

# Lufttäthetens variation över året



Paula Wahlgren, Magnus Hansén, Owe Svensson



# FÖRORD

Projektet "Lufttäthetens variation över året" startade våren 2013 med medel från SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond) och med Rolf Jonsson, Wäst-Bygg AB som sökande. Arbetet har utförts inom ramen för Konvektionsgruppen, ett samarbete mellan Byggnadsfysik och innemiljö, SP Sveriges tekniska forskningsinstitut, och Byggnadsteknologi på Chalmers tekniska högskola med medverkan av FoU-väst. Konvektionsgruppen arbetar sedan nästan tjugo år med forskning kring luftrörelser och lufttäthet och med att öka förståelsen för hur man bygger lufttätt och lufttäthetens beständighet.

Projektet har varit organiserat enligt följande:

Projektsamordnare:	Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier, BI
Projektledare/utredare:	Paula Wahlgren, Avd. för Byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola
Utredare:	Magnus Hansén och Owe Svensson, Byggnadsfysik och innemiljö, SP Sveriges tekniska forskningsinstitut
Styrgrupp:	Förutom ovanstående  Rolf Jonsson, Wäst-Bygg  Ene Lindén, Skanska, (initiiellt Emma Eliasson)  Martin Jansson, NCC
Referensgrupp:	FoU-Väst Claes Bankvall Per Levin Johnny Kronvall Per- Ingvar Sandberg

Projektet har presenterats vid två internationella konferenser, NSB 2014, Nordic symposium on Building Physics i Lund, Juni 2014 samt AIVC- Ventilation and airtightness in transforming the building stock to high performance i Polen, September 2014. Ytterligare en publikation planeras.

Stort tack till alla som har medverkat i projektet.

Göteborg, Januari 2015



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord.....	2
1. Introduktion .....	1
1.1. Bakgrund .....	1
1.2. Syfte .....	5
1.3. Metod .....	5
2. Beräkningar av omgivningens påverkan .....	6
3. Objektbeskrivning .....	8
Konstruktion objekt 1 Landvetter .....	8
Konstruktion objekt 2 Sevred .....	13
Konstruktion objekt 3 Ytterby .....	16
4. Lufttäthetsprovning och luftläckagesökning .....	19
4.1. Metodbeskrivning .....	19
4.2. Mätresultat.....	21
5. Analys .....	32
5.1. Analys av påverkan av relativ fuktighet.....	34
6. Diskussion .....	38
7. Slutsatser.....	43
8. Referenser .....	45
Bilagor .....	47



# 1. INTRODUKTION

Byggnadens lufttätethet har stor betydelse för dess energianvändning och därmed miljöpåverkan och driftkostnad. Detta visas bland annat i rapporterna Lindh et al. (1979), Sandberg et al. (2007), Sandberg och Sikander (2004) samt Bankvall (2012). En otät byggnad kan orsaka flera problem: ökad energianvändning, fuktskador, försämrad luftkvalitet, bristande termisk komfort, höga radonhalter (markradon) samt brand- och ljudspridning.

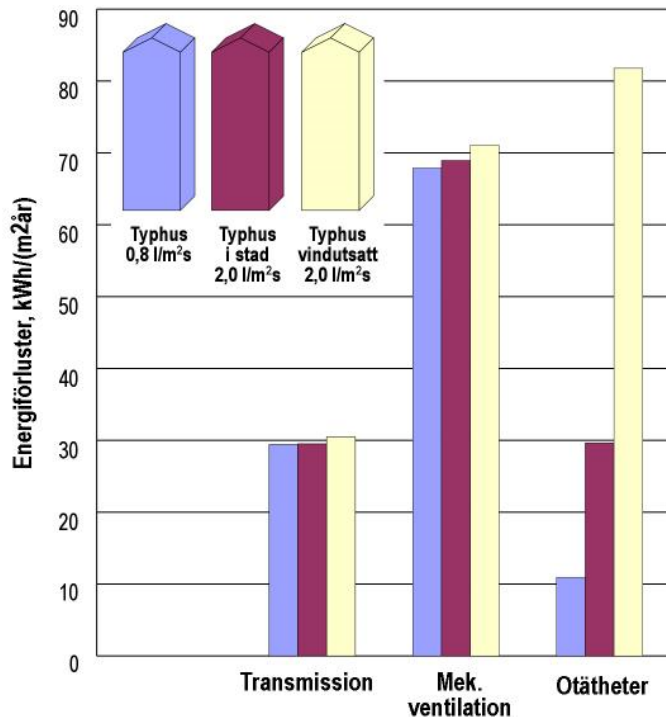
I Boverkets byggregler infördes i juli 2006 krav på maximal energianvändning i nya byggnader. Detta, i kombination med att det finns krav på lufttätethet för passivhus (och andra lågenergihus), har medfört ett ökat fokus på byggnadsskalets lufttätethet eftersom låg energianvändning är svårt att nå utan en god lufttätethet. Detta betyder också att man i många byggprojekt, med mål att vara energieffektiva, ställer tydliga krav på lufttätethet som också följs upp med täthetsprovningar kombinerade med termograferingar. I de flesta europeiska länder finns kvantitativa nationella eller regionala krav på lufttätethet men i Sverige är det alltså oftast beställaren som dessa krav på lufttätetheten. SPs kvalitetsmärkning, P-märket, har  $0,6 \text{ l/sm}^2$  som högsta tillåtna luftläckage över klimatskärmen, men i många fall ställer byggherren krav på lufttätetheten som kan vara betydligt bättre än  $0,6 \text{ l/sm}^2$  (mätt vid 50 Pa tryckskillnad över klimatskärmen). SP har exempelvis haft uppdrag från byggherrar där kravet har varit högst  $0,15 \text{ l/sm}^2$  i nya byggnader. Om en byggnad skall klara kravet på passivhus (enligt FEBY kravspecifikation, 2012) krävs ett maximalt läckage på  $0,3 \text{ l/sm}^2$  för bostäder. Den vanligaste metoden att mäta lufttätethet i en byggnad presenteras i den europeiska standarden EN 13829:2000. Metoden innebär att man skapar en tryckskillnad över byggnadens klimatskärm och mäter det resulterande läckflödet vid ett antal olika trycknivåer. I Sverige beskrivs lufttätetheten som den mängd luft (l/s) som transporteras genom en kvadratmeter av omslutande yta (hela klimatskalet,  $\text{m}^2$ ) vid 50 Pa tryckskillnad över klimatskärmen. Internationellt sett används flera varianter, t.ex. oms/h, l/s per golvyta,  $\text{m}^2$  effektiv läckageyta, vid olika tryckskillnader (t.ex. 4 eller 10 Pa).

## 1.1. BAKGRUND

En byggnads lufttätethet påverkar energianvändningen på flera sätt. Dels ökar den mängd luft som infiltrerar en byggnad om byggnaden är otät, framför allt när det blåser. Den ökade mängden luft måste värmas under den kallare delen av året och alltså krävs mer energi. I figur 1 visas ett simulerat exempel (flerbostadshus på  $1050 \text{ m}^2$ ) i dels vindutsatt läge och dels i en stadsbebyggelse. Två olika lufttätetheter är simulerade;  $2 \text{ l/sm}^2$  och  $0,8 \text{ l/sm}^2$ . För den mest otäta byggnaden i ett vindutsatt läge är energiförlusterna pga otätheterna mer än dubbelt så stora som transmissionsförlusterna.

En annan anledning till att energianvändningen kan öka i ett otätt hus är att man kan få luftrörelser genom isoleringen (se exempelvis Mattsson, 2007). Detta leder till en försämrad isoleringsförmåga och ökad energianvändning. En tät byggnad är också en förutsättning för

att värmeväxling av ventilationsluften skall fungera på avsett sätt. Ifall byggnaden är otät går ju en del av luften igenom klimatskalet istället för genom värmeväxlaren.



Figur 1. Beräknad energiförlust i byggnader med olika lufttäthet och vid olika läge (stad och vindutsatt), Sandberg (2007).

