristande lufttätethet	Vilka konsekvenser (skador/olägenheter) får bristande lufttätethet? Energi Komfort Frysrisk Fuktskador Funktion hos ventilationssystem Gas-, lukt-, och partikelspridning, inkl Radon Ljudisolering Exempel	Inga synpunkter.

		Synpunkter
Mät- och kontrollmetoder	Vilka metoder finns/används för att mäta lufttäthet? Hela hus Detaljer Vilka metoder saknas?	Inga synpunkter.
Verklig lufttäthet i äldre och nya byggnader	Hur är lufttätheten i nya och gamla byggnader?	Inga synpunkter.
Goda exempel	Har du exempel på byggnader med god lufttäthet? Varför har man lyckats?	Inga synpunkter.

4.4 Svarssammanställning

		Synpunkter
Intervjuad	Namn Arbetsplats/företag Arbetsuppgifter/roll Utbildning/erfarenhet Ålder	NN MM Arbetsledare/produktionsledare Betongarbetare, Hermods ing. examen 57 år
Attityd till lufttäthet	Är lufttäthet viktigt Varför? Exempel Egna erfarenheter Vad tycker arbetskamraterna? Vad tycker närmaste chef?	Ja! Därför att det skapar bra inomhusklimat. Energianvändning. Estetiska effekter, missfärgningar. Har insett att lufttäthet är viktigt, men diskuteras inte dagligen. Chefen lägger sig inte i - detta är "vårt bord".
Hur hanteras lufttäthetsfrågorna på din arbetsplats	Ritningar Konstruktionslösningar Utbildning/information Kontroller, kvalitetsplan Vad skulle du vilja ändra på? Exempel	Ritningar/beskrivningar (handlingar), 50/50. En del löst på ritningar – resten löses på arbetsplatsen. Startmöte inför nya moment. Finns med i kvalitetsplan. Strävar efter att få gubbarna att kontrollera sig själva – detta gillar inte facket. Ofta kontroll i början (av lufttätheten) för att se att man fångat problemen.
Behov av information/utbildning	Skulle lufttätheten bli bättre med ökad information/utbildning? Information Instruktion, demonstration Kurser, utbildning Annat	Skulle vilja ha bättre och fler kurser om teknik (och inte bara ekonomi). ½ dag om teori, fallgror, risker, erfarenhetsutbyte - kort och koncis info Även demonstration av praktiska lösningar.
Behov av material, konstruktioner, detaljer		Genomföringar (t ex eldosor eller ventilationsrör) – det skulle kunna finnas fler hjälpmedel, men ofta säger man att det är för dyrt (och klarar inte konkurrensen) med specialgrejer - måste då lösas på plats med mer eller mindre lyckat resultat. Skum är bra, men får inte påverka arbetsmiljön (utan isocyanater)!
Orsaker till bristande lufttäthet	Vad beror det på att brister i lufttätheten uppstår? Konstruktion, teknisk lösning Material Ritningar Tidspress, ackord Slarv, nonchalans Motivation saknas Var och hur kan man göra förbättringar? Exempel	Ja, ofta dåligt genomtänkt Nej, men vissa material saknas Ja, ofta ofullständiga Ibland Sällan och det har blivit bättre med åren Motivation finns – lufttäthet är viktigt.
Kritiska detaljer	Vilka är de mest kritiska detaljerna/byggnadsdelarna Anslutningar Fogar Genomföringar Fönster, dörrar Exempel	Genomföringar av alla slag, ju större, desto svårare Anslutningar mot isolering (t ex en isolerad ventilationskanal) Anslutningar mot betong och stål

		Synpunkter
Konsekvenser av bristande lufttätethet	Vilka konsekvenser (skador/olägenheter) får bristande lufttätethet? Energi Komfort Frysrisk Fuktskador Funktion hos ventilationssystem Gas-, lukt-, och partikelspridning, inkl Radon Ljudisolering Exempel	Energi och komfort
Mät- och kontroll- metoder	Vilka metoder finns/ används för att mäta lufttätethet? Hela hus Detaljer Vilka metoder saknas?	Beställaren ställer krav på stickprov. Tryckmetoden fungerar bra. Behov av mäta lokala luftläckage för att hitta felkällor (t ex felaktiga tätningslister i fönster)
Verklig lufttätethet i äldre och nya byggnader	Hur är lufttätetheten i nya och gamla byggnader?	Mycket aktuellt under energikrisen, sedan sämre, men nu aktuellare igen
Goda exempel	Har du exempel på byggnader med god lufttätethet? Varför har man lyckats?	Detta objekt (MM) blir bra – genomtänkta, bra konstruktioner (totalentreprenad)

4.5 Svarssammanställning

		Synpunkter
Intervjuad	Namn Arbetsplats/företag Arbetsuppgifter/roll Utbildning/erfarenhet Ålder	NN MM Platschef Civ ing V 1985 produktion, inköpare. projekteringsledning 46
Attityd till lufttätethet	Är lufttätethet viktigt Varför? Exempel Egna erfarenheter Vad tycker arbetskamraterna? Vad tycker närmaste chef?	Tveksam – plast alltför tätt; skeptisk. Vi bygger ibland för tätt. Känns fel med plast i väggar. Anvisningar för tätning av eldosor eller dyl teoretiska; går inte att genomföra i verkligheten. Varierande; en del "gubbar" är också skeptiska, men vana att göra som dom blir tillsagda. De har ingen speciell uppfattning
Hur hanteras lufttätethetsfrågorna på din arbetsplats	Ritningar Konstruktionslösningar Utbildning/information Kontroller, kvalitetsplan Vad skulle du vilja ändra på? Exempel	Ritningar och beskrivningar; aldrig speciella diskussioner utöver det. Säger att det skall vara tätt – snarare än hur Ligger ibland i kontrollplan. Aldrig varit med om efterkontroll av byggherren. Tas inte upp på byggmötet
Behov av information/ utbildning	Skulle lufttätetheten bli bättre med ökad information/utbildning? Information Instruktion, demonstration Kurser, utbildning Annat	Om lufttätetheten är så viktig behövs information och utbildning för att skapa förståelse för dessa frågor att det är rätt och nödvändigt. Borde finnas i grundutbildningen, men också i vidareutbildning för dom som är lite äldre.
Orsaker till bristande lufttätethet	Vad beror det på att brister i lufttätetheten uppstår? Konstruktion, teknisk lösning Material Ritningar Tidspress, ackord Slarv, nonchalans Motivation saknas Var och hur kan man göra förbättringar? Exempel	Ja, kan det vara Nej Ja Ibland prioriteras lufttätethet bort eftersom man tycker den är oviktig Vissa Ja, ofta Genom utbildning bättre motivation

		Synpunkter
Kritiska detaljer	Vilka är de mest kritiska detaljerna/byggnadsdelarna Anslutningar Fogar Genomföringar Fönster, dörrar Exempel Nya produkter?	Anslutningar, genomföringar, eldosor, fönster, dörrar Finns säkert behov, men de kommer sällan till användning (skall beställas särskilt och kostar en slant)
Konsekvenser av bristande lufttäthet	Vilka konsekvenser (skador/olägenheter) får bristande lufttäthet? Energi Komfort Frysrisk Fuktskador Funktion hos ventilationssystem Gas-, lukt-, och partikelspridning, inkl Radon Ljudisolering Exempel	Energi
Mät- och kontrollmetoder	Vilka metoder finns/används för att mäta lufttäthet? Hela hus Detaljer Vilka metoder saknas?	Inga synpunkter
Verklig lufttäthet i äldre och nya byggnader	Hur är lufttätheten i nya och gamla byggnader?	Minskat intresse för täthet och energihushållning – ökat intresse för fukt.
Goda exempel	Har du exempel på byggnader med god lufttäthet? Varför har man lyckats?	Inga synpunkter

4.6 Svarssammanställning

		Synpunkter
Intervjuad	Namn Arbetsplats/företag Arbetsuppgifter/roll Utbildning/erfarenhet Ålder	NN MM Konstruktionschef CTH V74, J&W, PIAB, egen 53
Attityd till lufttäthet	Är lufttäthet viktigt Varför? Exempel Egna erfarenheter Vad tycker arbetskamraterna? Vad tycker närmaste chef?	Ja Många skäl – energi och fukt. Starkt emot ”eko-trenden”. Arbetskamraterna har inga starka uppfattningar, men jag lär dem att täthet är viktigt och hur de skall göra
Hur hanteras lufttäthetsfrågorna på din arbetsplats	Ritningar Konstruktionslösningar Utbildning/information Kontroller, kvalitetsplan Vad skulle du vilja ändra på? Exempel	Ritar detaljer 1:10. Tänker igenom på ritbordet. Detaljerna avgörande – måste också gå att utföra på arbetsplatsen. Visa arkitektoniska konstruktioner är svåra att få lufttäta. Ofta dålig feedback från arbetsplatsen – man vet inte alltid hur det fungerar. Fuktsäkerhet är viktigt – vi har sällan haft problem med fukt. Tror inte att man kan lösa lufttäthetsfrågorna på arbetsplatsen – rolltänkandet fortfarande starkt: projektören projekterar – entreprenören bygger. Platschefen är sällan tillräckligt kunnig i tekniska frågor (bättre på att se till att lastbilarna kommer i tid). Ansvaret har gått från arkitekten till konstruktören under senare år –ibland vakuum. Har försökt involvera entreprenörer i projekteringsarbetet, men ringa intresse – rolltänkandet!

		Synpunkter
Behov av information/ utbildning	Skulle lufttäteten bli bättre med ökad information/utbildning? Information Instruktion, demonstration Kurser, utbildning Annat	Hänger med ganska bra, följer vad som görs, skaffar ny litteratur och känner alltså inget större behov av ytterligare info/utbildning.
Orsaker till bristande lufttätet	Vad beror det på att brister i lufttäteten uppstår? Konstruktion, teknisk lösning Material Ritningar Tidspress, ackord Slarv, nonchalans Motivation saknas Var och hur kan man göra förbättringar? Exempel	Ja, kan vara om lösningen inte är genomtänkt. Inte ofta Se ovan konstruktion - - - Kan man göra lufttätetsfunktionen inspekterbar och underhållsbar? Nej, tror inte det!
Kritiska detaljer	Vilka är de mest kritiska detaljerna/byggnadsdelarna Anslutningar Fogar Genomföringar Fönster, dörrar Exempel	Nivåskillnader på tak t ex burspråk; Balkonger, terrasser.
Behov av nya material, produkter, hjälpmedel		Eldosor och elrör skulle behöva förbättras. Kragar eller liknande vore bra. Bra lösningar i Karin Adalberts bok.
Konsekvenser av bristande lufttätet	Vilka konsekvenser (skador/olägenheter) får bristande lufttätet? Energi Komfort Frysrisk Fuktskador Funktion hos ventilationssystem Gas-, lukt-, och partikelspridning, inkl Radon Ljudisolering Exempel	Energi Fukt Funktion hos ventilationssystem
Mät- och kontrollmetoder	Vilka metoder finns/används för att mäta lufttätet? Hela hus Detaljer Vilka metoder saknas?	Sällan aktuellt. Inga synpunkter. Inte så intressant numera – större intresse på 70-talet.
Verklig lufttätet i äldre och nya byggnader	Hur är lufttäteten i nya och gamla byggnader?	Bättre förr – sedan dåligt, men håller kanske på att vända?
Goda exempel	Har du exempel på byggnader med god lufttätet? Varför har man lyckats?	Platsguten betong Behövs bra konstruktion och bra förutsättningar.

4.7 Svarssammanställning

		Synpunkter
Intervjuad	Namn Arbetsplats/företag Arbetsuppgifter/roll Utbildning/erfarenhet Ålder	NN MM Skadautredare Byggnadssnickare, byggnadsingenjör, byggledare, byggnadsinspektör, konsult mm 61 år
Attityd till lufttätet	Är lufttätet viktigt Varför? Exempel Egna erfarenheter Vad tycker arbetskamraterna? Vad tycker närmaste chef?	Mycket viktigt. Undvika skador Spara energi Skapa bra inneklimat Inom MM: tycker likadant Ingen uppfattning

		Synpunkter
Hur hanteras lufttäthetsfrågorna på din arbetsplats	Ritningar Konstruktionslösningar Utbildning/information Kontroller, kvalitetsplan Vad skulle du vilja ändra på? Exempel	Mycket varierande från totalt oförstånd till mycket duktigt agerande. Ritningar otillräckliga – alltför mycket måste lösas på arbetsplatsen. Förekommer ibland, där det är möjligt Det skall vara bättre beskrivet på ritningarna – eftersom man inte har tid att göra tekniska lösningar på bygget; det är produktionen som gäller - inte göra projekteringar
Behov av information/ utbildning	Skulle lufttätheten bli bättre med ökad information/utbildning? Information Instruktion, demonstration Kurser, utbildning Annat	Ja, det är nödvändigt i hela processen särskilt viktigt i projekteringsledet Föredrag, tryckt material, informationsmaterial, byggplatsbibliotek. Demonstration är bra. Men man måste också ge mer grundläggande information: Folk kan inte skilja mellan lufttäthet och isolering – tror att man kan skapa lufttäthet med isolering. Modeller, videofilm, rök, termogram för att visa konsekvenser.
Behov av nya material och hjälpmedel	Nya material Tape Fogmassor Stosar	Kragar för eldosor behövs Ny system behövs folie + fogar Beständigheten hos t ex tape är tveksam Lufttäta elskåp
Orsaker till bristande lufttäthet	Vad beror det på att brister i lufttätheten uppstår? Konstruktion, teknisk lösning Material Ritningar Tidspress, ackord Slarv, nonchalans Motivation saknas Var och hur kan man göra förbättringar? Exempel	Ja, ofta brister – lösningar saknas ofta; konsulterna blir arga när man påpekar det Nej Ja, se ovan Ja, kan vara skäl Förekommer, men ofta okunskap Nej, troligen inte, men okunskap El o VVS-installatörer är ofta okunniga om behoven av lufttäthet Information -> kunskap -> motivation->bättre kvalitet Incitament, belöningssystem skulle kunna fungera
Kritiska detaljer	Vilka är de mest kritiska detaljerna/byggnadsdelarna Anslutningar Fogar Genomföringar Fönster, dörrar Exempel	Mellanbjälklag Anslutningar vid takfot Stödbensväggar Elrör, man får inte täta eftersom man skall kunna dra ur trådarna Ventilationskanaler, skorstenskanaler (läcker alltid när man monterat in kamin med skorsten)
Konsekvenser av bristande lufttäthet	Vilka konsekvenser (skador/olägenheter) får bristande lufttäthet? Energi Komfort Frysrisk Fuktskador Funktion hos ventilationssystem Gas-, lukt-, och partikelspridning, inkl Radon Ljudisolering Exempel	Isoleringen fungerar inte – högre energianvändning Kalla ytor, drag påverkar operativ temperatur, termisk komfort mm (handduken frös fast på golvet) Fuktskador Frusna rör Funktion hos ventilationssystem, spec i stora hus (läppstiftet i Gbg) Luktspridning mellan radhuslägenheter – ofta problem i radhus Påverkar ljudisoleringen
Mät- och kontrollmetoder	Vilka metoder finns/ används för att mäta lufttäthet? Hela hus Detaljer Vilka metoder saknas?	Tryckmetoden bra –men behöver utvecklas för användning vid radhus Svårt att prova stora hus – något bör utvecklas Också behov att kunna mäta på detaljer, t ex utfackningsväggar Vore också intressant att utveckla metod som använder det egna ventilationssystemet

		Synpunkter
Verklig lufttätethet i äldre och nya byggnader	Hur är lufttätetheten i nya och gamla byggnader?	Bättre under 80-talet- har blivit sämre – intresset har avtagit – kommunernas kontroller har upphört – kvalitetsansvarig förstår inte problemen
Goda exempel	Har du exempel på byggnader med god lufttätethet? Varför har man lyckats?	Lindåshuset – engagerad platschef, fick med sig arbetarna, arkitekten hade god kontakt och väckte entusiasm

4.8 Svarssammanställning

		Synpunkter
Intervjuad	Namn Arbetsplats/företag Arbetsuppgifter/roll Utbildning/erfarenhet Ålder	NN MM Skadutredare; fukt, inommiljö Byggnadsingenjör, labing, konsult, skadutredare 54
Attityd till lufttätethet	Är lufttätethet viktigt Varför? Exempel Egna erfarenheter Vad tycker arbetskamraterna? Vad tycker närmaste chef?	Ja. Termisk komfort ex drag vid golvvinkel Fuktkonvektion, Energiaspekter, Funktion av vent-system, inläckning av radon Stor variation; yngre tar det mer på allvar Chefer tar inte lufttätethet på allvar. Större förståelse i småhusbranschen.
Hur hanteras lufttäthetsfrågorna på din arbetsplats	Ritningar Konstruktionslösningar Utbildning/information Kontroller, kvalitetsplan Vad skulle du vilja ändra på? Exempel	Följer ritningsunderlaget, men ofta dåliga lösningar Ofta orimliga lösningar, otydliga ritningar, konstruktionerna dåliga Arkitekter gör omöjliga lösningar Går inte att flytta ansvar från projektör till entreprenör eftersom kunskap här saknas. Finns sällan i kontrollplan Bättre kompetens, mer resurser och bättre förståelse på arbetsplatsen
Behov av information/utbildning	Skulle lufttätetheten bli bättre med ökad information/utbildning? Information Instruktion, demonstration Kurser, utbildning Annat	Ja, definitivt. Om man får förklaring av varför så tar man det på allvar. Information när bygget går igång behövs. Troligen bättre med extern information; tas mer på allvar. Viktigt med behovsanpassning – rätt info till varje grupp
Orsaker till bristande lufttätethet	Vad beror det på att brister i lufttätetheten uppstår? Konstruktion, teknisk lösning Material Ritningar Tidspress, ackord Slarv, nonchalans Motivation saknas Var och hur kan man göra förbättringar? Exempel	Ja Sällan Ja, detaljer saknas Kan vara så Okunskap, snarare än slarv Beror ofta på okunskap Förståelse => motivation => bättre jobb
Kritiska detaljer	Vilka är de mest kritiska detaljerna/byggnadsdelarna Anslutningar Fogar Genomföringar Fönster, dörrar Exempel	Mellanbjälklagens anslutningar Utfackningsväggar Genomföringar Elementfogar Oputsade element
Behov av nya produkter		För genomföringar – kragar etc; finns idag men är knöliga att använda Skarvteknik – ser ofta otäta skarvar vid skadutredningar Beständighet?

		Synpunkter
Konsekvenser av bristande lufttätethet	Vilka konsekvenser (skador/olägenheter) får bristande lufttätethet? Energi Komfort Frysrisk Fuktskador Funktion hos ventilationssystem Gas-, lukt-, och partikelspridning, inkl Radon Ljudisolering Exempel	Se tidigare
Mät- och kontroll- metoder	Vilka metoder finns/används för att mäta lufttätethet? Hela hus Detaljer Vilka metoder saknas?	Används sällan trots att det finns krav i BBR. Tycker att det är en onödig kostnad? Tryckprovningmetoden helst i kombination med läcksökning är mycket bra. Kan finnas behov att mäta lokala läckage – ett verktyg för att lära sig bygga tätare
Verklig lufttätethet i äldre och nya byggnader	Hur är lufttätetheten i nya och gamla byggnader?	Aktuellt på 70-talet, sedan minskat intresse och fortsatt dåligt intresse
Goda exempel	Har du exempel på byggnader med god lufttätethet? Varför har man lyckats?	Hjältevadshus, eldsjäl, kunskap, motivation

Bilaga 5.1

Resultat från provning av elementärläckor på laboratorium

Provningarna är utförda på SPs laboratorium i Borås under perioden 2003-11 till 2004-03 av Roland Löfström. Provningarna som utförts inom ramen för ett examensarbete är utförda av Mikael Johansson (CTH) och redovisas i [Mikael Johansson, 2004]. Mätförfarande liksom mätnoggrannhet finns beskrivna i Bilaga 5.2.

Resultaten avser endast de provade objekten. Läckaget kan variera beroende av variationer i material samt arbetsutförande och resultaten bör därför endast användas för att få en uppfattning av storleksordningen på läckagen.

För varje elementarläcka redovisas i tabell: tryckskillnad (över- och undertryck), luftläckage per längdenhet ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$) och luftläckage (m^3/h). I figur visas luftläckage per längdenhet ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$) som funktion av tryckskillnaden (Pa). Kurva för över- resp undertryck redovisas. Dessutom anges för över- och undertryck koefficienterna α och β , definierade enligt

$$r = \alpha \cdot \Delta p^\beta$$

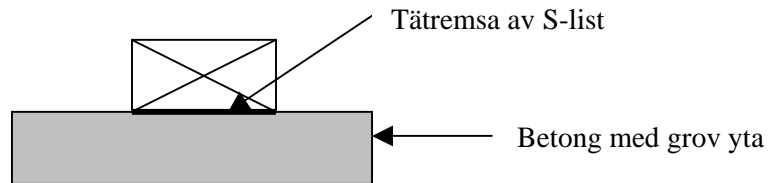
där r är luftflöde per längdenhet ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$) och Δp är tryckskillnad (Pa).

Observera att vissa konstruktionsnummer saknas och att provade varianter betecknas med tilläggsbokstäverna A, B, C.

Konstruktion 1

Beskrivning

Tätningstremsa av S-list under träsyll/hammarband mot grov betongyta. Infästning av syll med skruv c/c cirka 600 mm.



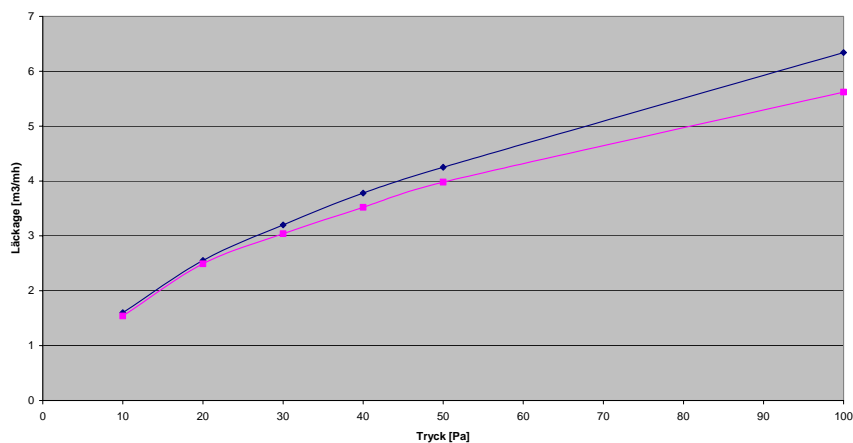
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan syll och betongyta m ³ /h · m	Läckage mellan syll och betongyta m ³ /h
10	1,60	3,94
-10	1,54	3,78
20	2,55	6,28
-20	2,49	6,13
30	3,20	7,87
-30	3,04	7,47
40	3,78	9,30
-40	3,52	8,67
50	4,25	10,46
-50	3,98	9,80
100	6,34	15,61
-100	5,62	13,83

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,42$
flödesexponent= $\beta=0,59$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,45$
flödesexponent= $\beta=0,56$

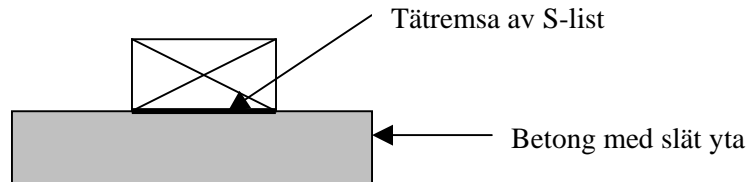
Konstruktion 1: S-list under träsyll mot grov betongyta



Konstruktion 1 A

Beskrivning

Tätningstremsa av S-list under träsyll/hammarband mot slät betongyta. Infästning av syll med skruv med c/c 600 mm.



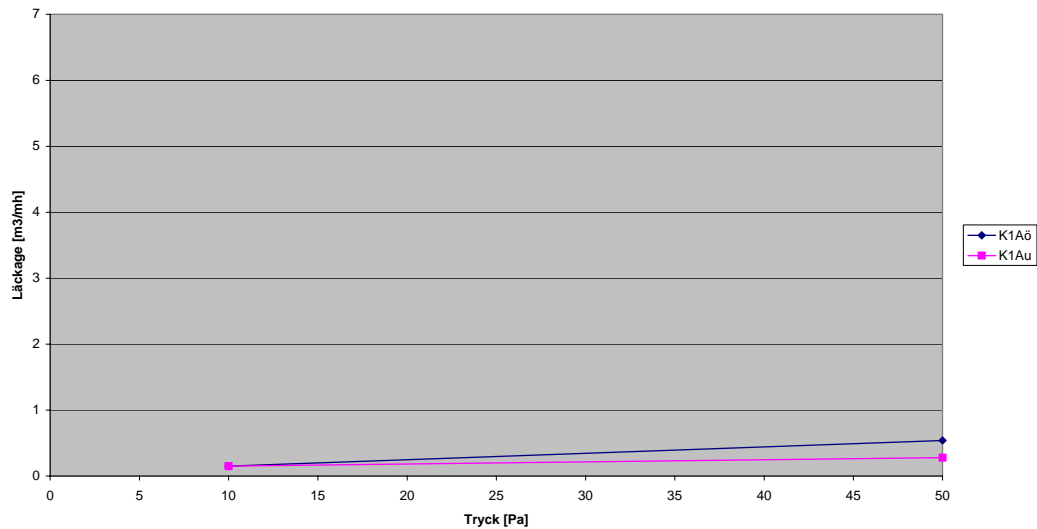
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan syll och betong $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan syll och betong m^3/h
10	0,15	0,36
-10	0,15	0,38
50	0,54	1,33
-50	0,28	0,69

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,02$
flödesexponent= $\beta=0,80$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,06$
flödesexponent= $\beta=0,39$

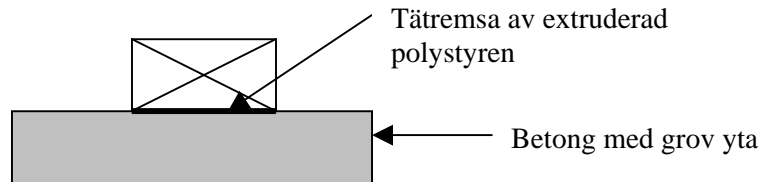
K1A: S-list under träsyll mot slät betongyta



Konstruktion 2

Beskrivning

Tätningstremsa av extruderad polystyren (5 mm tjock) under träsyll/hammarband mot grov betongyta. Infästning av syll med skruv c/c 600 mm.



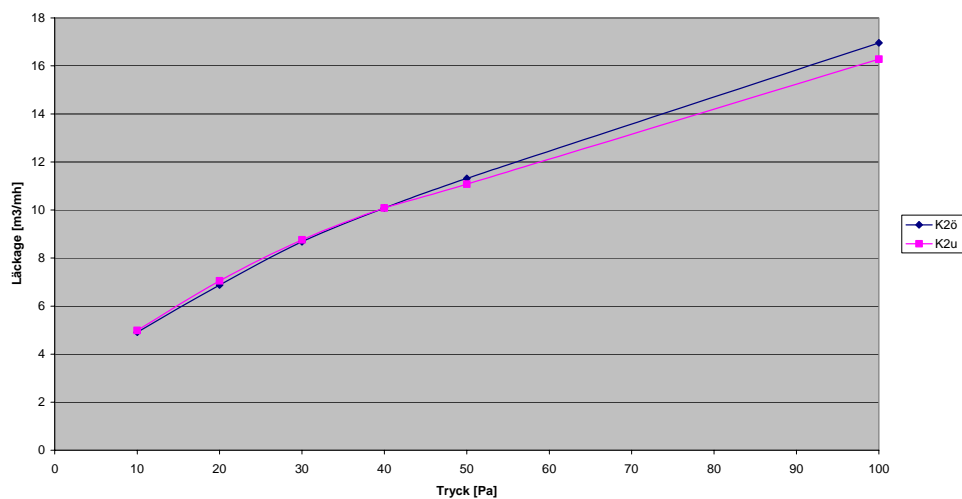
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan syll och betong $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan syll och betongyta m^3/h
10	4,91	12,07
-10	4,99	12,28
20	6,88	16,93
-20	7,05	17,35
30	8,68	21,36
-30	8,76	21,55
40	10,08	24,80
-40	10,08	24,80
50	11,32	27,87
-50	11,08	27,26
100	16,96	41,71
-100	16,28	40,05

Övertryck:
koefficient= $\alpha=1,39$
flödesexponent= $\beta=0,54$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=1,53$
flödesexponent= $\beta=0,51$

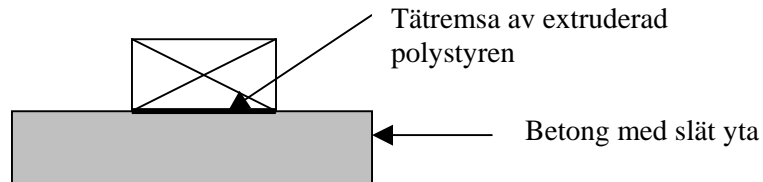
K2: Extruderad polyetenremsa under träsyll mot grov betongyta



Konstruktion 2 A

Beskrivning

Tätningstremsa av extruderad polystyren (5 mm tjock) under träsyll/hammarband mot slät betongyta. Infästning av syll med c/c cirka 600 mm.



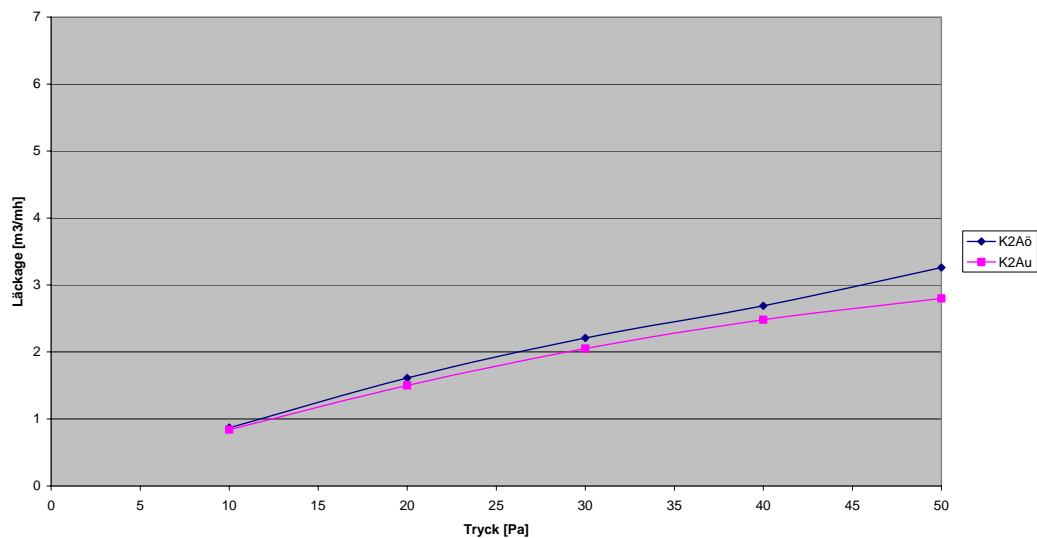
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan syll och betong $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan syll och betong m^3/h
10	0,87	2,13
-10	0,84	2,07
20	1,61	3,97
-20	1,50	3,70
30	2,21	5,43
-30	2,05	5,04
40	2,69	6,61
-40	2,48	6,10
50	3,26	8,01
-50	2,80	6,88

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,14$
flödesexponent= $\beta=0,81$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,15$
flödesexponent= $\beta=0,76$

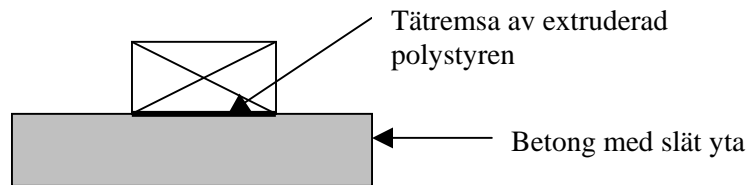
K2A: Extruderad polyetenremsa under träsyll mot slät betongyta



Konstruktion 2B

Beskrivning

Tätningstremsa av extruderad polystyren (5 mm tjock) under träsyll/hammarband mot slät betongyta. Infästning av syll med expanderbult c/c 1000 mm.

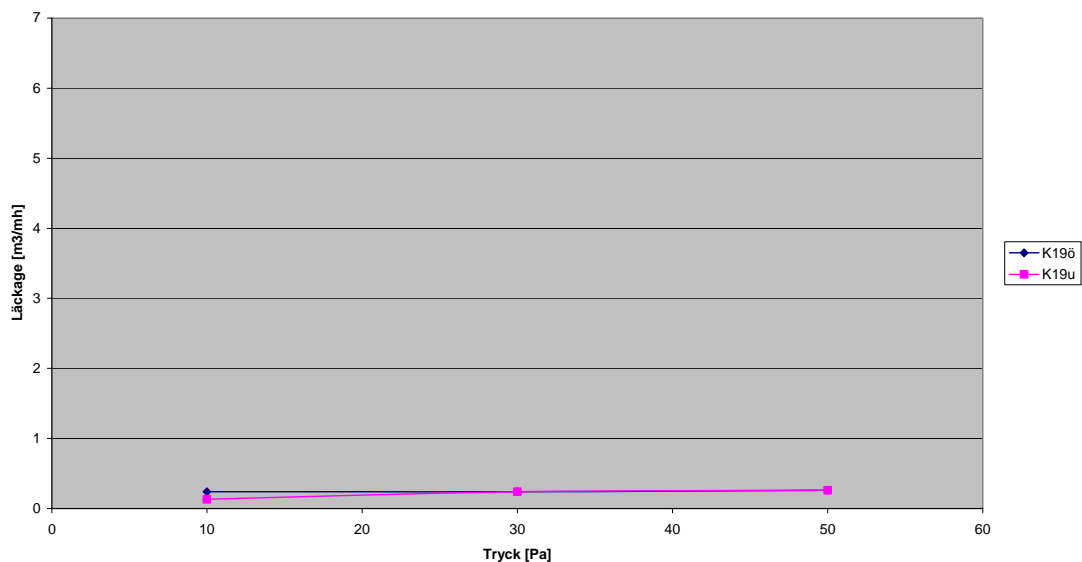


Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan betong och syll m ³ /h · m	Läckage mellan syll och betong m ³ /h
10	0,24	0,61
-10	0,13	0,32
30	0,24	0,59
-30	0,24	0,59
50	0,26	0,63
-50	0,26	0,63

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,22$
flödesexponent= $\beta=0,04$
Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,05$
flödesexponent= $\beta=0,45$

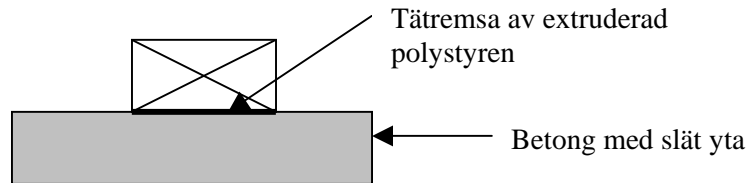
K2B: Extruderad polyetenremsa under träsyll mot slät betongyta, infästning med expanderbult c/c 1000



Konstruktion 2C

Beskrivning

Tätningstremsa av extruderad polystyren (5 mm tjock) under träsyll/hammarband mot slät betongyta. Infästning av syll med träskruv c/c 1000 mm.



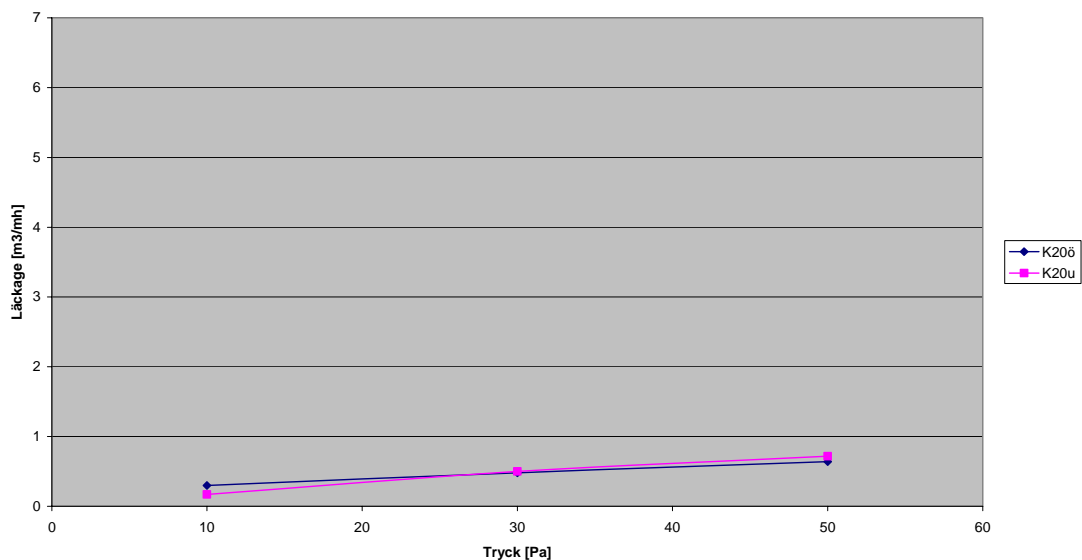
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan syll och betong $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan syll och betong m^3/h
10	0,30	0,75
-10	0,17	0,41
30	0,48	1,17
-30	0,50	1,24
50	0,64	1,58
-50	0,72	1,76

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,10$
flödesexponent= $\beta=0,46$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,02$
flödesexponent= $\beta=0,91$

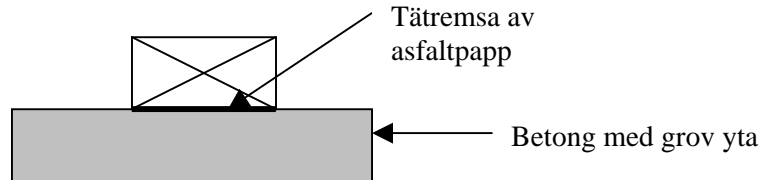
K2C: Extruderad polyetenremsa under träsyll mot slät betong, infästning med skruv c/c 1000



Konstruktion 3

Beskrivning

Tätningstremsa av asfaltpapp under träsyll/hammarband mot grov betongyta. Infästning av syll med c/c cirka 600 mm.