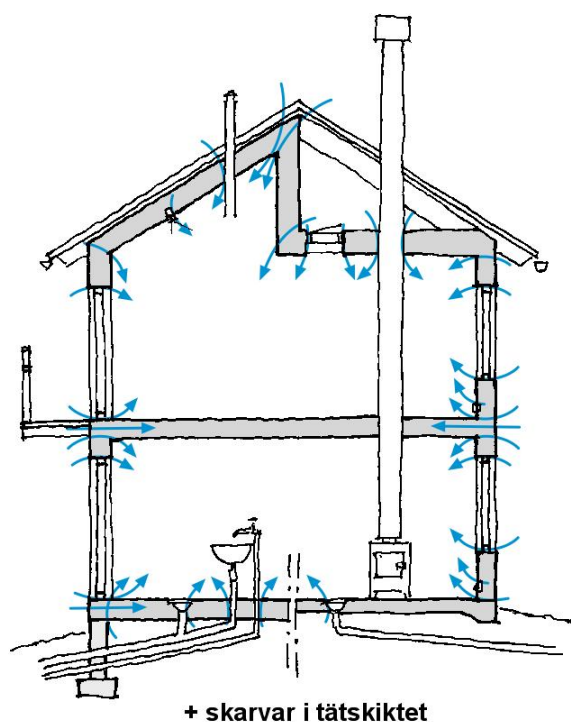
Att ha god lufttäthet är också viktigt för den termiska komforten i en byggnad, annars riskerar man golvdrag, problem med drag runt fönster och dörrar, och även med nedkylda ytor. Ibland kompenseras drag genom att man höjer innetemperaturen, vilket ger ökade transmissionsförluster och ventilationsförluster.

Lufttäthet är också viktigt för en fuktsäker byggnad. Om fuktig inomhusluft tillåts komma in i klimatskalet kan detta under vintertid leda till höga fuktigheter, mögel, kondens, nedbrytning etc. Framförallt takkonstruktioner är utsatta för skador pga fuktig inomhusluft eftersom skorstenseffekten kan skapa övertryck i de övre delarna av byggnader under vintern.

Luftkvaliteten i en byggnad påverkas också av lufttätheten. Utan ett tätt klimatskal är det svårt att få ventilationen att fungera tillfredställande och det går heller inte att filtrera tilluften om den inte kommer in via ventilationssystemet.

En byggnad läcker främst vid anslutningar och genomföringar. I Sandberg (2004) gjordes intervjuer där man tog fram att följande detaljer var de mest kritiska (i fallande ordning): genomföringar allmänt, eldosor/elrör, tätning mot stålstomme/ståldetaljer, mellanbjälklag, fönster/dörrar (karm-vägg), ventilationskanaler/skorstenskanaler samt tätning mot betong. Detta illustreras i Figur 2.



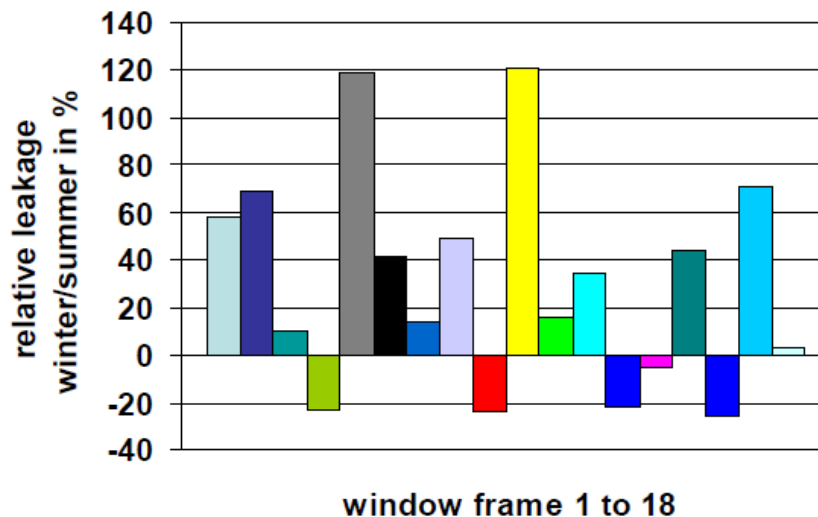


Figur 2. Vanliga luftläckagevägar i en byggnad. (Bild: Eric Werner)

Förutom att det är viktigt att få en lufttät byggnad, är det också viktigt att lufttäteten inte försämras med tiden eller över året. Man mäter oftast lufttäteten vid ett enda tillfälle och då är det viktigt att detta värde verkligen representerar byggnadens lufttätethet. Det har dock visat sig att detta inte alltid är fallet. Beständigheteten hos lufttäteten har ifrågasatts och bevis för att tätheten hos hus är bestående har eftersökts. Två nyligen utförda undersökningar av lufttätets beständighet är Ylmén m.fl. (2012) och Bracke m.fl. (2013). Ylmén undersökte beständigheten både i fält och i laboratorium. I fält jämfördes lufttätetsmätningar från sex enfamiljshus med ålder mellan 10 och 20 år. Fyra av husen hade samma lufttätethet som när de byggdes, medan två hus hade försämrade lufttätethet. I de sistnämnda husen hade dock ändringar gjorts i klimatskalet. I laboratoriemätningarna uppmättes lufttäteten under accelererad åldring. De flesta produkter hade bibehållen funktion efter åldring. Bracke m.fl. undersökte två nybyggda och lufttäta byggnader (ett murat hus och ett med trästomme) under 15 månaders tid. De drar slutsatsen att det är små ändringar i läckage över tiden. Eftersom byggnaderna var förhållandevis lufttäta så hade dock en del byggnader stora relativa försämringar i lufttäteten.

Ett flertal forskare har observerat att lufttäteten inte är konstant över året, vilket är fokus i det aktuella projektet. Vid en AIVC workshop presenterades belgiska och japanska undersökningar av detta. Boorsboom & de Gids (2012) analyserade mätningar från 80-talet som gjordes på 21 fönsterkonstruktioner i tegel- och betongbyggnader. De flesta fönsterkonstruktionerna var träfönster. I figur 3 visas 18 mätningar där läckaget som mättes

under vintern jämförs med läckaget under sommarmätningen. Alla fönster utom fem har större läckage under vintern än sommaren. I snitt är skillnaden 30% högre läckage under vintern. Två av fönsterna har 120% större läckage under vintern. Boorsboom och de Gids föreslår att lufttäthetsmätningar utförs under tre påföljande årstider för att få ett korrekt värde på luftläckaget.



Figur 3. Luftläckage runt fönster – mätning under vintertid jämfört med mätning under sommartid (Boorsboom & de Gids, 2012).

Yoshino visade i en workshoppresentation, AIVC (2012) på variationer i lufttäthet på  $\pm 20\%$  från årsmedelvärdet hos mätningarna på japanska hus. Det fanns alltså både exempel på att luftläckaget är högst på vintern och högst på sommaren. Detta antogs bero på olika konstruktioner/material i byggnaderna och exemplifierades med trä som är torrare på vintern.

Även tidigare undersökningar har det visats att den uppmätta lufttätheten kan variera med årstid. Detta har visats i studier i exempelvis Japan (Hasegawa och Yoshino, 1992) och Kanada (Kim and Shaw, 1986). Kim and Shaw har utfört lufttäthetsmätningar på två obebyggda byggnader i Ontario med träregelstomme och plastfolie. Mätningarna utfördes under drygt ett år med två veckor mellan mättillfällena. Undersökningen visar att byggnaderna är som otätats under vintern och tätast under sommaren. Maximalt luftläckage är ca 20% större än minimalt läckage. Kim och Shaw spekulerar i att skillnaden beror på skillnad i fuktkvot i träregelstomme på vintern jämfört med sommaren. Liknande resultat redovisas av Persily (1982) som observerat en säsongsvariation på 25%. Det finns också mätningar där luftläckaget är lägre på vintern. Dickinson et al. (1986) fann att så var fallet och spekulerar i ifall snö har tätat byggnaden. Alev et al. (2014) undersökte massivhus av trä och deras förklaring är att de stora snömassorna på husen tynger ner och tätar konstruktionen.

Hur lufttätheten varierar med fuktkvot hos trä har undersökts i laboration av Skogstad m. fl. (2010). Lufttäthet hos tre varianter av vägg/golv-konstruktioner undersöktes för en byggnad av krosslaminerat trä (CLT, cross laminated timber) utan plastfolie. Det visade sig att en väggkonstruktionen läckte 8 m<sup>3</sup>/h när fuktkvoten i träet var ca 0,14 kg/kg. När konstruktionen hade torkat till under 0,10 kg/kg var motsvarande läckage 78 m<sup>3</sup>/h. I en väggsektion med ett anslutande mellanbjälklag var motsvarande siffror 75 m<sup>3</sup>/h (för 0,14 kg/kg) och 146 m<sup>3</sup>/h (för under 0,10 kg/kg). Med andra ord påverkar träs fuktighet, och således även omgivningens fuktighet, en byggnads luftläckage.

## 1.2.SYFTE

Syftet med arbetet är att ta reda på ifall den uppmätta lufttätheten hos en byggnad påverkas av när på året man mäter lufttätheten, och i sådana fall hur den påverkas.

Det är viktigt att veta vad som påverkar den uppmätta tätheten av flera skäl.

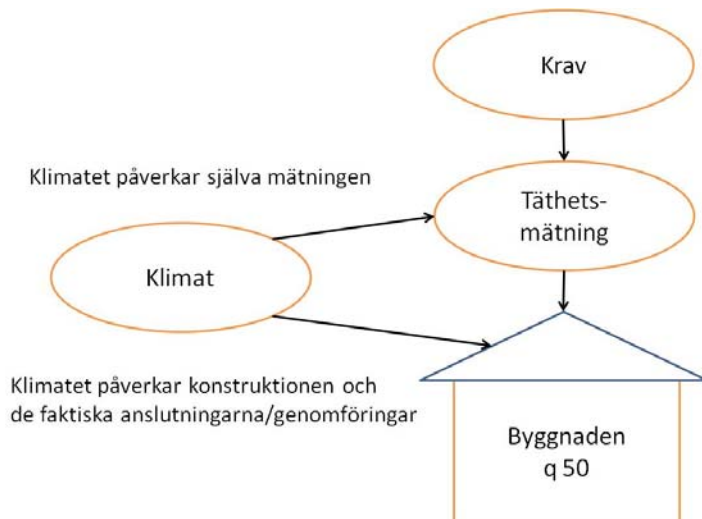
- Det kan finnas ett lufttäthetskrav på byggnaden som skall uppfyllas.
- Ifall otätheterna varierar under året påverkar detta energianvändning, komfort och fuktsäkerhet mm.
- För att kunna skapa en så god lufttäthet som möjligt krävs kunskap om otätheterna och vad som påverkar dem.

## 1.3.METOD

Ifall lufttätheten varierar över året kan detta bero på två faktorer, dels att själva mätningen/mätutrustningen ger olika resultat vid olika klimat och dels att byggnaden har olika täthet vid olika tider på året, se figur 4. Påverkan på själva mätningen har undersökts med hjälp av numeriska beräkningar och påverkan på byggnaderna har undersökts med hjälp av lufttäthetsmätningar i fält.

Lufttäthetsmätningarna har utförts enligt normen EN 13829:2000. Dessa mätningar inkluderar mätning av vindhastighet vid byggnaden, tryckskillnader över klimatskalet i olika lägen samt temperatur inne och ute. Detta har kompletterats med mätning av den relativa fuktigheten ute och inne samt av läckagesökning i byggnaden. Mätningar av lufttätheten har genomförts i två enfamiljshus med trästomme samt ett flerfamiljshus av betong under cirka ett år (sammanlagt 20 mätningar). Vid mättillfällena har även de enskilda läckagen studerats med hjälp av lufthastighetsmätning och termografering.

Påverkan av klimatet på mätningen/mätutrustningen, med avseende på utomhustemperatur, relativ fuktighet utomhus och vindpåverkan, har genomförts med hjälp av numeriska beräkningar.



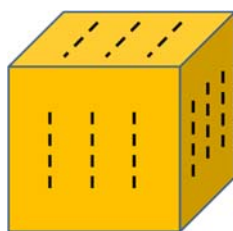
Figur 4. Klimatets påverkan på mätningen och på byggnaden.

## 2. BERÄKNINGAR AV OMGIVNINGENS PÅVERKAN

Klimatet kommer att ha en påverkan på mätningen av lufttätheten. I denna studie undersöks påverkan av ändring i luftens densitet (orsakad av ändring i lufttemperatur eller i relativ fuktighet i luften) samt av vind. Detta görs för att utesluta att de variationer man sett vid olika årstider är en effekt av mätsituationen, och följaktligen då är en effekt av att byggnaden har ändrat täthet. Vid mätning enligt EN 13829:2000 görs korrigerings för påverkan av densitetsändringar när luften transporteras i mätutrusningen. Dock kommer även luften som transporteras i otätheter i klimatskärmen att ha olika densitet och därmed påverka luftströmningen. Detta har studerats med hjälp av beräkningar.

Även vinden kommer att ha en påverkan på mätsituationen. Persily (1982) fann med hjälp av fullskalemätningar att felet vid lufttäthetsmätningar kunde vara upp till 15% vid vindpåverkan. Carrié m.fl. (2014) gjorde beräkningar av vindpåverkan. De räknade på fallet med en enda läckageväg på läsidan och en på lovartsidan. Vid 50 Pa tryckskillnad var påverkan av vind 11% för vindhastigheter upp till 10 m/s och 3% för vindhastigheter upp till 6 m/s.

Beräkningar har här utförts på en kub, som representerar en byggnad, med otätheter på alla sidor utom golvet, se figur 5. Strecken representerar springor i konstruktionen och otätheten hos lådan svarar mot en lufttäthet på ca. 0.8 l/sm<sup>2</sup>.



Figur 5. Simulerad låda med jämnt fördelade otätheter.

I en verklig byggnad finns det många olika sorters otätheter (springor/spalter/hål) med olika geometri och ytråhet och luften kan också passera genom porösa material. Dessa har dock förenklats i beskrivningarna till ett antal otätheter i form av spalter. För beskrivning av ekvationer för luftströmningsberäkningar, se Bilaga A.

För att studera effekten av olika temperatur hos luften beräknades luftströmningen vid två olika temperaturer  $-20^{\circ}\text{C}$  och  $30^{\circ}\text{C}$  ( $\text{RH}=40\%$ ), och för att studera effekten av luftens relativa fuktighet beräknades 0 och 100% relativ fuktighet (vid  $T_{\text{medel}}=10^{\circ}\text{C}$ ).

Undersökningen visar att de olika temperaturerna kan ge olika lufttäthetsresultat, se tabell 1. Vid  $-20^{\circ}\text{C}$  är den beräknade lufttätheten  $0.76 \text{ l/m}^2\text{s}$  och vid  $30^{\circ}\text{C}$  är den beräknade tätheten  $0.81 \text{ l/m}^2\text{s}$ . Skillnaden mellan de två beräknade situationerna är 5.7%.

För beräkningarna med olika relativ fuktighet blir dock skillnaderna mycket liten. En relativ fuktighet på 0% ger  $0.789 \text{ l/m}^2\text{s}$  och 100% ger  $0.791 \text{ l/m}^2\text{s}$ , en skillnad på 0.14%. Som tidigare nämnts kommer även temperaturpåverkan ske på själva mätutrustningen men detta kompenseras för vid användning av EN 13823:2000.

Tabell 1. Beräknad lufttäthet vid olika temperaturer och olika relativa fuktigheter.

Lufttäthet vid $-20^{\circ}\text{C}$ ( $\text{l/sm}^2$ )	Lufttäthet vid $30^{\circ}\text{C}$ ( $\text{l/sm}^2$ )	Lufttäthet vid 0% relativ fuktighet ( $\text{l/sm}^2$ )	Lufttäthet vid 100% relativ fuktighet ( $\text{l/sm}^2$ )
0.763	0.807	0.789	0.791
5.7%		0.14%	

Beräkningar på vindpåverkan görs för att utesluta vindpåverkan på den uppmätta lufttätheten. Ifall en årstid har mycket vind skulle detta kunna ge missvisande resultat.

I standarden EN 13823:2000 anges nolltryck som inte får överstigas om mätningen skall svara mot standard. Nolltryck (initial tryckskillnad, baseline) är den tryckskillnad som råder över en byggnads klimatskal när alla avsiktliga öppningar i klimatskalet (fönster och ytterdörrar, ventilationsöppningar, avlopp) stängts/tätats. Denna tryckskillnad mäts före och efter en lufttäthetsmätning, när även öppningen genom fläktutrustningen tätats.

I standarden beskrivs att ifall den meteorologiska vindhastigheten (dvs. mätt på 10 m höjd utan störande objekt i omgivningen) överstiger 6 m/s är det osannolikt att standardens villkor kan uppfyllas. I standarden beräknas lufttätheten som ett medelvärde mellan det uppmätta värdet vid övertryck i byggnaden och det vid undertryck. I Bilaga B finns ytterligare beskrivning av nolltryck och påverkan av vind och skorstenseffekt på nolltrycket.

Beräkningar av vindpåverkan har utförts på en byggnad i form av en kub, se figur 5. Ytterligare beskrivning finns i Bilaga A. Två fall har beräknats, först jämnt fördelade otätheter och därefter med en lovartsida som har dubbelt så mycket läckage som läsidan. Vindhastigheter upp till 9 m/s har undersökts.