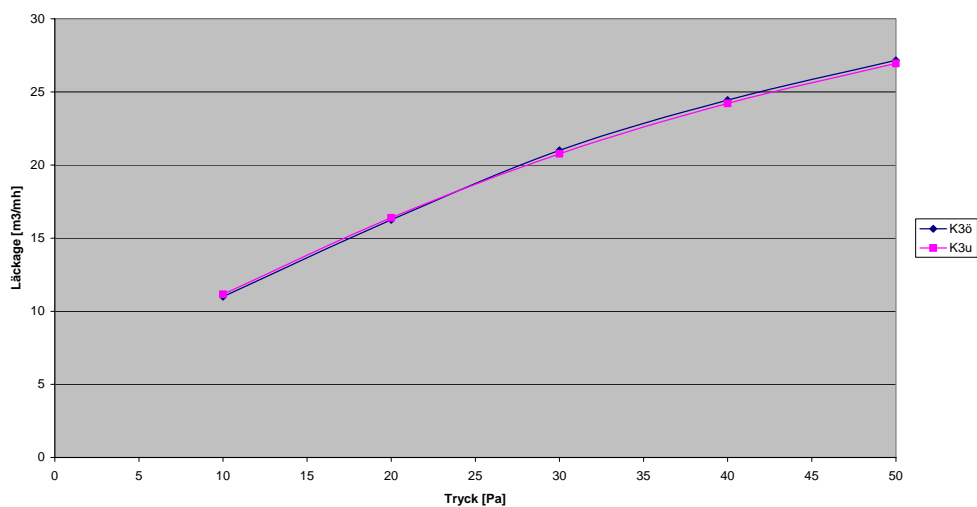
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan syll och betong $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan syll och betong m^3/h
10	11,00	27,05
-10	11,16	27,46
20	16,25	39,98
-20	16,40	40,35
30	21,01	51,69
-30	20,77	51,10
40	24,44	60,12
-40	24,22	59,57
50	27,17	66,85
-50	26,95	66,30

Övertryck:
koefficient= $\alpha=2,97$
flödesexponent= $\beta=0,57$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=3,14$
flödesexponent= $\beta=0,55$

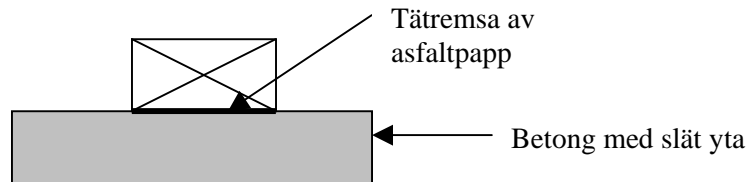
K3: Asfaltpapp under träsyll mot grov betongyta



Konstruktion 3 A

Beskrivning

Tätningstremsa av asfaltpapp (2,5 mm tjock) under träsyll/hammarband mot slät betongyta. Infästning av syll med skruv c/c cirka 600 mm.



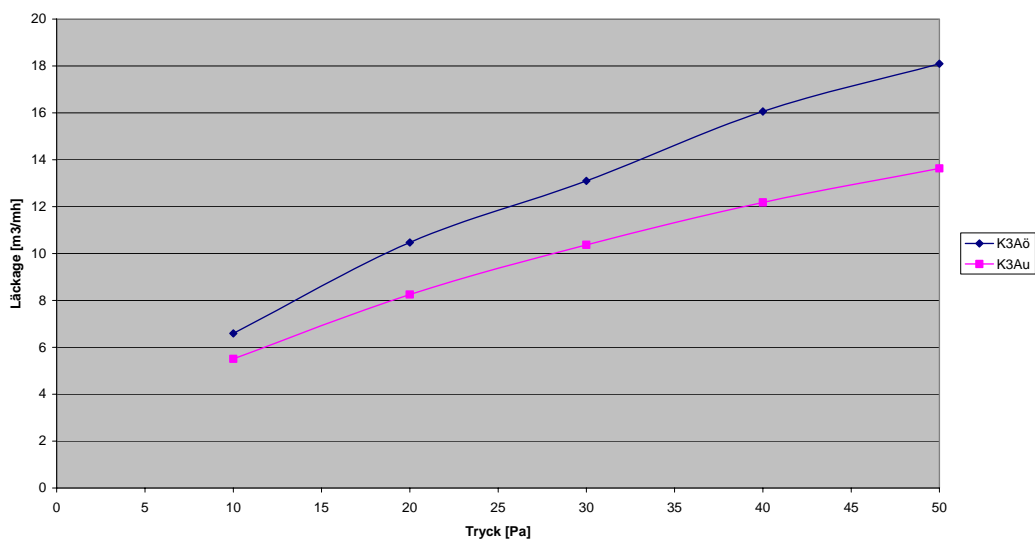
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan syll och betong $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan syll och betong m^3/h
10	6,59	16,2
-10	5,51	13,56
20	10,47	25,75
-20	8,25	20,29
30	13,10	32,22
-30	10,37	25,51
40	16,06	39,50
-40	12,18	29,96
50	18,10	44,52
-50	13,63	33,52

Övertryck:
koefficient= $\alpha=1,56$
flödesexponent= $\beta=0,63$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=1,51$
flödesexponent= $\beta=0,51$

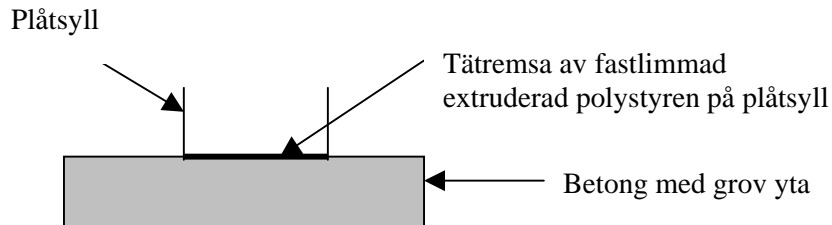
K3A: Asfaltpapp under träsyll mot slät betongyta



Konstruktion 5

Beskrivning

Plåtsyll/hammarband med fastlimmad extruderad polystyren som tätningssresa ovan grov betongyta. Infästning av syll med c/c cirka 500 mm.



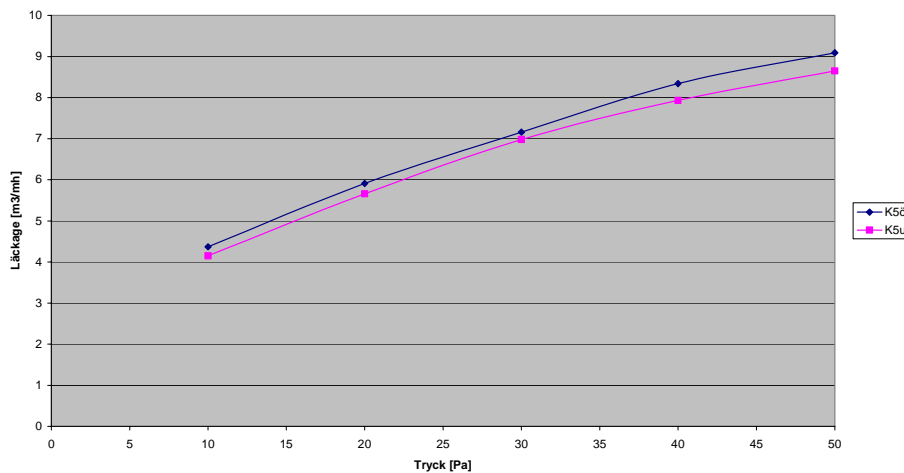
Resultat från tåthetsprovning

Tryck Pa	Låckage mellan syll och betong m ³ /h · m	Låckage mellan syll och betong m ³ /h
10	4,37	10,75
-10	4,15	10,22
20	5,91	14,54
-20	5,66	13,92
30	7,16	17,61
-30	6,98	17,17
40	8,34	20,51
-40	7,93	19,50
50	9,09	22,36
-50	8,65	21,28

Övertryck:
koefficient= $\alpha=1,50$
flödesexponent= $\beta=0,46$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=1,43$
flödesexponent= $\beta=0,46$

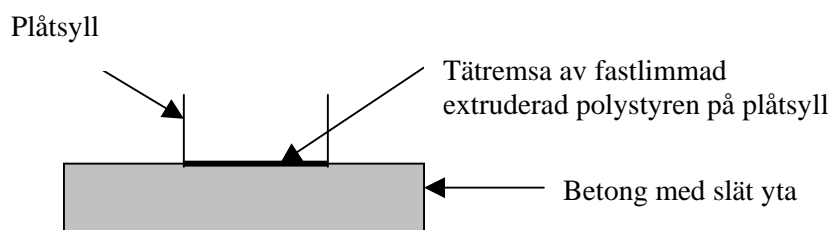
K5: Extruderad polyetenremsa under plåtsyll mot grov betongyta



Konstruktion 5 A

Beskrivning

Plåtsyll/hammarband med fastlimmad extruderad polystyren som tätningsremsa ovan slät betongyta. Infästning av syll med c/c cirka 500 mm.



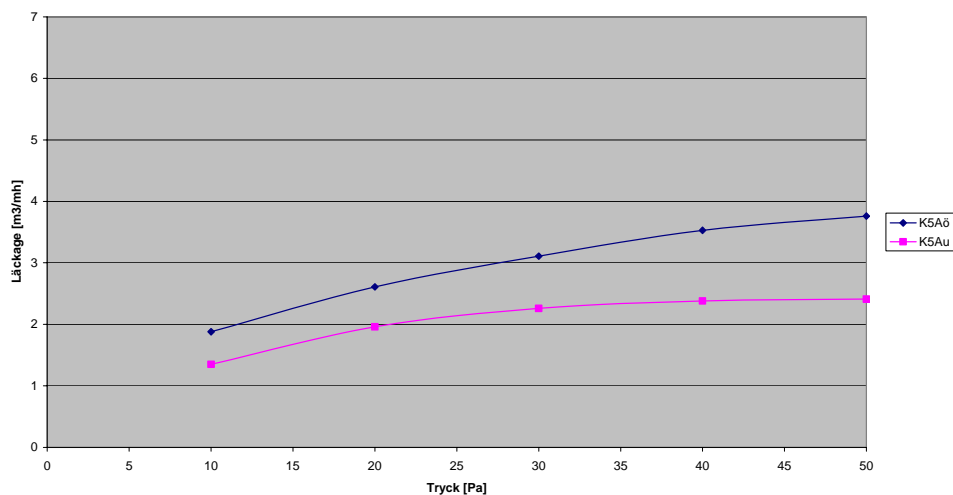
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan syll och betong $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan syll och betong m^3/h
10	1,88	4,63
-10	1,35	3,32
20	2,61	6,43
-20	1,96	4,81
30	3,11	7,66
-30	2,26	5,57
40	3,53	8,68
-40	2,38	5,85
50	3,76	9,25
-50	2,41	5,93

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,69$
flödesexponent= $\beta=0,44$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,61$
flödesexponent= $\beta=0,37$

K5A: Extruderad polyetenremsa under plåtsyll mot slät betongyta

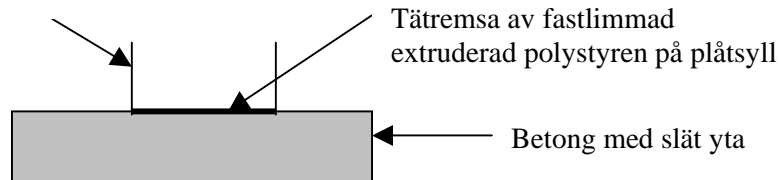


Konstruktion 5 B

Beskrivning

Plåtsyll/hammarband med fastlimmad extruderad polystyren som tätningssresa ovan slät betongyta. Perforeringar i plåtsyll tätade. Infästning av syll med c/c cirka 500 mm.

Plåtsyll med perforeringar tätade



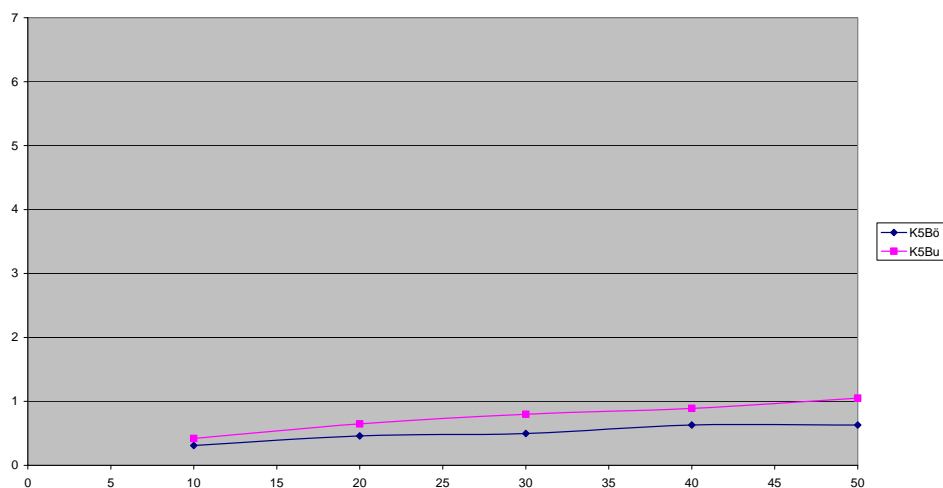
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan syll och betong m ³ /h · m	Läckage mellan syll och betong m ³ /h
10	0,31	0,76
-10	0,42	1,04
20	0,46	1,12
-20	0,65	1,59
30	0,50	1,24
-30	0,80	1,97
40	0,63	1,55
-40	0,89	2,19
50	0,63	1,54
-50	1,05	2,58

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,11$
flödesexponent= $\beta=0,45$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,12$
flödesexponent= $\beta=0,55$

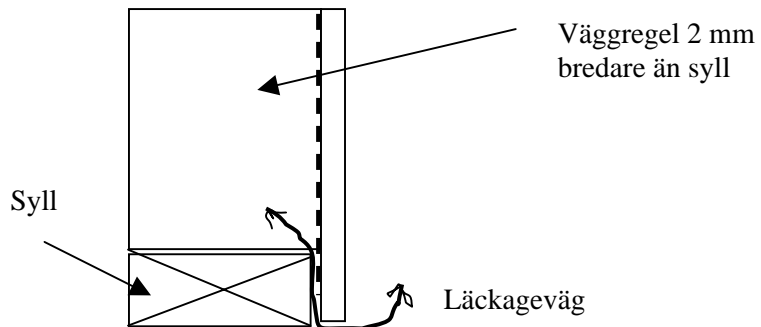
K5B: Extruderad polystyrenremsa under plåtsyll [med tätade perforeringar] mot slät betong



Konstruktion 6

Beskrivning

PE-folie klämd mot väggstyll/hammarband av trä med gipsskiva. Gipsskivan är infäst med skruv c/c cirka 200. Väggregeln ovan syllen är 2 mm bredare än syllen. Detta kan vara fallet pga variationer i arbetsutförande eller då syllen är hyvlad och väggregel är ohyvlad.



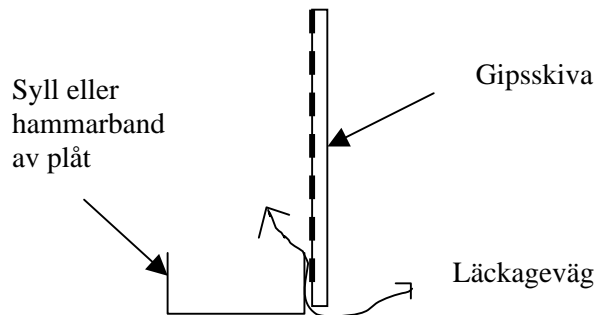
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan gipsskiva och syll $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan gipsskiva och syll m^3/h
50	0,13	0,31
-50	0,10	0,25

Konstruktion 9

Beskrivning

PE-folie klämd mot väggsyll/hammarband av plåt med gipsskiva. Gipsskivan är infäst med skruv c/c cirka 200 mm.



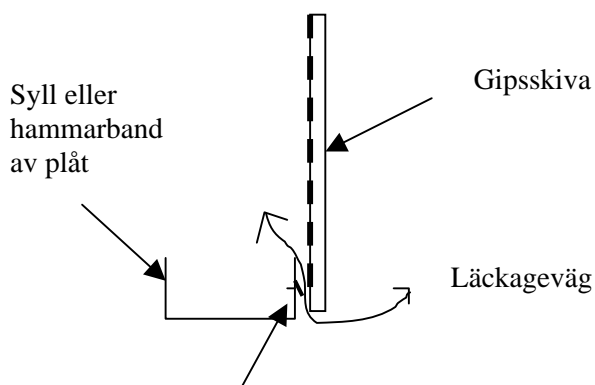
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan gips och plåtsyll $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage exklusive egenläckage m^3/h
30	0	0
-30	0	0
50	0	0
-50	0	0

Konstruktion 18

Beskrivning

PE-folie klämd mot väggsyll/hammarband av plåt med gipsskiva. Skruvskallar sticker upp vid plåtsyll. Gipsskivan är infäst med skruv c/c cirka 200 mm.