Resultaten visar att om man använder sig av enbart övertryck eller undertryck så kan man få mindre fel även vid lägre hastigheter, dock långt ifrån måtonoggrannheten. Exempelvis ger 5 m/s en 1% alltför tät byggnad vid undertryck, och 0.5% alltför läckande byggnad vid övertryck. Vid medelvärdesbildning blir felet endast 0.2%. Inte förrän höga vindhastigheter undersöks uppkommer betydande fel. En vindhastighet av 9 m/s ger 4% alltför tät byggnad vid undertryck och 5% alltför läckande byggnad vid övertryck. Vid medelvärdesbildning blir felet endast 1.7% (för tät byggnad). Vid en ojämn läckagefördelning (dubbelt så stora läckage på lovartsidan) blir felet i samma storleksordning.

### 3. OBJEKT BESKRIVNING

Tre objekt har ingått i den här studien. Två objekt är fristående hus med 2 våningsplan och oinredda kallvindskonstruktioner. Tredje objektet är en lägenhet i en del av ett flerbostadshus.

Hus 1 (objekt 1) är beläget i Landvetter och har cirka 124 m<sup>2</sup> golvyta (byggt 2004) där omslutningsytan på klimatskärmen är cirka 300 m<sup>2</sup>. Hus 2 (objekt 2) är beläget i Sevred (2 mil norr om Borås) och har cirka 179 m<sup>2</sup> golvyta (byggt 1993) där omslutningsytan på klimatskärmen är cirka 398 m<sup>2</sup>. Undersökt lägenhet med 3 rum och kök är belägen i Ytterby på våning 3 av 4, med cirka 79 m<sup>2</sup> golvyta (byggt under 2013-2014, inflytt 1 mars 2014) och en omslutningsyta på klimatskärmen (yttervägg) på cirka 81 m<sup>2</sup>.

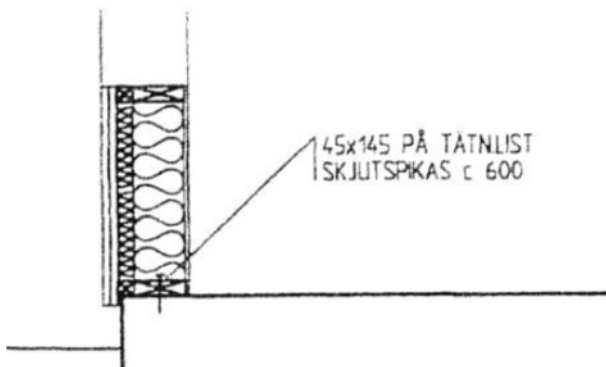
#### *KONSTRUKTION OBJEKT 1 LANDVETTER*

Objekt 1 har en isolerad betongplatta på mark och lätta träregelväggar med mineralullsisolering. Luft- och ångspärr är en 0,2 mm polyetenfolie.

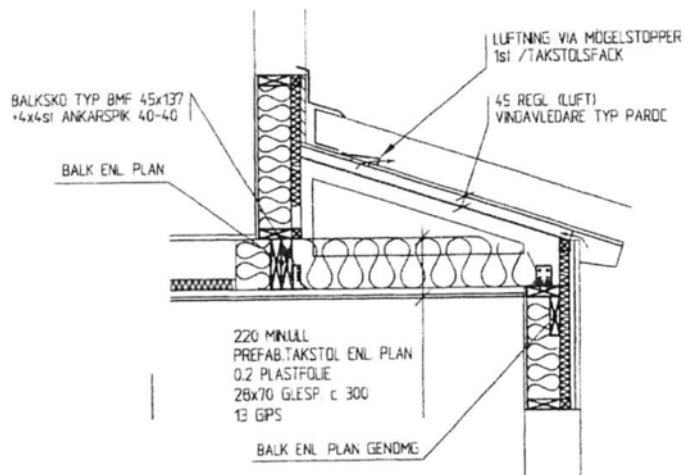


Figur 6. 3-dimensionell ritning objekt 1

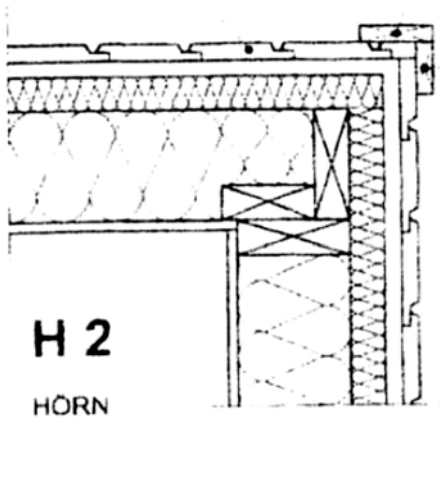
Ytterväggar är uppbyggd enligt följande utifrån och in: 22 mm spontad träpanel, 22 mm distansläkt, vindpapp, 45 mm träreglar och mineralull, 145 mm träreglar och mineralull, 0,2 mm plastfolie och 13 mm gipsskiva. Emellertid har vi inte kunnat få ta del av detaljritningar på hur luft- och ångtätheten skall utföras på detta objekt och vi har inte haft möjlighet att undersöka detta på plats eftersom det innebär förstörande provning. Några exempel på konstruktionsdetaljer där större luftläckage har noterats framgår dock av ritningar nedan. Ytterligare konstruktionsdetaljer återfinns i bilaga C.



Figur 7. Syllinfästning, objekt 1. Plastfolien är placerad bakom innanför gipsskivan.

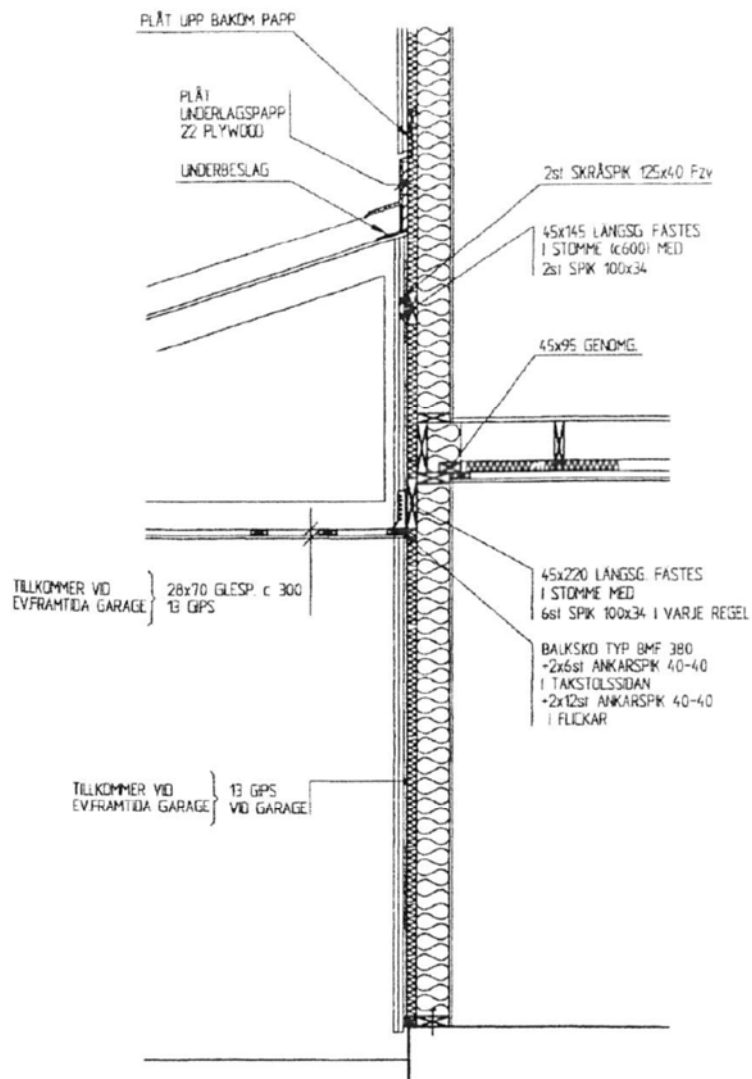


Figur 8. Takkonstruktion i burspråk, objekt 1. Plastfolien är placerad innanför gipsskivan och möjligtvis klämd mot regel och glespanel.