Skruvskalle sticker ut

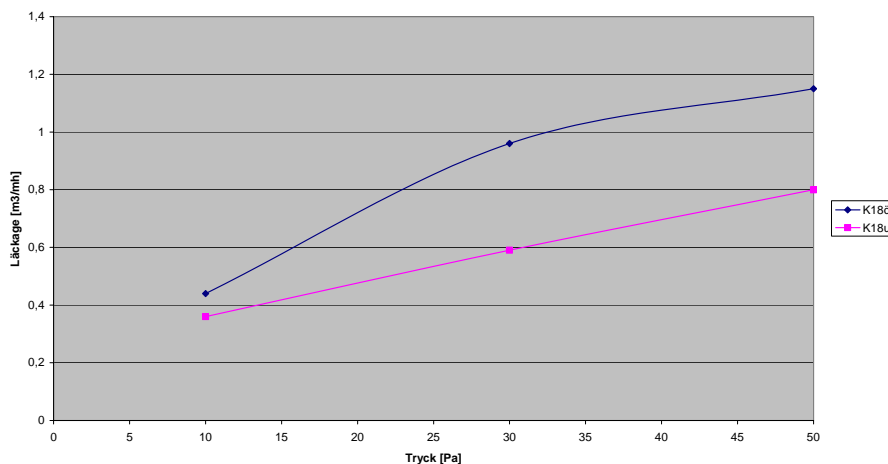
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan gips och plåtsyll m ³ /h · m	Läckage mellan gips och plåtsyll m ³ /h
10	0,44	1,08
-10	0,36	0,88
30	0,96	2,36
-30	0,59	1,44
50	1,15	2,84
-50	0,80	1,97

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,11$
flödesexponent= $\beta=0,62$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,12$
flödesexponent= $\beta=0,49$

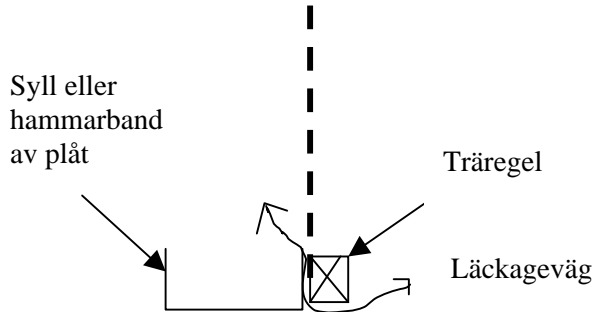
PE-folie klämd med gips mot syll/hammarband av plåt, skruvskallar sticker upp



Konstruktion 10

Beskrivning

PE-folie klämd mot väggsyll/hammarband av plåt med 45x45 regel. Infästning med c/c 600 mm.



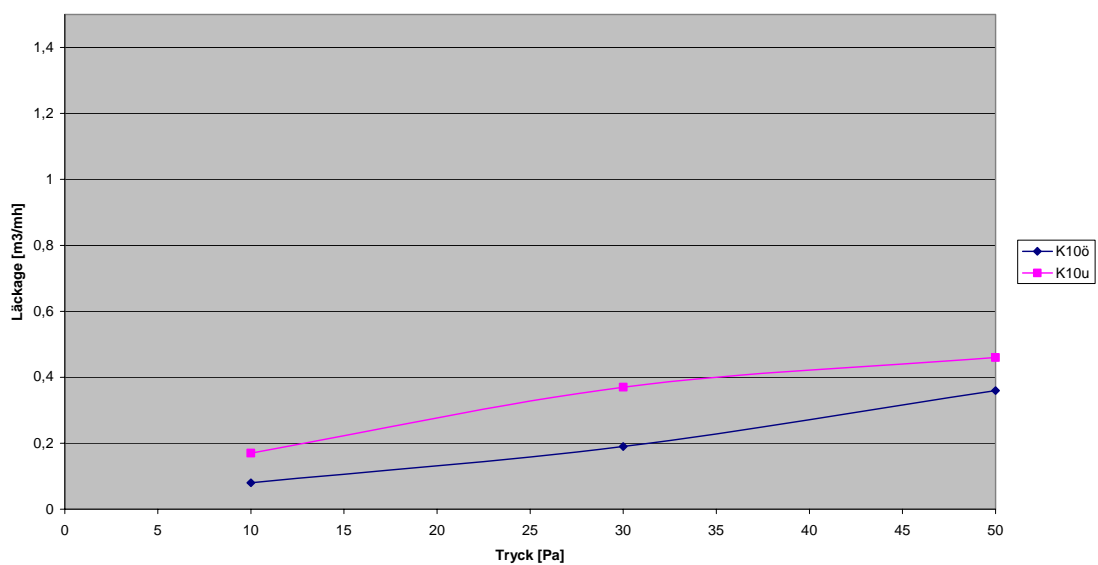
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan plåtsyll och träreger m ³ /h · m	Läckage mellan plåtsyll och träreger m ³ /h
10	0,08	0,20
-10	0,17	0,41
30	0,19	0,46
-30	0,37	0,92
50	0,36	0,88
-50	0,46	1,14

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,01$
flödesexponent= $\beta=0,91$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,04$
flödesexponent= $\beta=0,63$

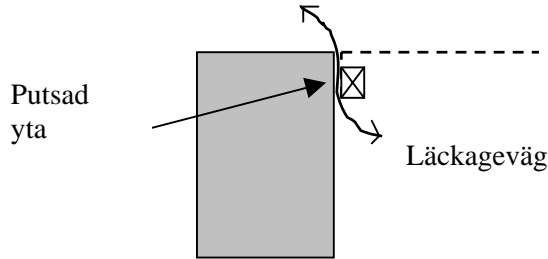
PE-folie klämd med träreger mot träsyll



Konstruktion 11

Beskrivning

PE-folie klämd mot putsad yta med taklist. Infästningen är utförd med skruv c/c 600 mm.



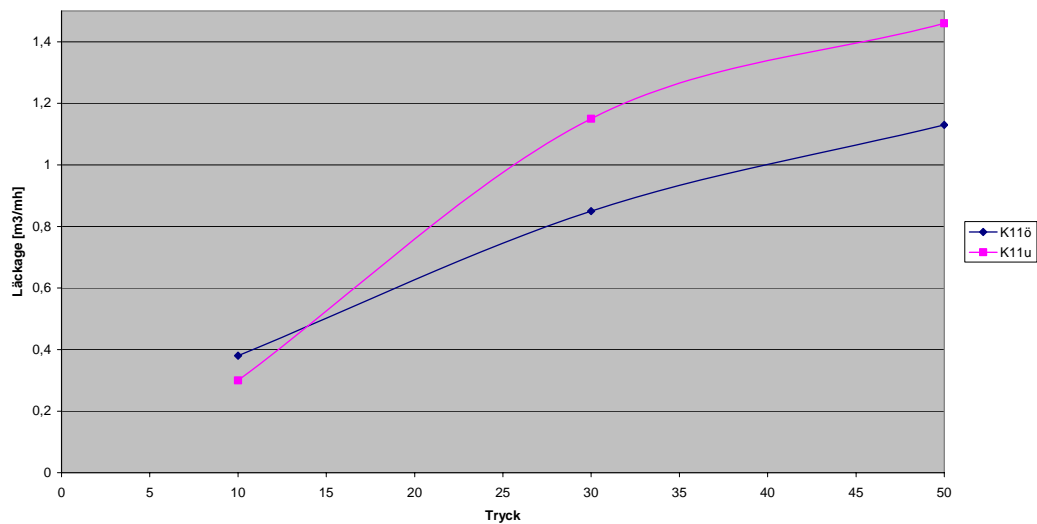
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan klämlist/folie och puts m ³ /h · m	Läckage mellan klämlist/folie och puts m ³ /h
10	0,38	0,90
-10	0,30	0,74
30	0,85	2,09
-30	1,15	2,82
50	1,13	2,78
-50	1,46	3,60

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,08$
flödesexponent= $\beta=0,69$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,03$
flödesexponent= $\beta=1,02$

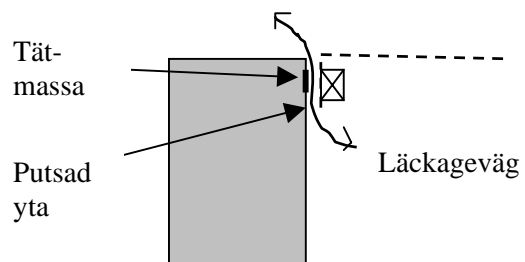
K11PE-folie klämd med trälist mot putsad yta



Konstruktion 12

Beskrivning

PE-folie och tätmassa klämd mot putsad yta med taklist. Infästningen är utförd med c/c 600 mm.



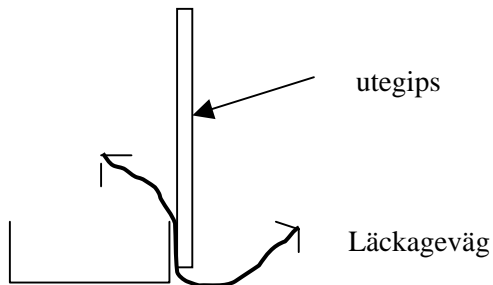
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan taklist och putsad yta $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan taklist och putsad yta m^3/h
50	0,0	0,0
-50	0,05	0,12

Konstruktion 13

Beskrivning

Utegips fäst mot plåtsyll/hammarband.



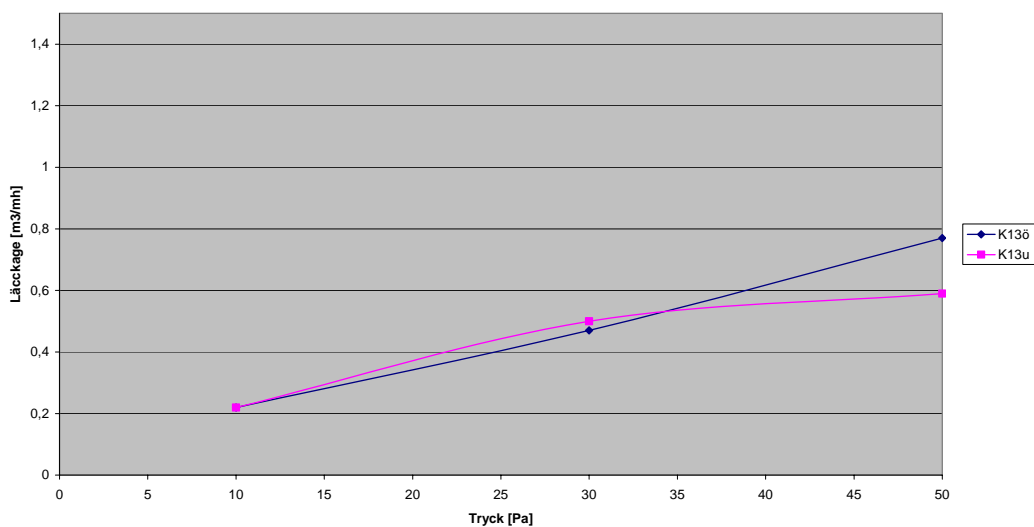
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan plåtsyll och utegips $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan plåtsyll och utegips m^3/h
10	0,22	0,55
-10	0,22	0,55
30	0,47	1,51
-30	0,50	1,24
50	0,77	1,89
-50	0,59	1,45

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,04$
flödesexponent= $\beta=0,76$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,05$
flödesexponent= $\beta=0,63$

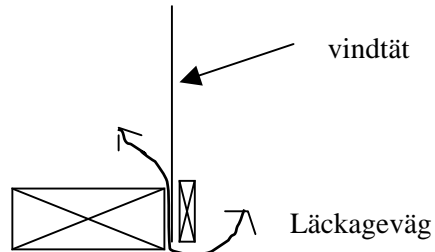
Utegips fäst mot stålsyll/hammarband



Konstruktion 14

Beskrivning

Ett vindsydd på rulle av typen ”vindtät” klämd mot träsyll med träregel (22x70mm). Infästning utförd på c/c 600 mm.



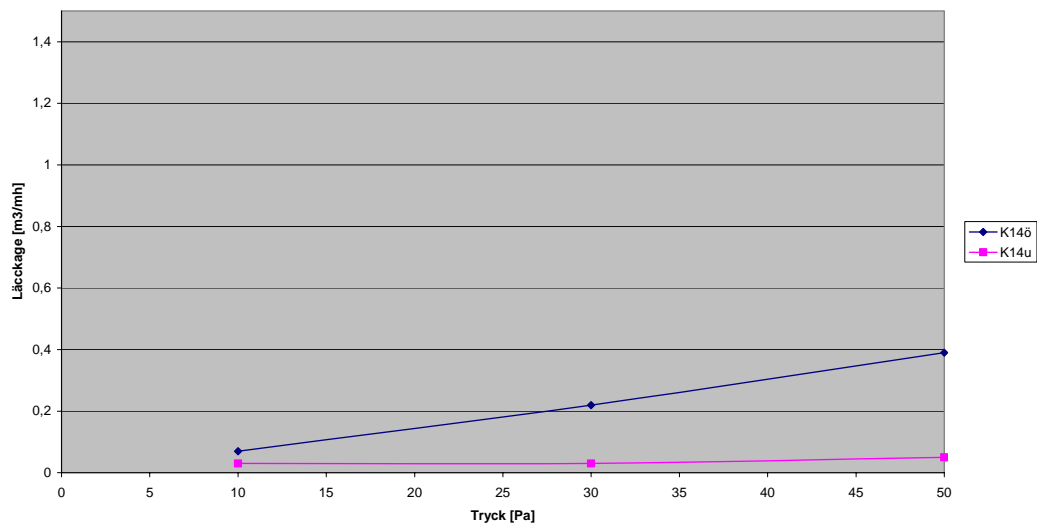
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage mellan syll och regel $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage mellan syll och regel m^3/h
10	0,07	0,16
-10	0,03	0,08
30	0,22	0,53
-30	0,03	0,08
50	0,39	0,95
-50	0,05	0,12

Övertryck:
koefficient= $\alpha=0,01$
flödesexponent= $\beta=1,06$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=0,02$
flödesexponent= $\beta=0,27$

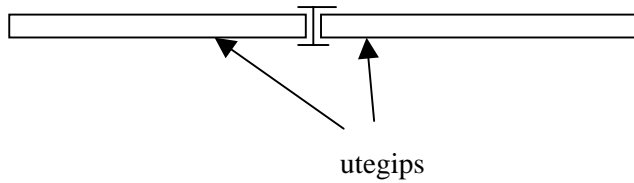
Vindtät klämd mot träsyll med 22x70mm träregel



Konstruktion 15

Beskrivning

Profilerad tätningsskena i plast avsedd för skarv mellan två utegipsskivor.



Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage genom skarv $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$	Läckage genom skarv m^3/h
10	0	0
-10	0	0
30	0	0
-30	0	0
50	0	0
-50	0	0

Konstruktion 16

Beskrivning

Läckage genom spalter/springor mellan gipsskivor kan förekomma. Längden och bredden på spalter kan variera stort och beror av arbetsutförandet. Den springa mellan två gipsskivor som provats här är 1 mm bred och 900 mm lång.

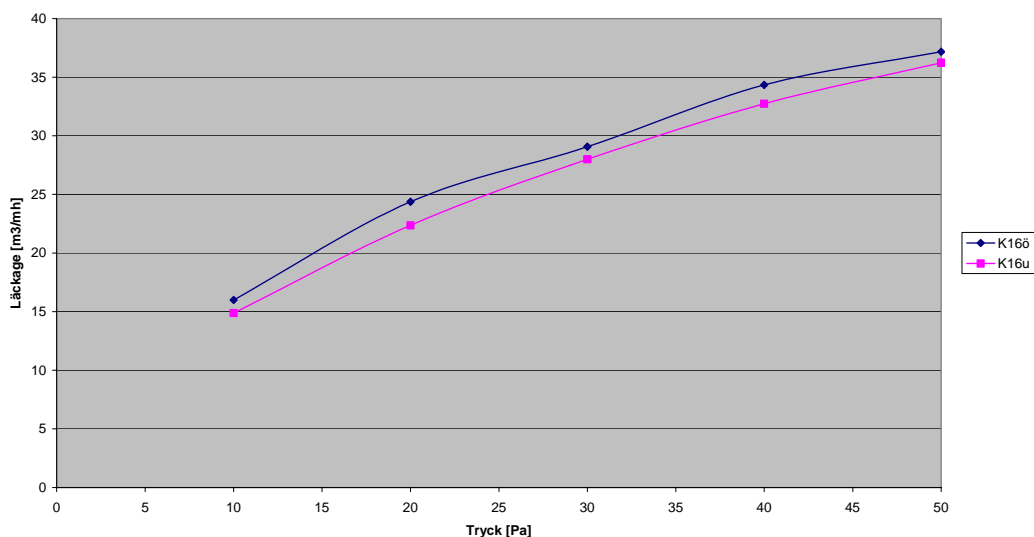
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage m ³ /h · m	Läckage m ³ /h
10	16,00	14,40
-10	14,88	13,39
20	24,37	21,93
-20	22,36	20,12
30	29,07	26,16
-30	27,99	25,19
40	34,34	30,91
-40	32,73	29,46
50	37,17	33,45
-50	36,24	32,62

Övertryck:
koefficient= $\alpha=4,86$
flödesexponent= $\beta=0,53$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=4,17$
flödesexponent= $\beta=0,56$

1 mm bred springa mellan 2 gipsskivor (900 mm i längd)



Konstruktion 17

Beskrivning

Läckage genom spalter/springor mellan gipsskivor kan förekomma. Längden och bredden på spalter kan variera stort och beror av arbetsutförandet. Den springa mellan två gipsskivor som provats här är 3 mm bred och 500 mm lång.