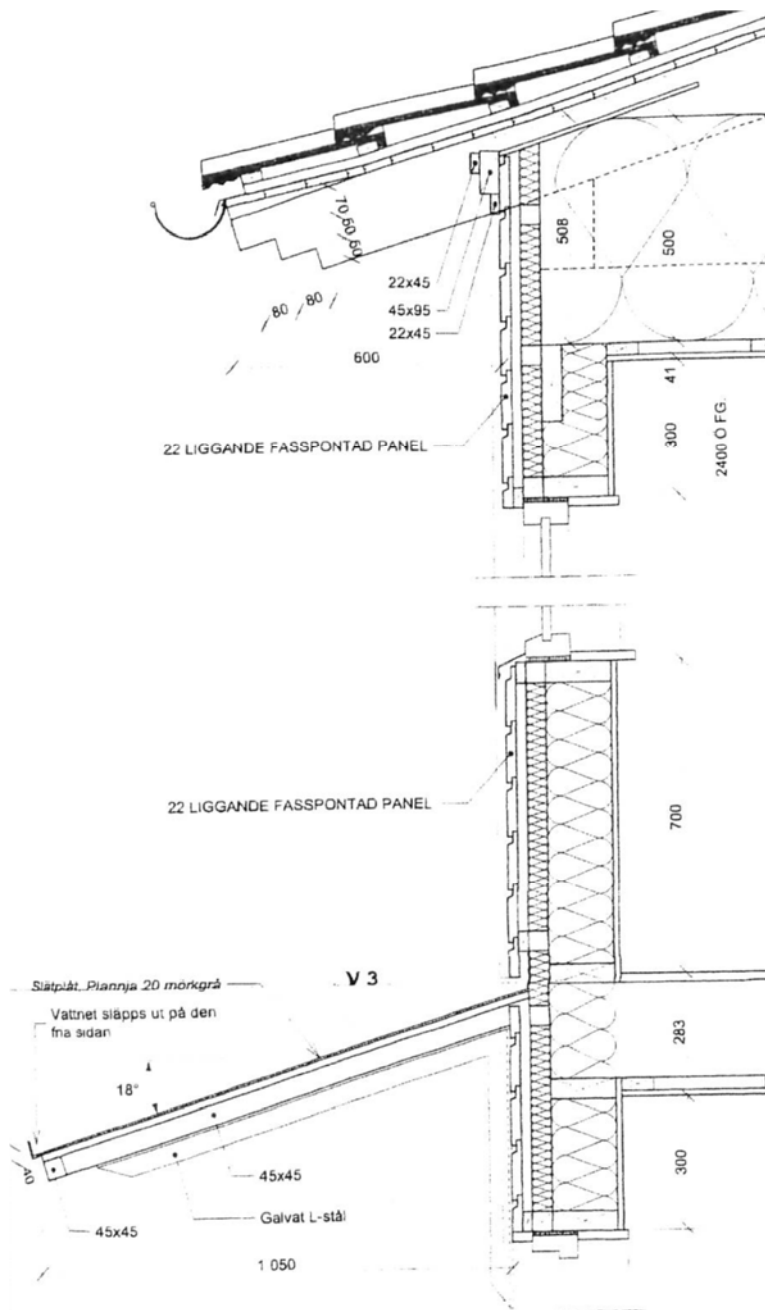
Figur 9. Ytterväggshörn, objekt 1. Plastfolien är placerad innanför gipsskivan.





10 (TEXT I ÖVRIGT SE SEKT 1)

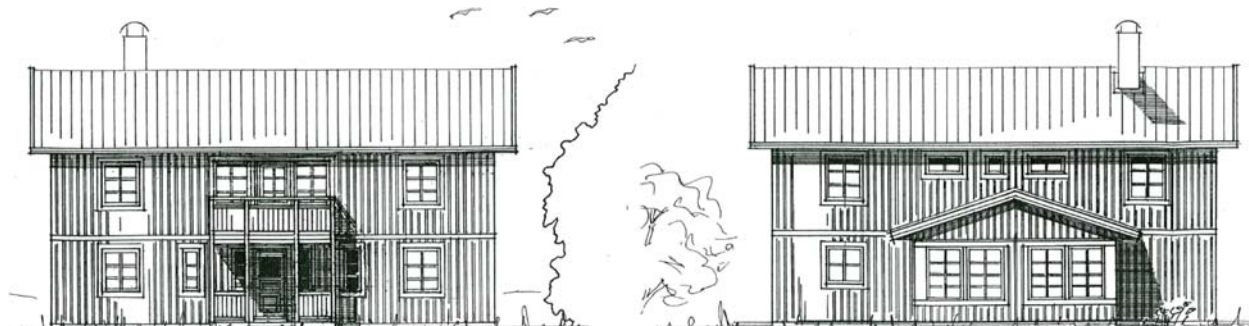
Figur 10. Garagetak, objekt 1. Plastfolien är placerad innanför gipsskivan.



Figur 11. Skärmtak entré – takfot långsida, objekt 1. Plastfolien är placerad innanför gipsskivan.

## KONSTRUKTION OBJEKT 2 SEVRED

Objekt 2 har en isolerad betongplatta på mark med golvvärmslingor och lätta träregelväggar med mineralullsisolering (prefabricerade). Luft- och ångspärr är en 0,15 mm polyetenfolie.



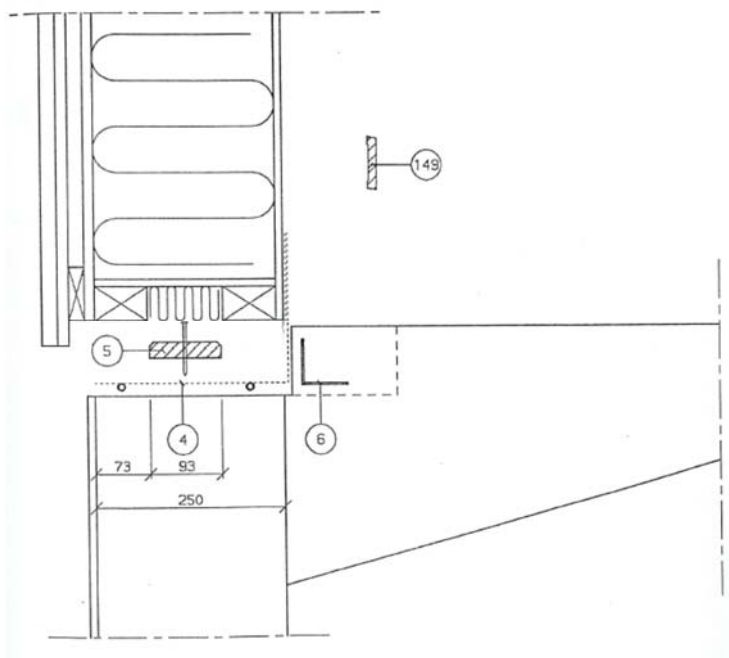
Figur 12. Långsidor, objekt 2.



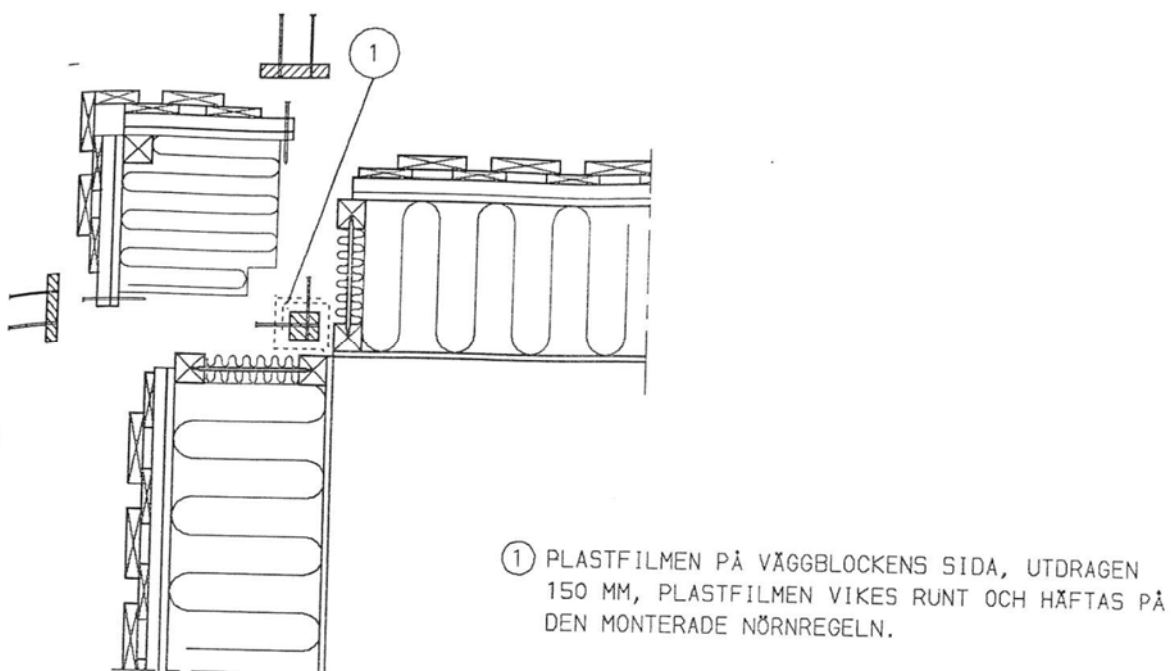
Figur 13. Kortsidor, objekt 2.