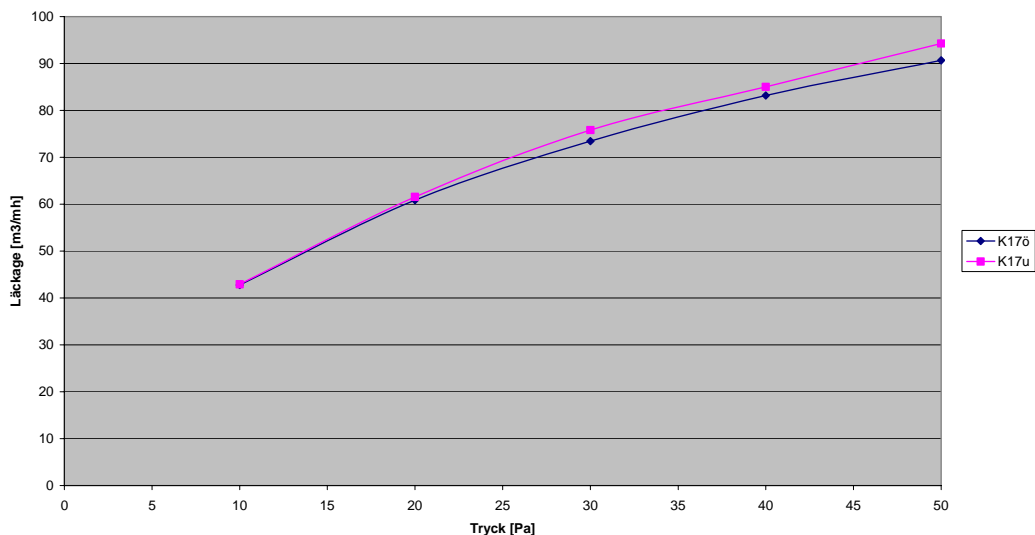
Resultat från täthetsprovning

Tryck Pa	Läckage m ³ /h · m	Läckage m ³ /h
10	42,76	31,38
-10	42,90	21,45
20	60,86	30,43
-20	61,56	30,78
30	73,44	36,72
-30	75,80	37,90
40	83,16	41,58
-40	85,04	42,52
50	90,66	45,33
-50	94,26	47,13

Övertryck:
koefficient= $\alpha=14,70$
flödesexponent= $\beta=0,47$

Undertryck:
koefficient= $\alpha=14,04$
flödesexponent= $\beta=0,49$

3 mm öppen springa mellan två utegipsskivor (längd 500 mm)

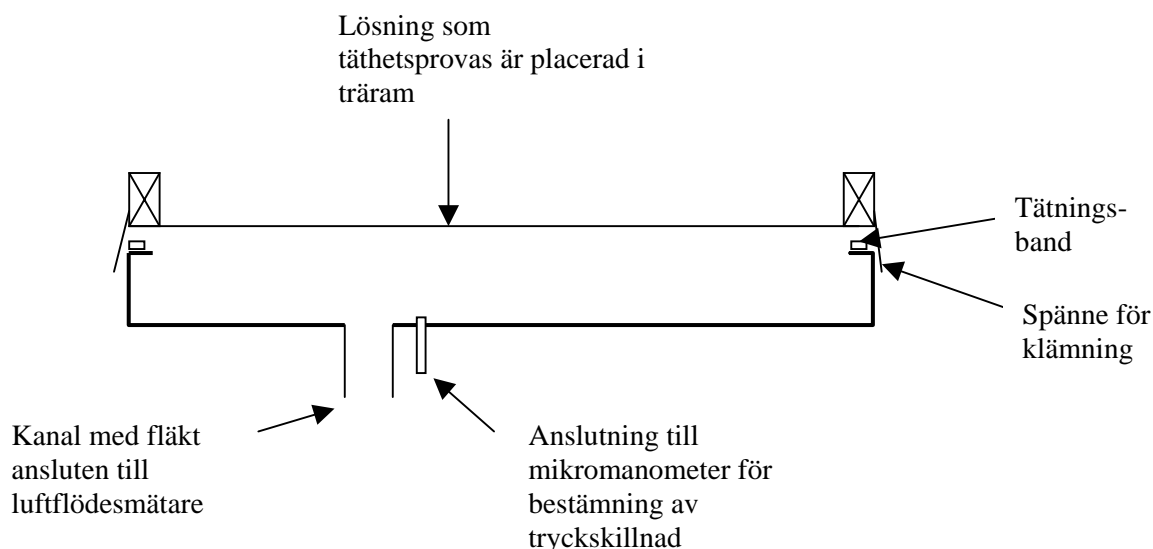


Bilaga 5.2

Genomförande av labororiemätningar

Provning av elementarläckor på laboratorium

Vid bestämning av luftläckagen på SPs laboratorium används en mätlåda enligt nedan. Mätlådan är tillverkad i plåt som svetsats och har måtten 1500 mmx2400mm. På lådans botten finns en anslutning för fläkt. Fläkten skapar ett övertryck respektive undertryck i lådan. Luftvolymen i lådan vid de aktuella mätningarna motsvarar den del av konstruktionen som anges som ”inne”¹. Den provuppställning som provas med avseende på luftläckaget monteras på mätlådan metall. Tätheten mellan mätlåda och provuppställning utgörs av tätningslist av gummi som kläms ihop av spännen då delarna fästes ihop. Tätheten kompletteras sedan med tejp längs hela skarven och fogmassa i detaljer (t ex vid spänneas infästning).



Luftkanalen ansluts till luftflödesmätare för mätning av undertryck respektive övertryck vid vissa tryckskillnader. Tryckskillnaden mäts med mikromanometer. Vid provningen användes mätvagn Etl809 med maximal fläktkapacitet av 115 m³/h. Mätvagnen har fyra svävkroppsmätare med olika mätintervall (1,3; 11,9; 43,4; och 115 m³/h).

Uppskattad mätosäkerhet

Mikromanometer

Vid samtliga mätningar användes en mikromanometer som har en osäkerhet högst ± 0.3 Pa.

Flödesmätare

De flödesmätare som användes under mätningarna uppskattas ge en osäkerhet vid avläsning mindre än 5 % av luftflödet.

Repeterbarhet

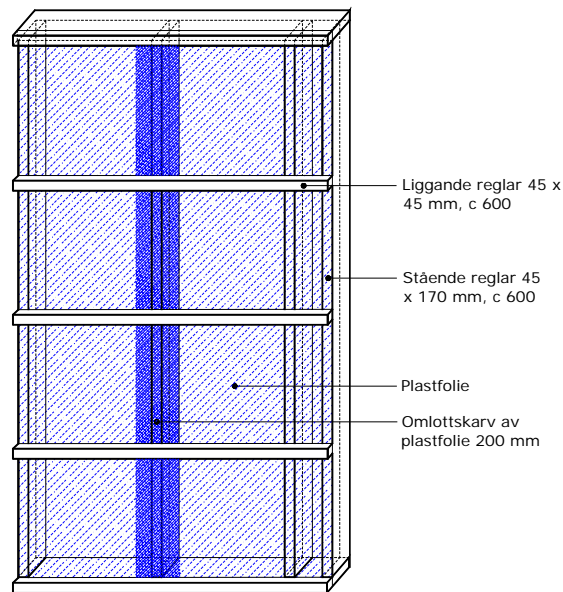
En kontroll av mätningarnas repeterbarhet visar att denna bidrar till mätosäkerheten med ca 10 %.

¹ Vid mätning av väggelement motsvarade luftvolymen i mätlådan ”ute” vid några tillfällen.

Provning av byggnadsdel (vägg) på laboratorium

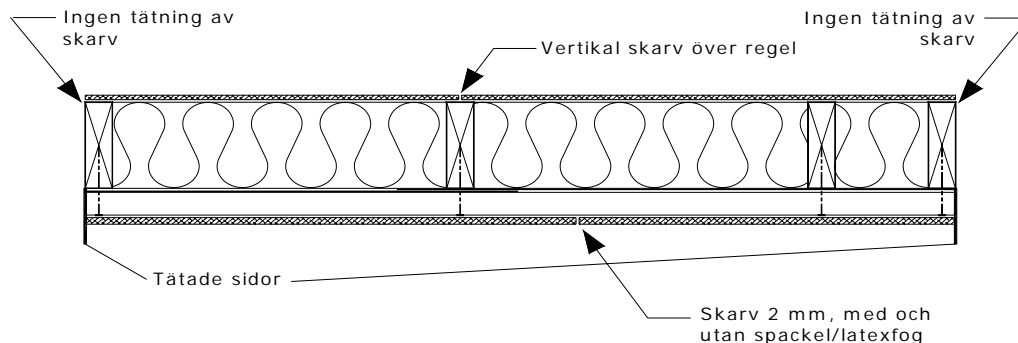
Mätlådan enligt beskrivning ovan användes vid provningen. Väggelementet monterades på mätlådan.

Följande beskrivning är utförd av Björn Mattson, CTH: Först byggdes en väggkonstruktion av stående reglar 45 x 170 mm c/c 600 mm, samt syll och hammarband i samma dimension. Mellan dessa placerades 170 mm mineralull. Innanför de stående reglarna fästes en plastfolie som skarvades med 300 mm överlapp över en stående regel. Foliens skarv kläms med de korsande reglarna. Innanför plastfolien fästes horisontella reglar 45 x 45 mm c/c 600. Därefter mättes luftläckaget genom konstruktionen på vanligt sätt.



I nästa steg skruvades 13 mm gipsskivor till de liggande reglarna och gavlarna mellan stående reglar och gipsskiva tätades. Därefter mättes luftläckaget. Gipsskiktet hade först en öppen spalt som sedan tätades.

I nästa moment skruvades en 9 mm utegipsskiva till de stående reglarna. En vertikal skarv anordnades över en av de stående reglarna. Utöver denna skarv även en horisontell skarv, ~1mm, tvärs hela väggen. I ett första steg var den horisontella skarven öppen vid mätningar av luftläckaget genom konstruktionen. I ett andra steg tätades den horisontella skarven med latexfog.



Bilaga 6.1

Modellering och datorsimuleringar av luftläckage

Inom ramen för arbetet i konvektionsgruppen har ett antal datorsimuleringar av luftrörelser och luftläckage i ett klimatskal gjorts. Modeller av konstruktionsdetaljer och hela byggnader har utförts i två olika typer av programvara. I ett kommersiellt CFD-program (Computational Fluid Dynamics), *Fluent*, har detaljer och olika konstruktionsdelar i ett klimatskal byggts upp. För dokumentation av programvaran se www.fluent.com. När det gäller ”hela” byggnader har *Simulink*, ett verktyg i *Matlab* för simulering av dynamiska förlopp, använts, se www.matworks.com.

Datormodeller uppbyggda i *Fluent*

Det som har varit av störst intresse vid användandet av *Fluent* var att kunna beräkna värmetransmissionen i en konstruktionsdel när luft strömmar genom den. Andra intressanta områden som programvaran använts till i detta arbete är egenkonvektion och anblåsning.

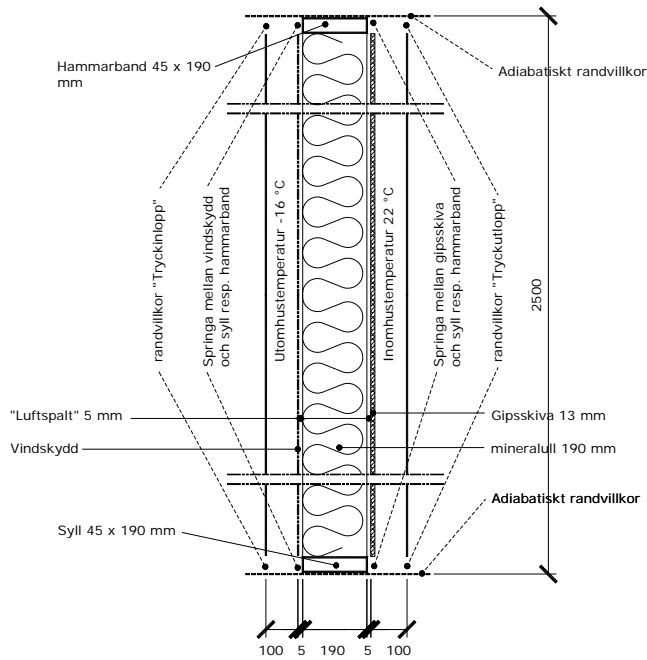
Modeller för beräkningar av värmeväxling i en yttervägg vid påtvingad konvektion

I litteraturen finns uttryck för uppfattningar som att man vid beräkningar av värmeförluster i en byggnad kan erhålla för höga värden om hela värmeförlusten på grund av luftinfiltration medräknas. Anledningen till denna uppfattning är att man antar att en viss värmeväxling sker när luften strömmar genom olika delar av ett klimatskal. Detta leder till att transmissionsförlusterna minskar om man betraktar energimängden som åtgår till att värma den luftvolym som omsätts i byggnaden som konstant samt att luftomsättningen är konstant. För att få en uppfattning om hur stora energivinster som kan göras tack vare värmeväxling när luft infiltrerar en konstruktionsdel har några olika konstruktionsdetaljer modellerats i *Fluent*. Två av dessa modelleringar redovisas nedan. De är:

1. En regelvägg där isoleringen ej utfyller utrymmet helt mellan insidans gipsskiva och utsidans vindpapp
2. En regelvägg enligt 1 där isoleringen helt fyller ut detta utrymme

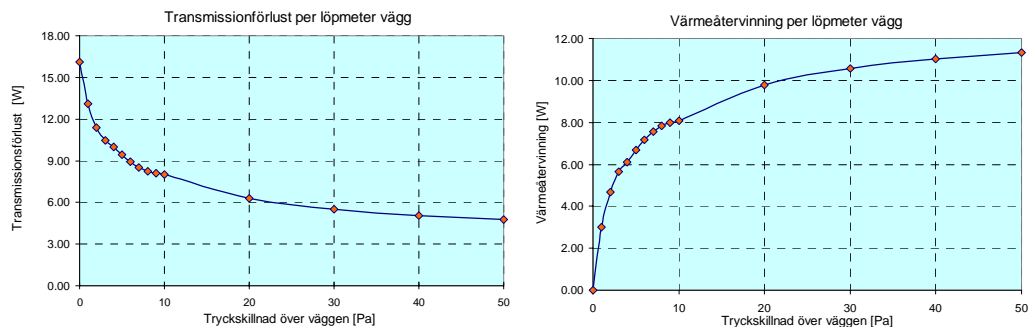
Alternativ 1

Väggen är modellerad i två dimensioner och luftläckage kan ske i anslutningen mellan vindpapp och syll respektive hammarband på väggens utsida. På väggens insida kan luft strömma mellan anslutningen mellan gipsskivan och syll respektive hammarband. Väggen är 2.5 meter hög och reglarnas djup är 190 mm. Eftersom modellen är tvådimensionell har väggen inga stående regler. Isoleringen fyller i den modellerade väggen ej ut utrymmet mellan vindpapp och gipsskiva, utan det förekommer luftspalter på 5 mm mellan isolering och vindpapp respektive gipsskiva. Figur 6.1 nedan visar en tvärsektion genom väggmodellen så som den byggts upp i *Fluent*.



Figur 6.1. Tvärsektion genom väggen så som den modellerats i Fluent.

Tack vare luftspalterna fungerar konstruktionen ganska så effektivt med avseende på värmeväxling. (Modellen användes också för att simulera luftomsättning i en hel byggnad, vilket redovisas längre fram.) I en tänkt byggnad är luftläckaget tre omsättningar per timme vid 50 Pa tryckskillnad. Eftersom de läckagevägar som finns i väggen skall motsvara byggnadens hela luftläckaget blir otätheten för dessa ganska så stor. I en verklig konstruktion är det inte säkert att detta är helt realistiskt. Men modellen kan ses som ett optimalt fall av värmeväxling på grund av infiltration i ett klimatskal. Utan infiltration är väggens transmissionsförlust ~ 16 W per löpmeter vägg (2.5 m^2) när utomhustemperaturen är -16 °C och inomhustemperaturen är 22 °C. I figur 6.2 nedan ses transmissionsförlusterna i det vänstra diagrammet och motsvarande värmeåtervinning eller värmeväxling i det högra diagrammet.

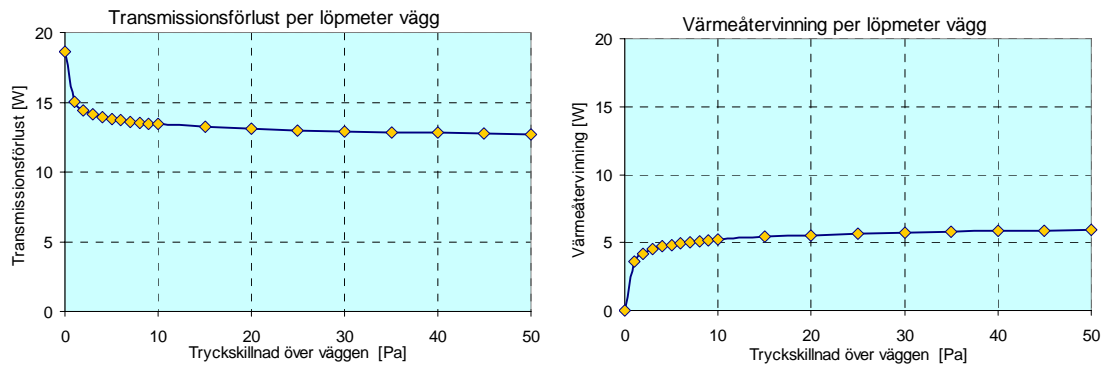


Figur 6.2. Transmissionsförluster och värmeåtervinningen per löpmeter i den modellerade väggen.

Alternativ 2

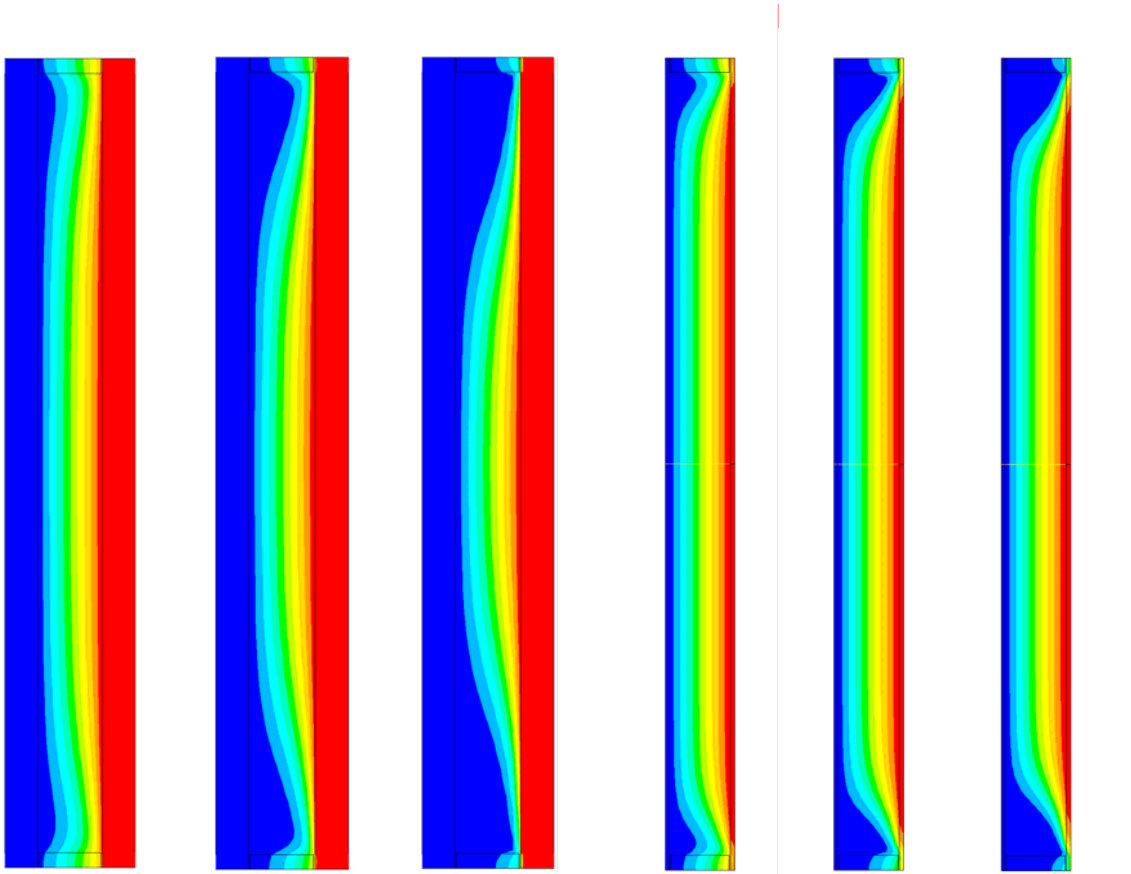
I detta alternativ fyller isoleringen ut hela utrymmet mellan gipsskivan och vindpappen. Dock har isolertjockleken valts till 190 mm precis som i alternativ 1 för att lättare kunna jämföra alternativen. I alternativ 1 fungerar luftspalterna som tryckutjämnare och infiltrationsluften strömmar genom en större del av isoleringen eftersom de största tryckfallet sker över anslutningarna mellan vindskyddet respektive gipsskiva och syll samt hammarband. I modellen i alternativ 1 har luftspalterna ett visst värmemotstånd. Därför är transmissionsförlusterna utan luftgenomströmning något mindre, 16.09 W per löpmeter vägg i

detta alternativ, jämfört med alternativ 2 som har 18.64 W per löpmeter vägg. I figur 6.3 nedan ses transmissionsförlusterna i det vänstra diagrammet och motsvarande värmeåtervinning eller värmeväxling i det högra diagrammet för alternativ 2.



Figur 6.3. Transmissionsförluster och värmeåtervinningen per löpmeter i den modellerade väggen.

Som framgår av graferna i figurer 6.2 respektive 6.3 så har luftspalten stor betydelse för hur mycket värme som kan återvinnas, eller hur mycket transformationsförlusterna minskar, när luft infiltrerar väggen vid en jämförelse mellan alternativ 1 respektive alternativ 2. I figur 6.4 visas temperaturfält i väggarna för de två alternativen när luft strömmar genom dessa.

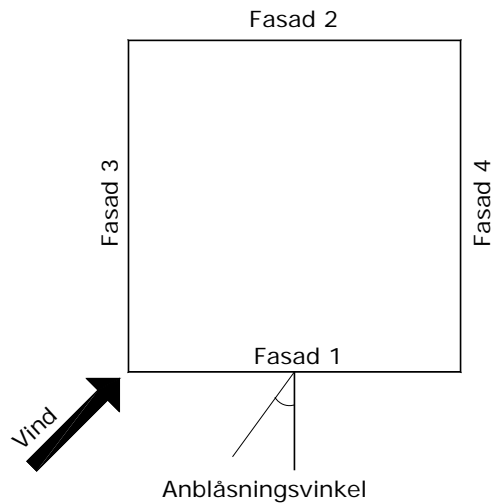


Figur 6.4. Temperaturfält för de två alternativen. De tre bilderna längst till vänster visar alternativ 1 och de tre till höger alternativ 2. Tryckskillnaden över väggarna är från vänster till höger för de båda alternativen 1, 5 respektive 20 Pa.

Datormodeller av en hel byggnad uppbyggda i *Simulink*

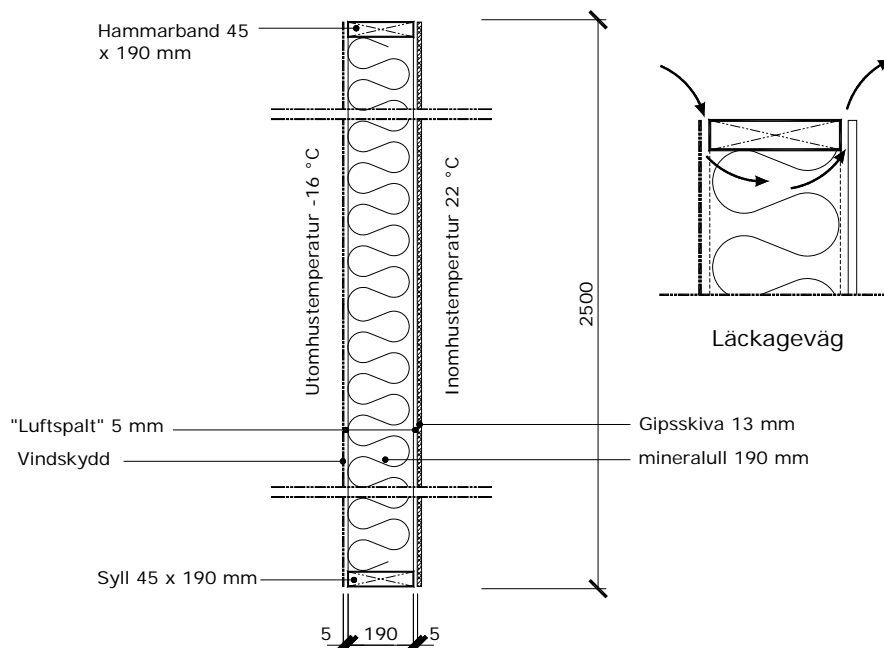
För att se hur vindhastighet, landskapstyp, termiska drivkrafter, vindskydd i en byggnads närmaste omgivning, ventilationssystem med mera påverkar en byggnads luftomsättning har ett antal modeller byggts upp i *Simulink*. Nedan redovisas resultat från ett antal simuleringar av förändringar av luftomsättning när en byggnad utsätts för vindtryck och termik samt är utrustade med olika mekaniska ventilationssystem.

Husmodellen i *Simulink* är ett fristående enfamiljshus i ett plan. Byggnaden är modellerad med en kvadratisk golvyta 10 x 10 meter, se figur 6.5. Vägghöjden är 2.5 meter och höjden till taknock förutsätts vara 5 meter ovan mark. Väggarna består av en träregelstomme med en folie som vindskydd på väggens utsida, se figur 6.6 nedan. På insida utgör en gipsskiva väggens lufttäta skikt. Väggarna är modellerade i två dimensioner i *Fluent*. Därför finns inga stående regler i denna modell utan enbart syll och hammarband enligt figur 6.6 nedan. Mellan syll och hammarband finns en värmeisolering av mineralull. Isoleringens värmeledningsförmåga, λ , är 0.036 W/(m·K) och dess permeabilitet, β , är $8 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$.



Figur 6.5. Det modellerade husets plan, anblåsningsvinkel och fasadnumrering.

Det är endast väggarna som är otäta i denna modell. Luft kan läcka mellan vindskyddsfolien och syll respektive hammarband, samt mellan dessa och gipsskivan på väggens insida, se figur 6.6. Dessa otätheter finns runt om hela byggnaden och är således jämt fördelade på respektive fasad hos byggnaden. Utöver otätheterna finns också spaltventiler, en på varje fasad, för tilluften i modellerna med mekanisk frånluft. Ventilerna är tänkta att vara placerade i en fönsterkarms överstycke. Byggnadens lufttätet varieras i olika simuleringar och har modellerats som 1, 3 eller 6 omsättningar vid en tänkt tryckprovning på 50 Pa. Spaltventilerna motsvarar en lufttätet på 1.1 omsättning vid 50 Pa tryckskillnad och är ej medräknad i byggnadens lufttätet. Tabell 6.1 visar de olika simuleringalternativen. Utöver dessa är dessutom varje alternativ simulerat för de tre olika vindskyddsalternativen enligt tabell i figur 6.8 nedan.

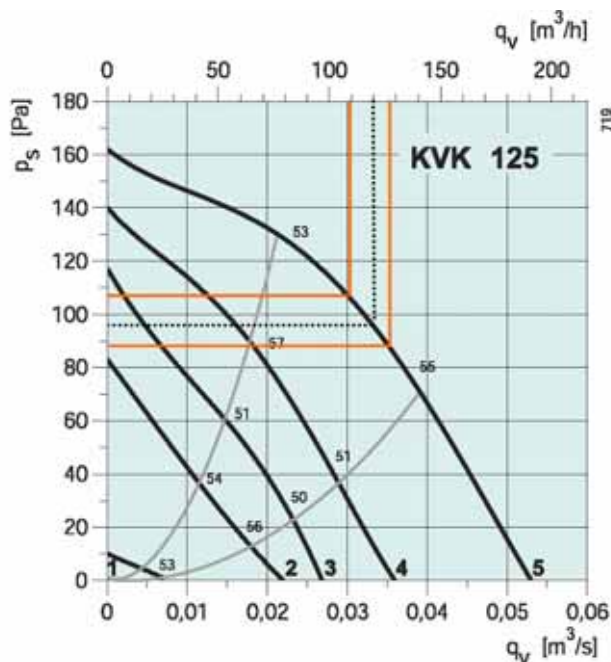


Figur 6.6. Ytterväggarnas uppbyggnad, samt detalj av läckeväg för infiltration genom väggen.

Tabell 6.1. Simuleringar av olika tätheter, ventilationssystem och landskapstyp.

Landskapstyp	Mekaniskt ventilationssystem					
	Frånluft			Till- och frånluft		
	Lufttäthet vid 50 Pa tryckprov [h^{-1}]					
	1	3	6	1	3	6
Öppet slättlandskap	x	x	x	x	x	x
Öppet landskap med enstaka hinder	x	x	x	x	x	x
Tätbebyggd miljö	x	x	x	x	x	x
Stadsmiljö	x	x	x	x	x	x

I övrigt så är byggnaden utrustad med en frånluftsfläkt som vid ett tryckfall om 10 Pa över tilluftsventilerna skall ge en luftomsättning på 0.5 per timme, samt i modellen med från- tilluftsfläkt även en tilluftsfläkt med samma fläktkaraktistik som frånluftsfläkten. Tilluftsfläkten förser byggnaden med 90 procent av flödet via frånluftsfläkten när det yttre klimatet ej påverkar ventilationssystemet. Som fläkt har en produkt från *System Air* använts. Fläktkurvor för olika driftsfall visas i figur 6.7 nedan. Kurva nummer fem, längst till höger i diagrammet, har använts i simuleringarna. En halv omsättning motsvarar $120 \text{ m}^3/\text{h}$ hos den modellerade byggnaden. I figuren kan utläsas att summan av tryckfall i ventilationskanaler, spjäll, samt från- och tilluftsventiler vid detta flöde uppgår till drygt 95 Pa. En förändring av tryckfallet med $\pm 10 \text{ Pa}$ förändrar luftflödet med ungefär $\pm 10 \text{ m}^3/\text{h}$. Dock minskar flödet mera för en tryckfallsökning än för motsvarande tryckfallssänkning, se de inritade horisontella och vertikala linjerna i figuren. Luftströmningen i samtliga komponenter i ventilationssystemet är modellerad som turbulent. Luftflödet genom otätheterna i klimatskalet är modellerade som ett mellanting av turbulent och laminär strömning.



Figur 6.7. Fläktkurvor för olika driftsfall hos frånluftsfläkten. Den streckade linjen anger det projekterade driftsfallet. De röda linjerna visar en förändring av tryckfallet i ventilationssystemet med $\pm 10 \text{ Pa}$.

Vid beräkningar av vindtrycket på byggnaden har vindtryckscoefficients från *AIVC Technical notes 44* använts. För transformering av vindhastigheten uppmätt vid en tänkt meteorologisk väderstation har en metod enligt British Standard, BS5925: 1991, använts.¹

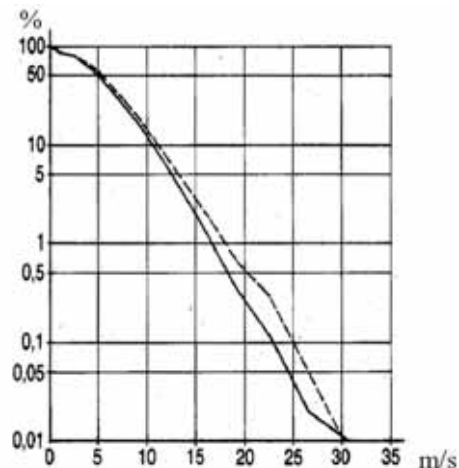
Vindtryckscoefficients för olika fasader och vindskydd anges i tabell i figur 6.8 nedan. Siffrorna 1, 2 och 3 anger graden av vindskydd från omgivningarna närmast byggnaden. Vindskyddet är definierat enligt följande:

1. Byggnaden är omgiven av andra byggnader eller liknande av samma höjd
2. Byggnaden är omgiven av andra byggnader eller liknande av halva byggnadens höjd
3. Byggnaden är helt oskyddad

För att få en uppfattning om vilka vindhastigheter som kan förväntas i till exempel Göteborg och dess omgivning visas i figur 6.8 ett diagram som redovisar varaktigheten av vindhastigheter uppmätta vid Säve flygplats, på Hisingen i Göteborg. Riktigt höga vindhastigheter förekommer sällan. Av diagrammet framgår till exempel att det blåser vindar med en hastighet av 11 m/s eller högre endast under 5 % av året.

Den streckade kurvan avser oktober månad, den heldragna gäller för hela året.

Fasad	C_p		
	Vindskydd		
	1	2	3
1	0.05	0.1	0.35
2	-0.3	-0.35	-0.4
3	0.05	0.1	0.35
4	-0.3	-0.35	-0.4



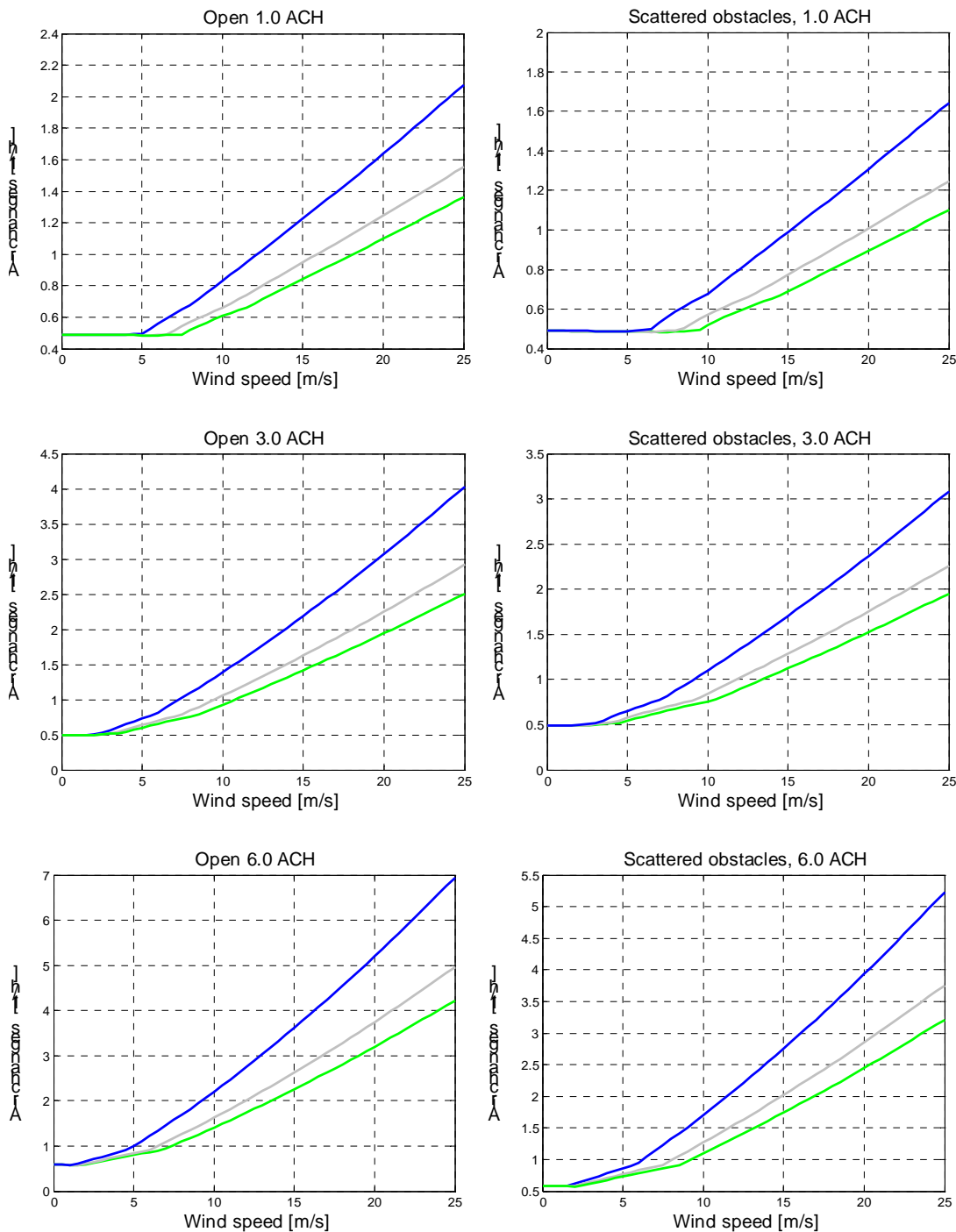
Figur 6.8. Tabell över vindtryckscoefficients för olika fasader enligt figur 6.5 ovan, respektive ett varaktighetsdiagram över vindhastigheter uppmätta vid Säve flygplats på Hisingen i Göteborg.

Resultat från simuleringar av luftomsättning i ett hus med mekanisk frånluftsventilation

Nedan redovisas resultat från simuleringar av luftomsättning för ovan beskrivna enfamiljshus. Huset är försett med mekanisk frånluftsventilation och lufttätheten är 1, 3 respektive 6 omsättningar vid 50 Pa tryckprovning. Byggnaden är placerad i landskapstyperna; slättlandskap utan hinder, slättlandskap med enstaka hinder, tätbebyggd miljö och stadsmiljö. Dessutom är simuleringarna gjorda för olika grad av vindskydd. Den översta, mörkaste, kurvan i respektive diagram gäller en helt oskyddad byggnad, den mellersta, ljusaste, kurvan en byggnad omgiven av vindskydd av halva byggnadens höjd och den undre kurvan gäller en byggnad omgiven av hinder av samma höjd som den betraktade byggnaden.

¹ AIVC, 1994, *Technical note 44* (, s.68 och 84), Coventry, The Air Infiltration and Ventilation Centre.