Ytterväggar är uppbyggd enligt följande utifrån och in: 15 + 21 mm lock-träpanel, distansläkt, 13 mm asfaboard, 240 mm träreglar och mineralull, 0,15 mm plastfolie och 9 mm byggboard. För objekt 2 har vi tagit del av flera principritningar för hur luft- och ångtätheten skall ordnas vid flera konstruktionsdetaljer, exempel på detta är: ytterväggshörn, elementskarvar i yttervägg, sylltätningar mm. Liksom för objekt 1 har vi dock inte haft möjlighet att undersöka konstruktionsdetaljer på plats eftersom det innebär förstörande provning. Nedan redovisas några utvalda konstruktionsdetaljer och resterande återfinns i bilaga C.

4. SYLLTÄTNING, L1A.
  5. SYLL 21x93, A1A. SPIKAS MED SPIK 100x3,4 c 600  
ALT. SLAGSPIK 70x3 c 600.
  6. VINKELBESLAG BMF X1A, S 2400 MM.  
SPIKAS MED 2 ST ANKARSPIK 35x4,0 I VÄGG.  
VID BTG.PLATTA SKJUTES BESLAGET FAST MED 1 ST.  
HILT1 DN/37. VID LECA STEN SKRUVAS BESLAGET FAST  
MED 2 ST. 10MM ESSVE/UPAT TURBO M L=70MM,  
ELLER LIKVÄRDIG.
149. GOLVLIST VITMÅLAD, J300A.

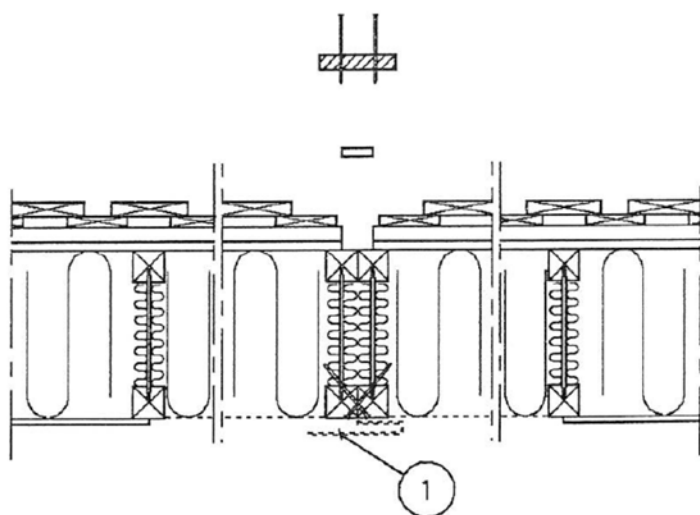


Figur 14. Sylltätning, objekt 2. Plastfolie dras med under sill upp mot vägg.

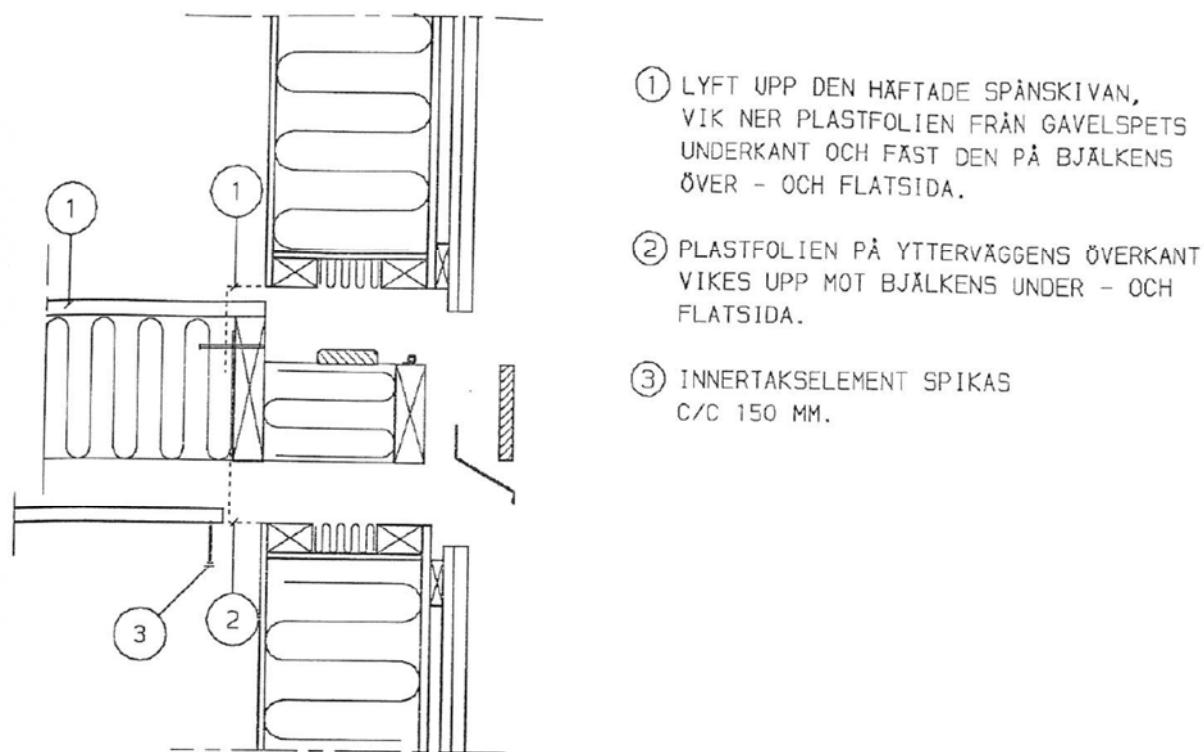


Figur 15. Utåtgående hörn, objekt 2. Montering av plastfolie i ytterväggshörn.

① PLASTFILMEN PÅ VÄGGBLOCKENS SIDA PRESSAS IHOP VAREFTER DE VIKS ÅT SIDAN OCH TILLBAKA IGEN.



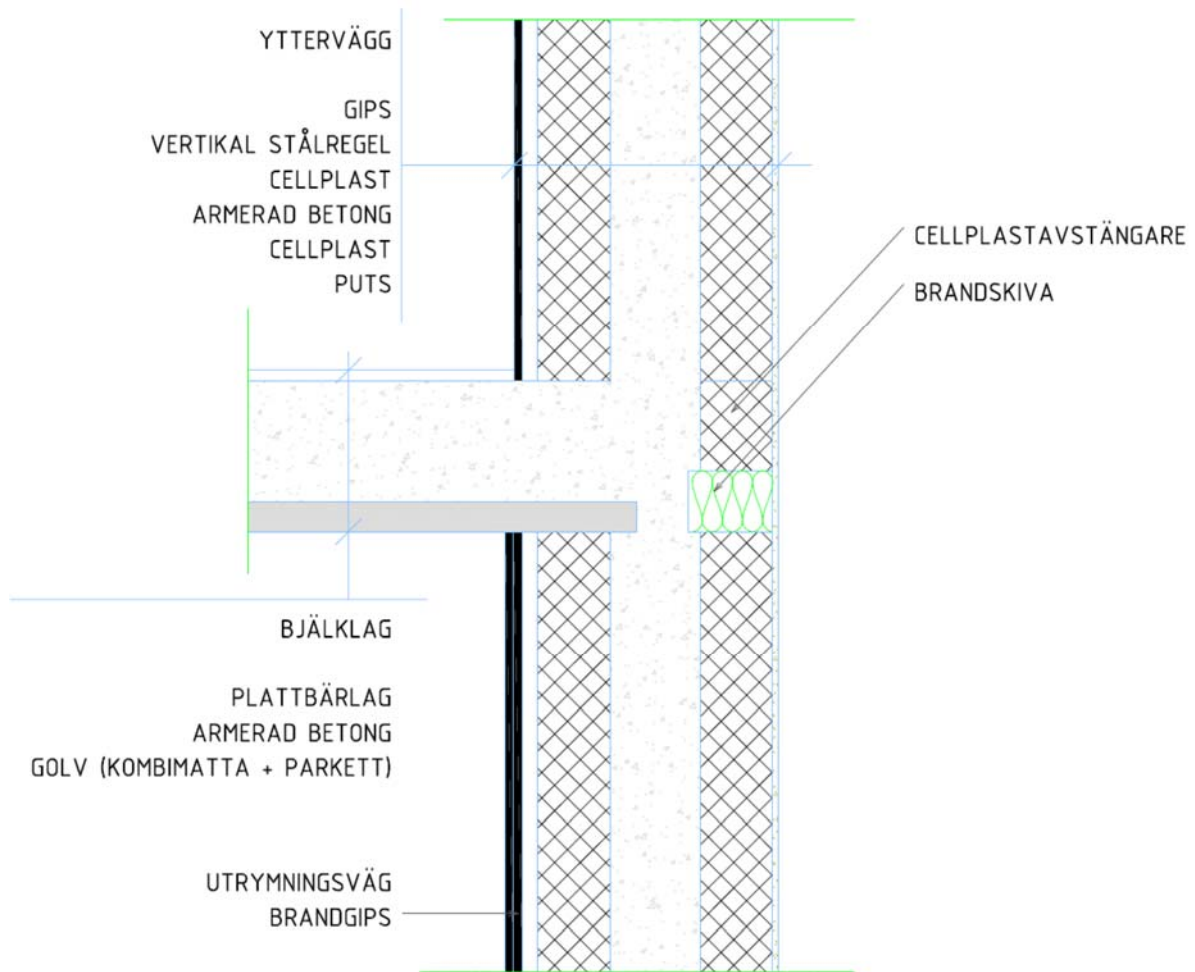
Figur 16. Elementskarv yttervägg, objekt 2. Montering av plastfolie i elementskarv.