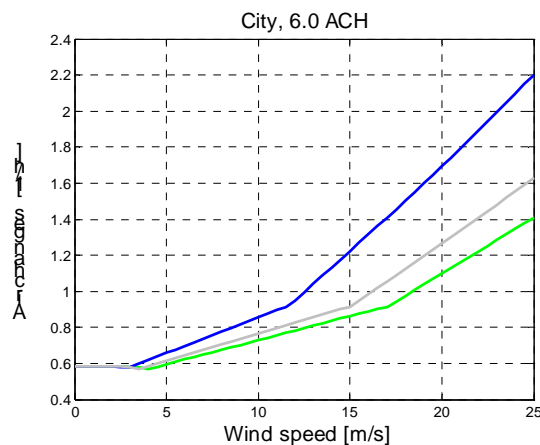
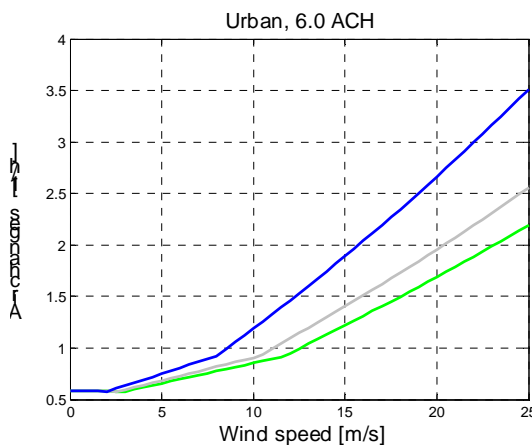
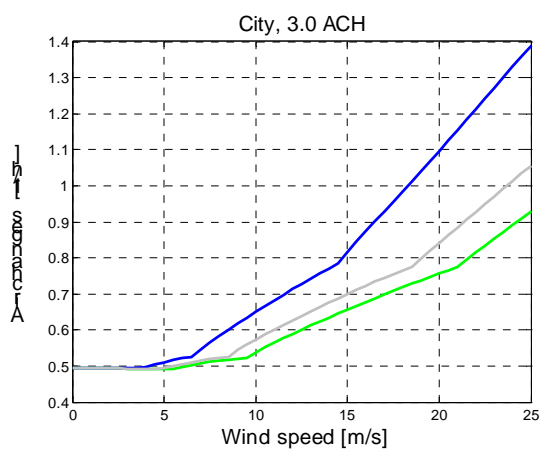
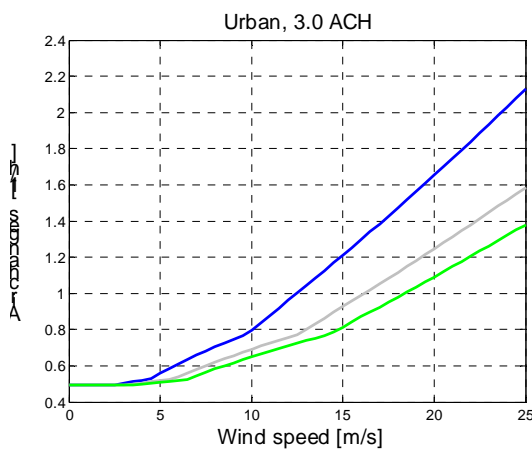
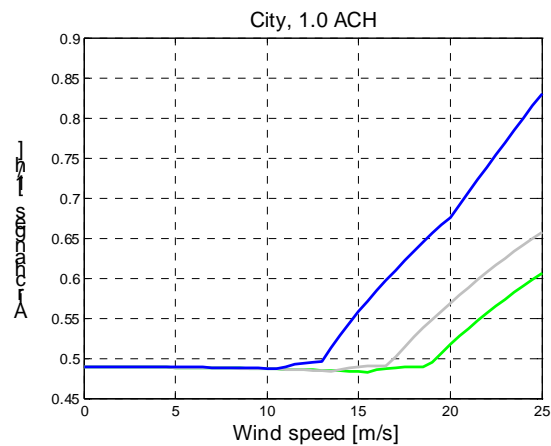
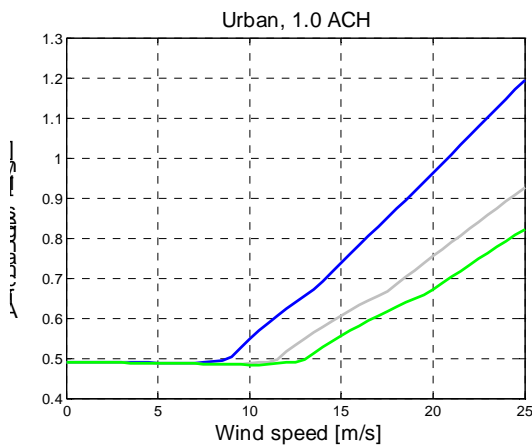
Öppet landskap med respektive utan hinder; 1, 3 och 6 omsättnings lufttätethet



Resultaten visar att en byggnad med god lufttätethet, 1 omsättning per timme, även i ett vindutsatt läge utan närliggande vindsydd kan klara en vindhastighet på 5 m/s utan att den projekterade luftomsättningen påverkas. Däremot kommer inte avsedd luftmängd in genom de olika spaltventilerna. De som är placerade på anblåsta sidor ger ett större flöde och de på läsidor ger ett mindre flöde än projekterat. Dessutom kommer en stor del av luften in genom otätheterna i väggarna. En relativt otät byggnad, 6 omsättningar per timme, ger en större luftomsättning redan utan att någon vind blåser. Detta beror på densitetsskillnader i inomhus- respektive utomhusluften. I simuleringarna är utomhustemperaturen $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$, vilket är en mycket låg temperatur i södra Sverige. Vid en så låg temperatur är det inte vanligt att

vindhastigheten är särskilt hög. Men längre norr ut, i till exempel fjällnära områden eller längs Bottenvikskusten, kan mycket väl en låg temperatur och relativt höga vindhastigheter förekomma samtidigt. Byggnaden med en lufttäthet på 3 omsättningar per timme, vilket är något bättre än vad byggnormens föreskrifter ger för ett enfamiljshus, klarar i ett vindutsatt läge vid -16 °C i utomhusluften endast en vindhastighet på 2 till 3 meter per sekund innan frånluftsfläkten inte längre kontrollerar byggnadens luftomsättning. Detta betyder att vissa tilluftsventiler kommer att fungera som frånluftsventiler, samt att luft kommer att både infiltrera och exfiltrera ytterväggarna. Därmed kommer inte ventilationsluften in där man vill, dessutom evakueras den andra vägar än de tänkta.

Tätort respektive stadsmiljö; 1, 3 och 6 omsättnings lufttäthet

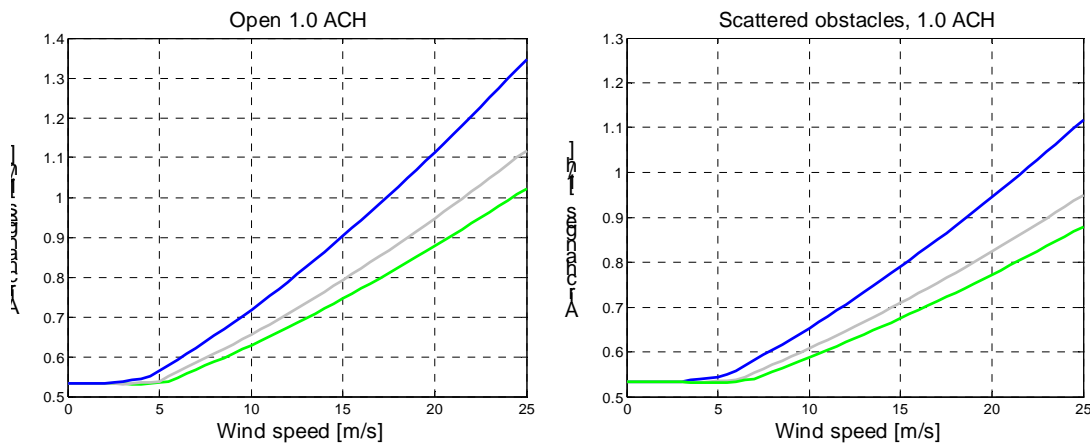


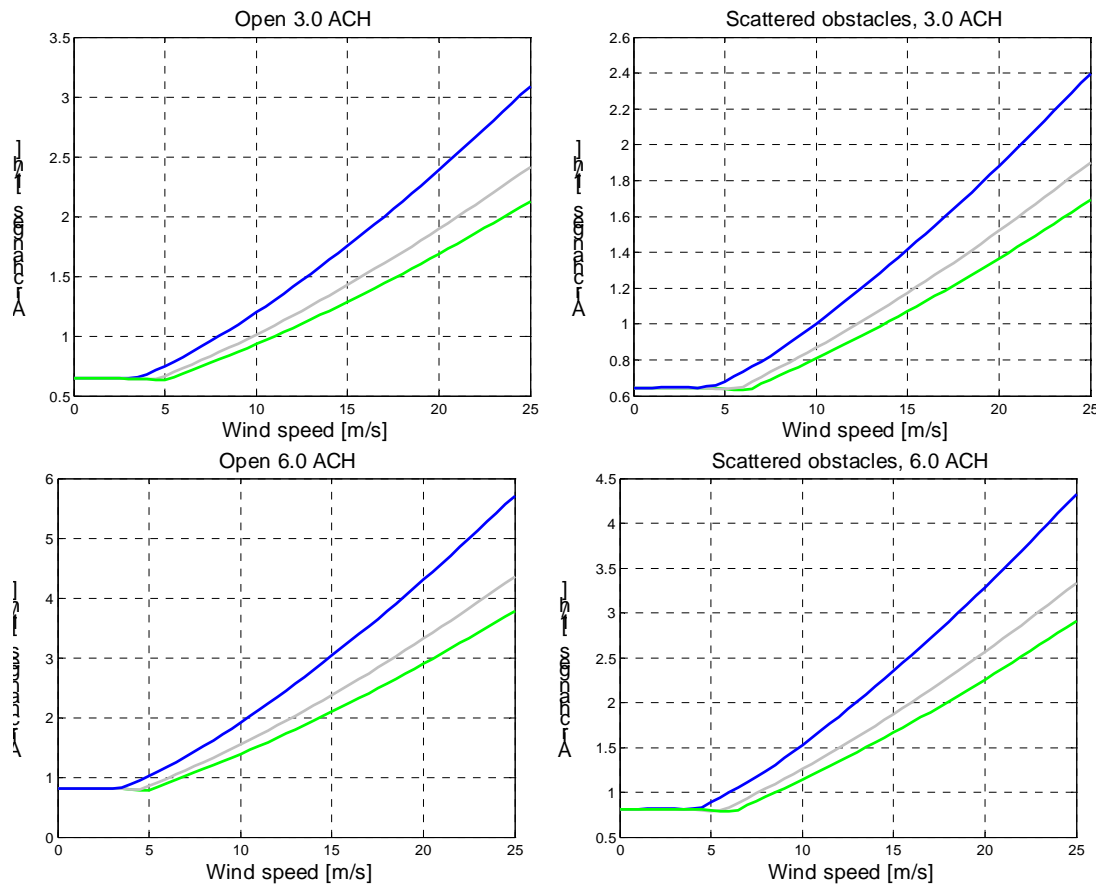
I landskapstyper med en större ytråhet, som tätorter och städer eller skogslandskap, klara sig byggnaderna bättre med avseende på antal luftomsättningar, när det blåser hårt och samtidigt är kallt ute. Det är bara huset med en lufttäthet på 6 omsättningar som redan på grund av temperaturskillnaden uppvisar en större luftomsättning än den projekterade. Huset med en täthet på 1 omsättning kan i princip klara de flesta vindförhållanden. I en tätort med ett vindskydd av samma höjd som den betraktade byggnaden, vilket troligtvis är det mest rimliga i till exempel ett villaområde, krävs en uppmätt vindhastighet på drygt 13 m/s innan projekterad luftomsättning överskrids. Enligt diagrammet i figur 5.11 förekommer en sådan vindhastighet, eller högre, mindre än 5 % av tiden under ett år vid Säve flygplats i Göteborg. Dock kommer inte tilluften att passera genom de olika spaltventilerna i den utsträckning som det är tänkt. De ventiler som sitter på anblåsta sidor kommer att få ett större flöde och de på läsidorna kommer att ha ett lägre flöde. Därför är det inte säkert att byggnaden ventileras tillfredsställande även om den projekterade luftomsättningen upprätthålls. Ur ett energiperspektiv är det dock inte nödvändigt att beakta extra energiförluster på grund av infiltration.

Resultat från simuleringar av luftomsättning i ett fristående enfamiljshus med mekanisk till- och frånluftsventilation

Nedan redovisas resultat från simuleringar av luftomsättning för ovan beskrivna enfamiljshus. Huset är försett med mekanisk frånluftsventilation och lufttätheten är 1, 3 respektive 6 omsättningar vid 50 Pa tryckprovning. Byggnaden är placerad i landskapstyperna; slättlandskap utan hinder, slättlandskap med enstaka hinder, tätbebyggd miljö och stadsmiljö. Dessutom är simuleringarna gjorda för olika grad av vindskydd. Den översta kurvan i figurerna representerar en helt oskyddad byggnad, den mellersta en byggnad omgiven av vindskydd av halva byggnadens höjd och den undre kurvan är en byggnad omgiven av vindskydd av samma höjd.

Öppet landskap utan respektive med hinder; 1, 3 och 6 omsättnings lufttäthet

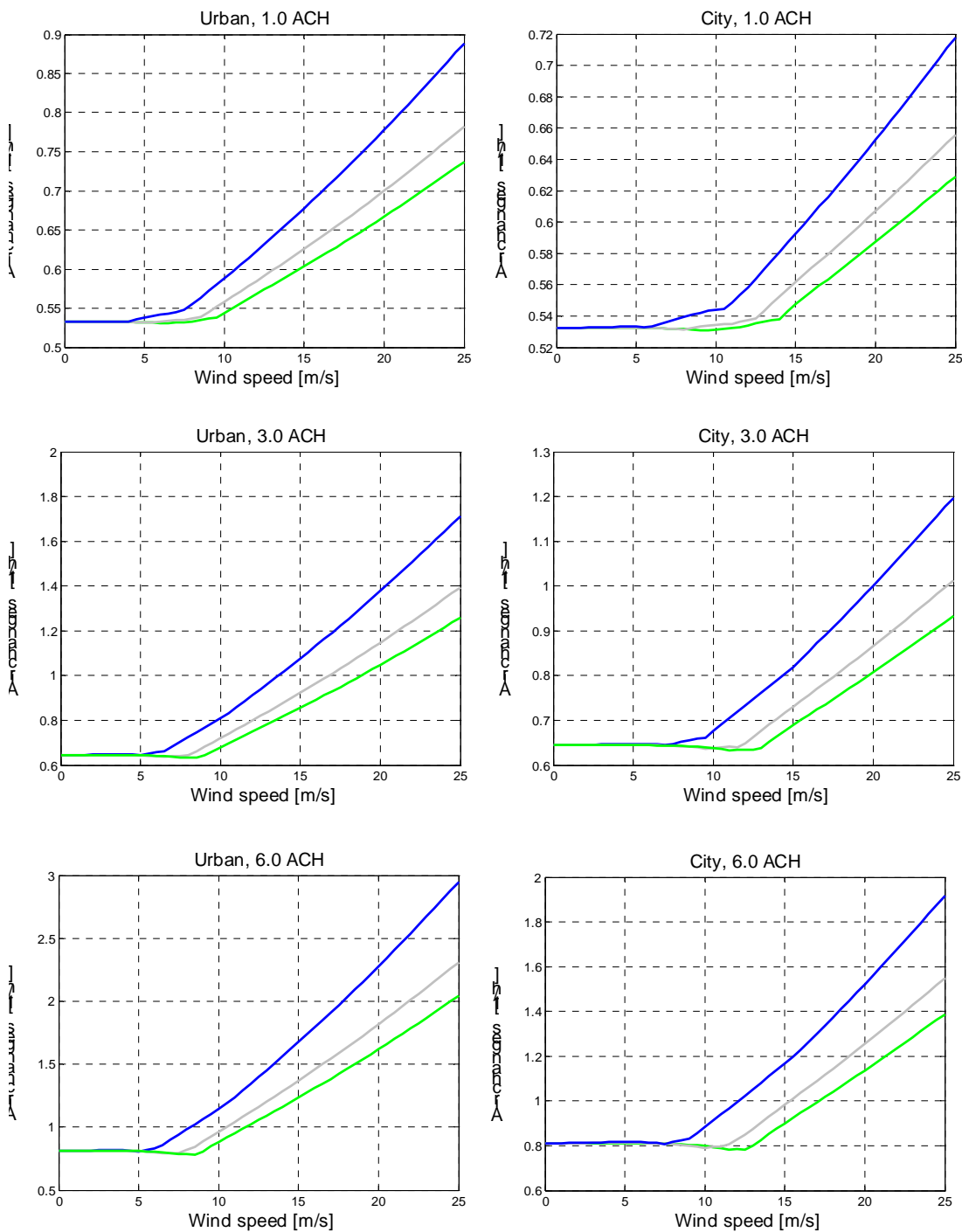




Resultaten visar att en byggnad med god lufttätet, 1 omsättning per timme, redan utan någon vind har en viss förhöjning av antalet luftomsättningar. Detta beror på att det ”balanserade” ventilationssystemet ej klarar av att upprätthålla ett inre undertryck i byggnaden. Därför kommer en del luft att strömma ut genom otätheter i byggnadens övre del. När det gäller vindpåverkan så klara dock en tät byggnad även i ett vindutsatt läge utan närliggande vindskydd en vindhastighet på 5 m/s utan att luftomsättningen påverkas ytterligare. I detta fall kommer dessutom i det närmaste avsedd luftmängd in genom de tilluftsdon som i en verklig byggnad finns i till exempel sovrum och vardagsrum. En relativt otät byggnad, 6 omsättningar per timme, ger en betydligt större luftomsättning än den projekterade, utan att någon vind blåser, vid den simulerade temperaturdifferensen 38 °C. Byggnaden med en lufttätet på 3 omsättningar per timme har en förhöjd luftomsättning om cirka 0.15 omsättningar vid den simulerade temperaturdifferensen utan att någon vind blåser.

Jämfört med huset med mekanisk frånluft är dock inte påverkan av vind lika stor. Detta beror på att huset med mekanisk från- tilluftsventilation inte har några spaltventiler och att ventiler för tilluft respektive frånluft i modellernas ventilationssystem inte påverkas av vinden. I en verklig byggnad påverkas naturligtvis även denna typ av ventiler. Men det finns större möjligheter att placera och utforma dessa så att de ej påverkas av vinden i samma utsträckning som till exempel spaltventiler i fönsterkarmar eller ventiler genom en yttervägg. Vid höga vindhastigheter är därför luftomsättningen lägre i husen med mekanisk från- tilluftsventilation jämfört med motsvarande hus med endast mekanisk frånluft, eftersom spaltventilerna bidrar till byggnadens otäthet i fallet med endast frånluft.

Tätort respektive stadsmiljö; 1, 3 och 6 omsättnings lufttätet



I fallet med mekanisk till- och frånluftsventilation har inte landskapstypen någon betydelse för luftomsättningen vid låga vindhastigheter. Endast byggnadens lufttätet och temperaturskillnaden mellan inomhusluften och utomhusluften är av betydelse. Dock klarar sig byggnaderna, precis som i fallet med mekanisk frånluft, relativt bra vid högre vindhastigheter om man bortser från ökningen i luftomsättning på grund av termiska drivkrafter. Även vid en uppmätt vindhastighet av 25 m/s blir inte luftomsättningen större än knappt 0.90 omsättningar för ett hus med en lufttätet på en omsättning per timme, placerat i tätort med vindskydd från omkringliggande hus eller träd av samma höjd som den betraktade byggnaden.

Bilaga 6.2

Air transport in and around the building - SELECTED EXAMPLES OF THE APPLICATION OF THE CODE

The “HAM-Tools” provide calculation of the air flow (air infiltration) through the porous wall structure and also the calculation of the air balance for the zone.

1. Air transport through the wall

When present, the movement of air through a wall (air-filtration) gives the main contribution to the transport of vapor and heat. Certain wall constructions, such as light-weight walls and constructions with air-cavities, usually give rise to the development of such a flow, which is basically governed by pressure and temperature differences across the construction.

The hygro-thermal situation in the wall with the air filtration present can be completely different from the case without it. For example, in areas with colder climates, an ex-filtration of the warm humid air from the interior can accelerate the occurrence and magnitude of the interstitial condensation. In case of an air infiltration, when cold and dry air from exterior goes into the construction, the risk of the interstitial condensation is very small. A calculation example that illustrates this situation is given in [1], by the HAMSTAD Benchmark number 3. The benchmark deals with a light-weight wall exposed to the ex-filtration during 20 days, followed by the air infiltration during next 80 days, Figure 6.9. Moisture transfer is caused mainly by the airflow through the layer, but also by the moisture and temperature gradients across the layer. The external side of the wall is vapor tight but air-open.