Figur 17. Anslutning mellanbjälklag på gavel, objekt 2. Plastfolie fästs mot bjälklagets flata under- respektive översida.

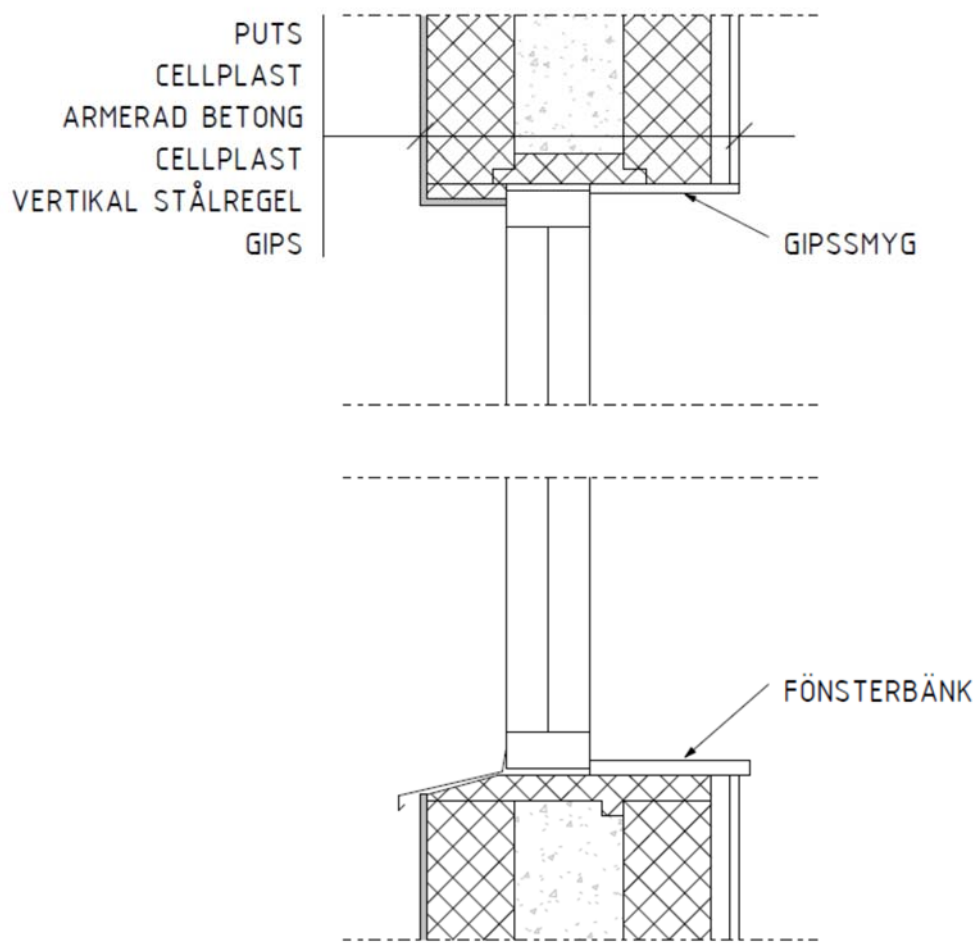
### KONSTRUKTION OBJEKT 3 YTTERBY

Undersökt lägenhet i flerbostadshus är uppbyggd med tung stomme av betong. Ytterväggar är uppbyggd enligt följande utifrån och in: puts, 120 mm cellplast, 150 mm armerad betong, 120 mm cellplast, stålregelverk och innergips. Cellplastblocken levereras med ett 150 mm hålrum som plats-gjuts med betong och armering. När första väggen är gjuten hamnar bjälklaget cirka 5 cm ut på den gjutna betongen varvid nästa cellplastblock monteras och hålrummet fylls med betong osv., se figur 18 nedan.



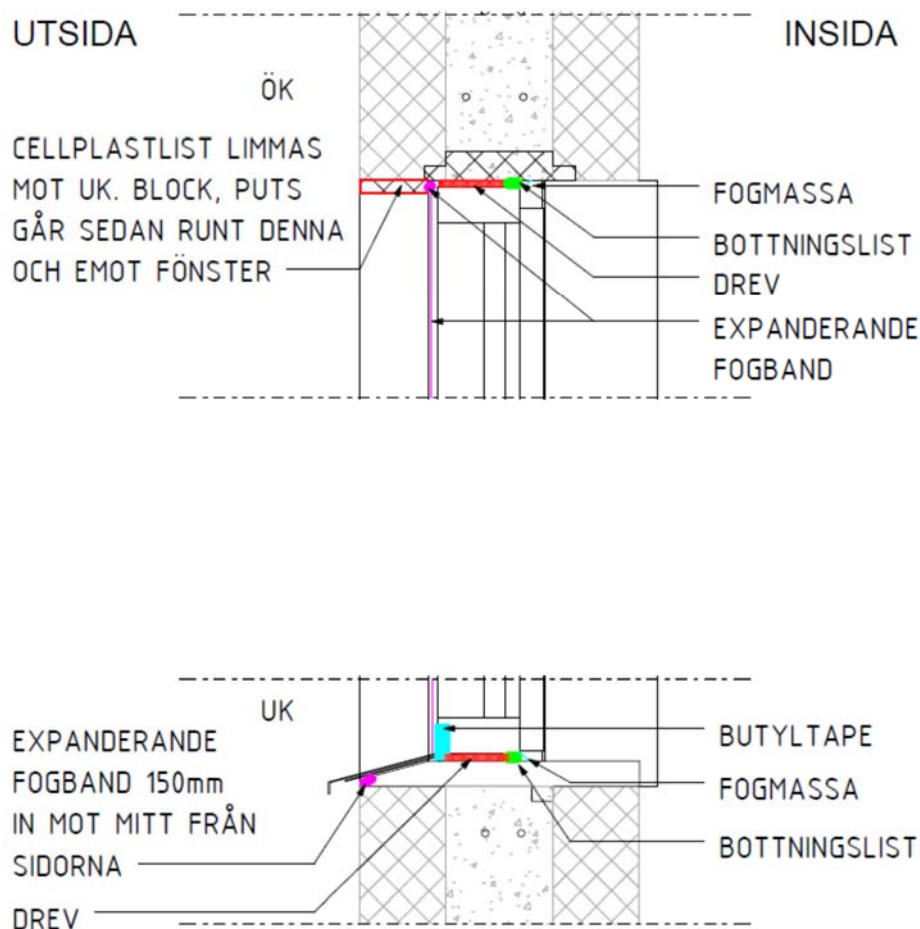
Figur18. Anslutning mellanbjälklag i yttervägg, objekt 3.

Lufttätheten för ytterväggar blir i betongen samt i olika anslutningsdetaljer som t.ex. fönsterinfästningar vilket redovisas några exempel på nedan. Precis som för objekt 1 och 2 har vi heller inte här haft möjlighet att undersöka konstruktionsdetaljer på plats eftersom det innebär förstörande provning.



Figur 19. Konstruktionsritning av yttervägg, objekt 3.





Figur 20. Anslutning av fönster i yttervägg, objekt 3. Tätningar utförs bland annat med expanderande fogband, butyltape, bottningslist och fogmassa.

## 4. LUFTTÄTHETSPROVNING OCH LUFTLÄCKAGESÖKNING

### 4.1. METODBESKRIVNING

Den vanligaste metoden att mäta lufttätethet i en byggnad presenteras i den europeiska standarden EN 13829:2000. Metoden innebär att man skapar en tryckskillnad över byggnadens klimatskärm och mäter luftflödet vid ett antal olika trycknivåer.