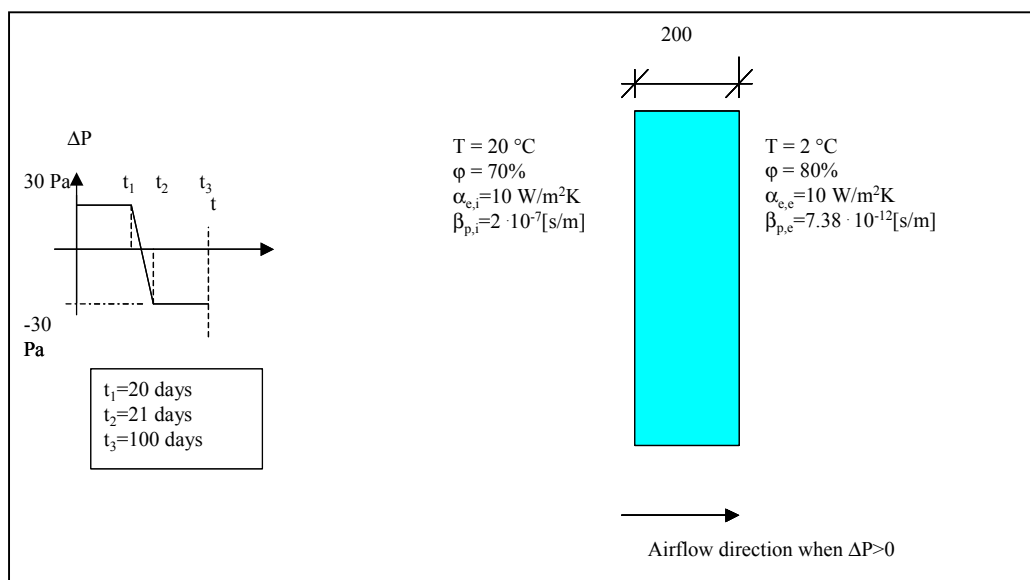


Figure 6.9: Details of the wall construction and climate conditions

Results of the simulation are given in Figure 6.10, in form of the temperature and moisture distribution in time in different sections of the wall. During the period of ex-filtration, moisture content in the wall is increased up to 96 %. The wall is dried out during the infiltration.

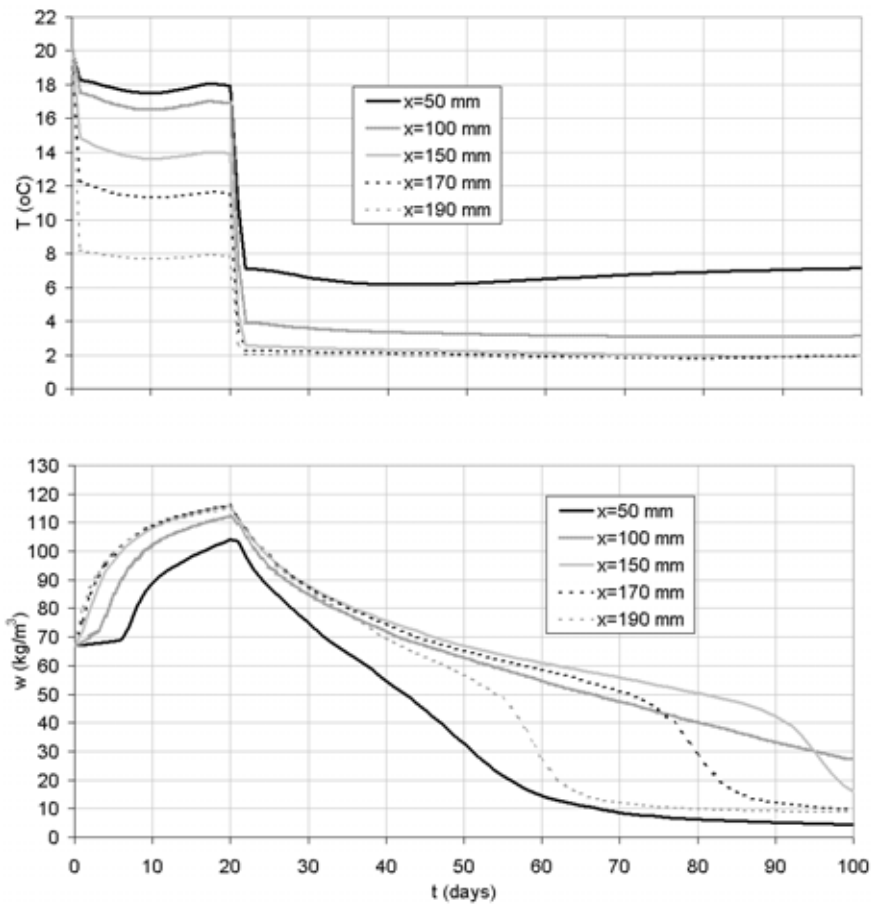


Figure 6.10: Temperature and moisture distribution in time in different wall sections in the presence of the air filtration. Results for the HAMSTAD Benchmark 3, Paper II, obtained by 'HAM-Tools'.

2. Air transport through the building

This is another type of the air flow analyses which can be performed by the HAM-Tools. The air comes into or goes out from the zone by means of the ventilation system or through unintentional openings (cracks, leakages) due to pressure and temperature differences between the indoor and outdoor air. Since ventilation heat losses dominate among total losses for the well insulated building, the air handling and air flow calculations have been an important issue among researchers and practitioners.

In wooden constructions, which are common in Sweden, air leakages along the wall assemblies are almost inevitable. The airflow thorough such unintentional openings may influence the functionality of the ventilation system. An example is given in [2], showing how the functionality of a dynamically insulated wall can be significantly changed in the presence of air leakages on the constructions. Two cases are analyzed. In the first case, the airflow resistance of the dynamic wall is of the same order as for the air leakages. Simulation results show that the airflow through the wall is maximum 60 % of the designed one, Figure 6.11. In the second case, the air-flow characteristics of the dynamic wall is improved (lower air-flow resistance) and the airflow reaches 90% of the designed one. In both cases, the airflow through the wall is decreased when the wind acts, and a significant amount of un-preheated air is drawn into the house.

The real effect of the presence of air leakages can be understood through the heat consumption of the space. In the first example, and for the period indicated in figures, the heat input to the house was 1056 kWh, and in the second 1031 kWh. The improved air flow characteristics of the ceiling resulted in 25 kWh energy saving. These results are afterwards compared to the heat input in the case where there exists no dynamic insulation (which is a conventional case) and with the case with no air leakages present (when the dynamic insulation is 100 % active). The conventional case is chosen to be the reference one, and the energy input for each case is given as a percentage of the reference one, Figure 6.12. The diagram confirms the expectations concerning the dynamic insulation effect. However, numbers should be taken only as approximate and informative ones. Due to numerous dynamical effects taking place at the same time, the operating conditions may vary from one case to another.

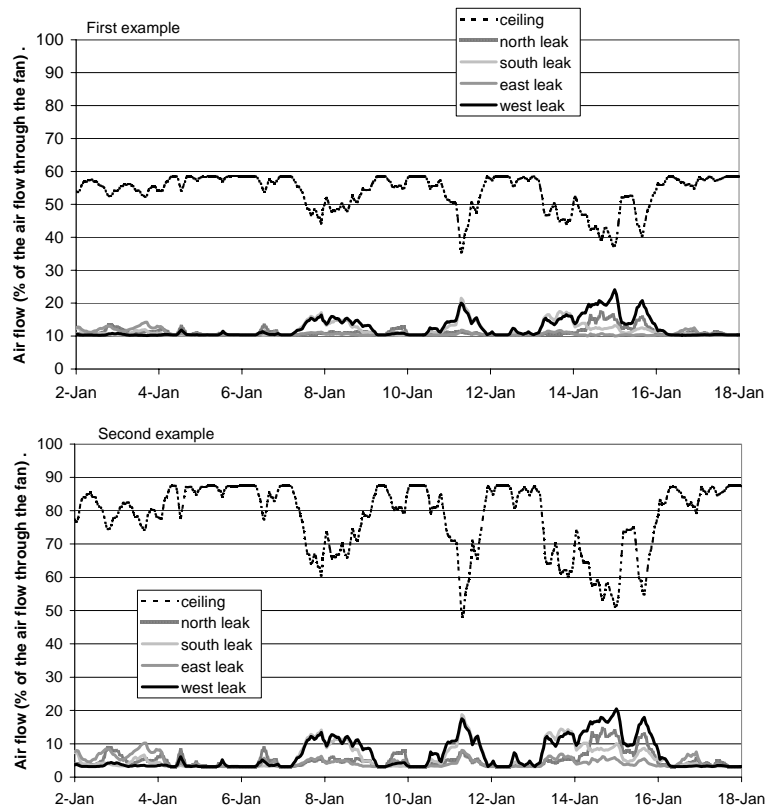


Figure 6.11: Airflow through the building in the presence of air leakages. Flows through dynamic wall and air leakages are expressed as percentage of the total (designed) flow. The upper figure shows results for the first case, with ‘poor’ air-flow characteristics of the dynamic wall. Figure below presents results for the second case, with improved flow characteristics.

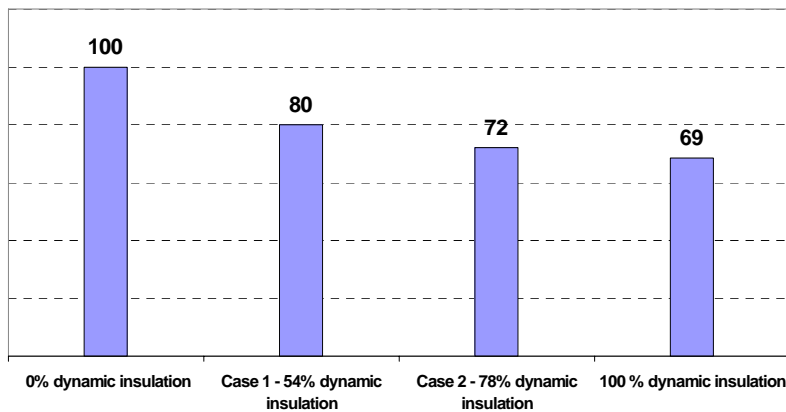


Figure 6.12. The energy consumption regarding the dynamic insulation efficiency

References

1. **Hagentoft C-E., Sasic Kalagasidis, A., Adl-Zarrabi, B.** Benchmarks for One-dimensional Cases of Combined Heat, Air and Moisture Transport in Building Components. *Accepted for the publication in the Proceedings of the CIB World Building Congress 2004.* Toronto, Canada.
2. **Sasic Kalagasidis, A., Hagentoft C-E.** The influence of air transport in and around the building envelope on energy efficiency of the building. *Research in Building Physics. Proceedings of the 2nd International Conference on Building Physics.* 2003. Leuven, Belgium.

Bilaga 6.3

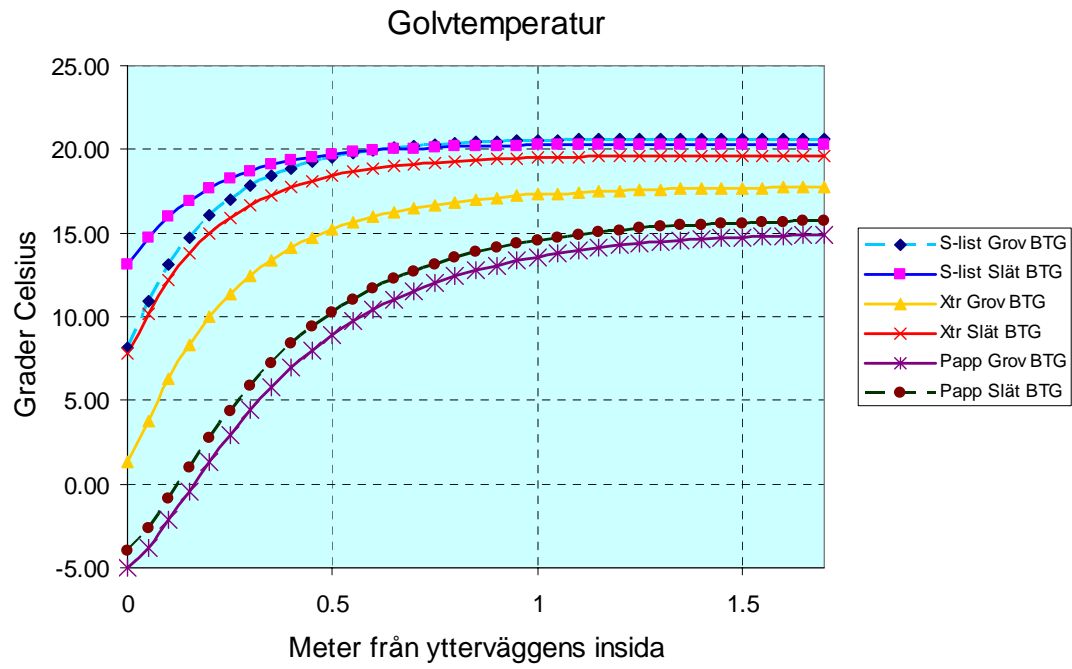
Beräkning av yttemperaturer vid läckage mellan syll och betongplatta

Diagrammet i figur 6.13 nedan visar golvtemperaturen när kall uteluft läcker in mellan syllens i en yttervägg och en betongplatta på mark. Takhöjden i det modellerade rummet är 2.4 meter högt och djupet, från ytterväggens insida till en innervägg över vilken inget värmeutbyte sker, är 3.7 meter. Luftläckagen är modellerade för 20 Pa tryckskillnad över ytterväggen. Tabellen nedan visar typ av syllisolering och betongyta, samt läckaget mellan syll och betong i m³/h och löpmeter vägg.

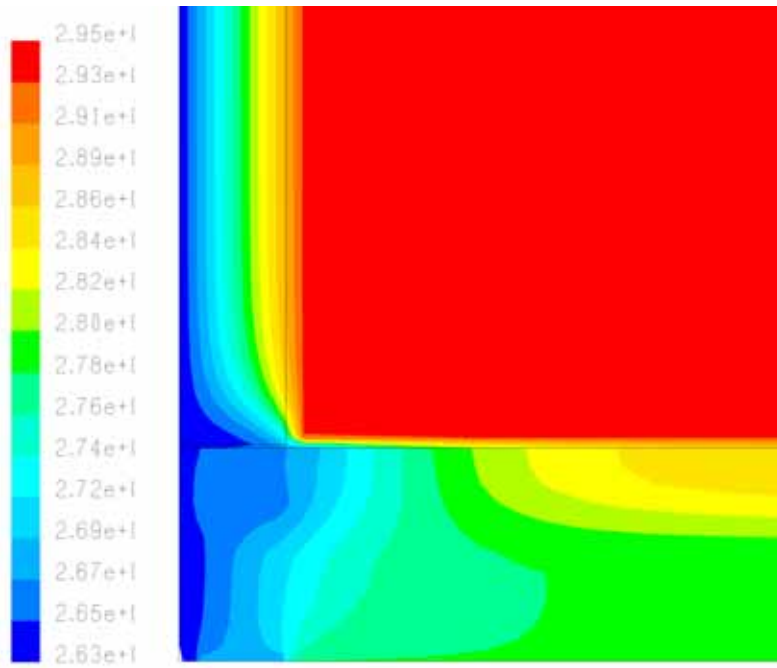
Indata enligt tabellen nedan baseras på, vid SP, uppmätta läckage för dessa detaljer. Beräkningarna av golvtemperaturer har sedan utförts i *Fluent* ett CFD-verktyg för modellering av bland annat värme- och luftflöden.

Medeltemperaturen i rumsluften är i samtliga fall cirka 22 °C och den luft som infiltrerar ytterväggen mellan syll och betong har en temperatur om –10 °C. När infiltrationsluften når insida yttervägg håller luften den temperatur som redovisas vid 0 meter från väggens insida i diagrammet nedan.

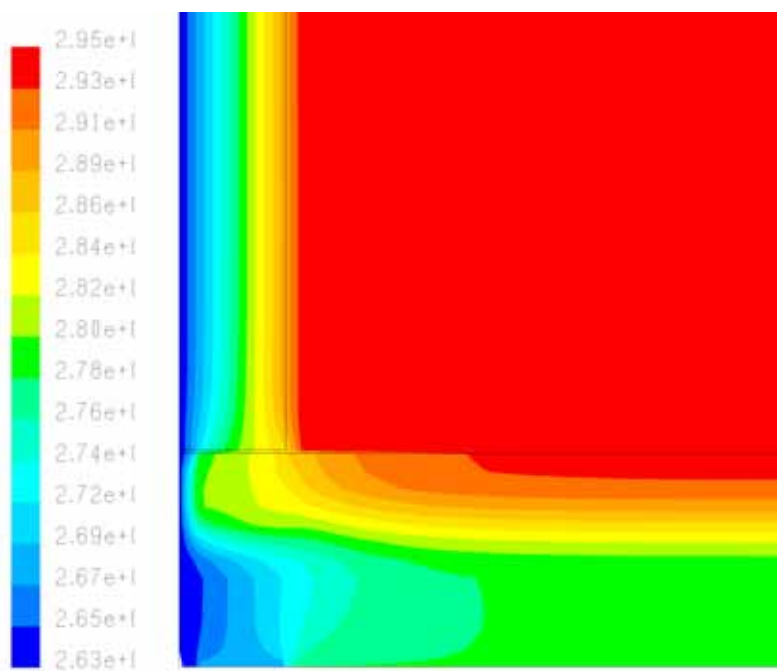
Typ av syllisolering	Betongyta	Flöde i m ³ /h och löpmeter vägg
S-list	Grov	2,55
S-list	Slät	0,22
Extruderad polystyren	Grov	6,88
Extruderad polystyren	Slät	1,61
Asfaltpapp	Grov	16,2
Asfaltpapp	Slät	10,5



Figur 6.13. Temperatur på golvet för olika syllisoleringar och en grov eller slät yta på betongen.



Figur 6.14. Temperaturfält i konstruktionen närmast yttervägg med en syllisolering av asfaltpapp och en grov betongyta.



Figur 6.15. Temperaturfält i konstruktionen närmast yttervägg med en syllisolering av S-list och en slät betongyta.

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut utvecklar och förmedlar teknik för näringslivets utveckling och konkurrenskraft och för säkerhet, resurshushållning och god miljö i samhället. Vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling. Vår forskning sker i nära samverkan med högskola, universitet och internationella kolleger. Vi är mer än 500 ingenjörer och forskare som bygger våra tjänster på kompetens, effektivitet, opartiskhet och internationell acceptans.



SP Energiteknik
 SP RAPPORT 2004:22
 ISBN 91-7848-995-4
 ISSN 0284-5172



SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Box 857
 501 15 BORÅS
 Telefon: 033-16 50 00, Telefax: 033-13 55 02
 E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

A Member of

 **United Competence**