Det praktiska förfarandet är som följer. En fläkt monteras i en öppning till utrymmet som skall mätas, ventilationsdon och andra öppningar som inte ingår i klimatskärmen tätas och tryckmätare anbringas för att mäta tryckskillnaden mellan ute och inne. Med hjälp av fläkten skapas ett undertryck och även ett övertryck i byggnaden. För varje trycknivå mäts vid fläkten vilket luftflöde som behövs för att skapa respektive tryckskillnad. I EN 13829:2000 finns krav på maximal vindbelastning och maximal temperaturskillnad mellan inne och ute vid mättillfället eftersom detta påverkar den uppmätta lufttätetheten.

I Sverige uttrycks en byggnads lufttäthet som luftflöde (liter) per kvadratmeter klimatskärm per sekund ( $l/m^2s$ ) vid en tryckskillnad på 50 Pa ( $q_{50}$ ). Exempelvis var det tidigare kravet i BBR 0,8  $l/m^2s$  och maximalt luftläckage för ett passivhus är 0,3  $l/m^2s$ .

Provningen av de tre objektens klimatskärm utfördes enligt europastandard EN 13829:2000. Öppningar avsedda för ventilation och avlopp mm. tätades alternativt vattenfylldes på samma sätt och av samma person vid varje enskild provning. Samhörande värden på tryckskillnad mellan inne och ute samt över mätrör för luftflöde fastställdes för både över- och undertryck vid varje enskild mätning och objekt.

Övertryck = lufttrycket i byggnaden är större än atmosfärens tryck.

Undertryck = lufttrycket i byggnaden är mindre än atmosfärens tryck.

För mätning av byggnadens lufttäthet användes Minneapolis fläktutrustning BlowerDoor med tillhörande mikromanometer för mätning av tryckskillnad mellan inne och ute samt över mätrör till fläkt. Utrustningen var alltid den samma för varje mätning i det enskilda objektet, det vill säga att en utrustning använts för alla mätningar i samma objekt.

Mätning av temperatur inne och ute samt atmosfärstryck utfördes med instrument från Testo respektive Duck.

Spårning av luftläckage och termografering utfördes vid ca 50 Pa undertryck inne i förhållande till uteluften minst 2 gånger i varje objekt t.ex. en sommarmätning och en vintermätning. Undertrycket åstadkoms med hjälp av fläkten för mätning av byggnadens lufttäthet. Luftläckagen spårades med hjälp av värmekamera från Flir samt lufthastighetsgivare från Comfort-Control.

Spårning av luftläckage tillämpades för att försöka få en uppfattning om luftläckagens eventuella storlek och förändring över tid genom att mäta lufthastigheten. Det visade sig dock vara mycket svårt att få ett säkert resultat med denna metod eftersom det kräver att vi mäter på exakt samma ställe (exakt samma punkt) vid varje provning och med samma vinkel på lufthastighetsgivaren. Denna metod ska således bara ses som en indikation på olika lufthastigheter i luftläckagen vid mätningarna. Den bästa metoden hade varit att utföra friläggningar för att komma åt och kontrollera de olika lufttäthetslösningarna och hur de varierar med årstiden. Men som nämnt tidigare var detta inte möjligt i den här studien.

Resultaten från spårning av större och generella luftläckage redovisas på planritningar i bilaga E.

I de mätningar som utförts i varje objekt i detta projekt är flera osäkerhetsfaktorer eliminerade mellan mätningarna, dvs. när de olika mättillfällena jämförs med varandra, eftersom exakt samma utrustning använts och samma person utfört mätningen inklusive förberedande tätning av ventilation etc. i byggnaden. Osäkerhet i mätutrustningens

långtidsstabilitet kvarstår, men använd utrustning har god historik, dvs. drift mellan kalibreringstillfällena har visat sig vara minimal. Osäkerhet finns i luftens relativa fuktighet på så sätt att luftdensiteten ej kompenseras för relativ fuktighet i mätprogramvaran. Även om samma temperaturmätare använts vid alla mättillfällen finns ändå viss osäkerhet också i lufttemperaturen.

Uppskattningsvis är mätosäkerheten mellan mätningarna 2,2 – 2,5% med täckningsfaktor  $k=2$ , om osäkerhet i nolltryck är 1 Pa (se bilaga B avseende nolltryck) . Observera att detta enbart avser mätosäkerhet vid jämförelse av mätvärden från identiskt utförda mätningar under lugna vindförhållanden med exakt samma utrustning vid olika mättillfällen. Den totala mätosäkerheten i uppmätt lufttäthetsvärde, dvs. den osäkerhet som är relevant när man ska försöka bestämma en byggnads sanna lufttäthetsvärde, är större. Projektet syftar dock inte till att bestämma byggnadernas sanna lufttäthetsvärde, projektet syftar enbart till att bestämma skillnaden i resultat mellan olika mättillfällen, varvid systematiska mätfel (dvs. de fel som är identiska vid var mätning) ej bidrar till mätosäkerheten.

## 4.2. MÄTRESULTAT

Nedan redovisas mätresultaten från lufttäthetsmätningar, termogram samt mätning av relativ fuktighet och temperatur. Klimatet finns mer utförligt beskrivna i bilaga D (momentana klimatmätningar) samt bilaga E (läckagesökningar med lufthastighetsmätningar samt termogram).

### Mätresultat Objekt 1, Landvetter

Första täthetsmätning, inklusive läckagesökning, utfördes 2013-07-03, övriga täthetsmätningar utfördes 2013-09-05, 2013-11-25, 2014-01-27, 2014-04-17, 2014-07-01 (inklusive läckagesökning) och 2014-08-26 (inklusive läckagesökning).

Använd utrustning för själva lufttäthetsmätningen: Minneapolis BlowerDoor inventarienummer 701384 med tillhörande mikromanometer DG-700 inventarienummer 701385. I programvara för utrustningen kompenseras mätningen för nolltryck, inom- och utomhustemperatur samt atmosfärstryck.

Tabell 2. Lufttemperaturer

Datum	Utomhus °C	Inomhus (plan 1) °C
2013-07-03	18,7	22,8
2013-09-05	16,2	21,9
2013-11-25	-3,9	19,5
2014-01-27	-4,9	21,5
2014-04-17	7,9	20,8
2014-07-01	16,1	22,2
2014-08-26	17,1	23,8

**Tabell 3. Uppmätt lufttäthet**

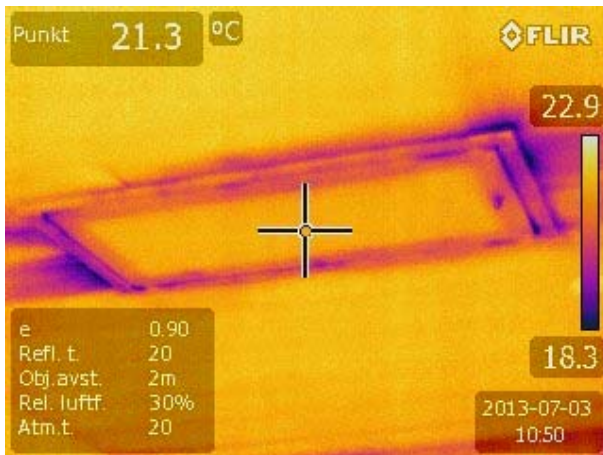
Datum	Omslutningsyta m <sup>2</sup>	Luftflöde vid 50 Pa under-tryck l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/m <sup>2</sup> s
1 2013-07-03	300	179	183	181	<b>0,60</b>
2 2013-09-05		178	187	183	<b>0,61</b>
3 2013-11-25		187	198	192	<b>0,64</b>
4 2014-01-27		195	203	199	<b>0,66</b>
5 2014-04-17		189	196	193	<b>0,64</b>
6 2014-07-01		183	186	185	<b>0,62</b>
7 2014-08-26		181	184	182	<b>0,61</b>

Jämför vi mätningarna har luftflödet ökat med 18 l/s vid ± 50 Pa vid mätning fyra jämfört med mätning ett. Lufttätheten har försämrats med 0,06 l/m<sup>2</sup>s vid ± 50 Pa vid mätning fyra jämfört med mätning ett. Således finns det en tydlig tendens att lufttätheten försämras vid kallare klimat. Vid mätning fem, sex och sju i april, juli respektive augusti 2014 ser vi en tendens att lufttätheten har går tillbaka mot uppmätt värde i juli och september 2013.

Sommaren var ovanligt varm i juli månad med temperaturer upp mot 30 grader Celsius i flera veckor. Två senaste veckorna innan sjunde mätningen, 2014-08-26, var det dock relativt kallt och regnigt för månaden.

Några av de större läckagen som vi har noterat är ovan fönster i burspråket i köket, infästning av carport-taket vid trappan till våning 2 och vindslucka. Vidare noterades flera lufttätheter vid golvvinkel och vid fönstersmygar.

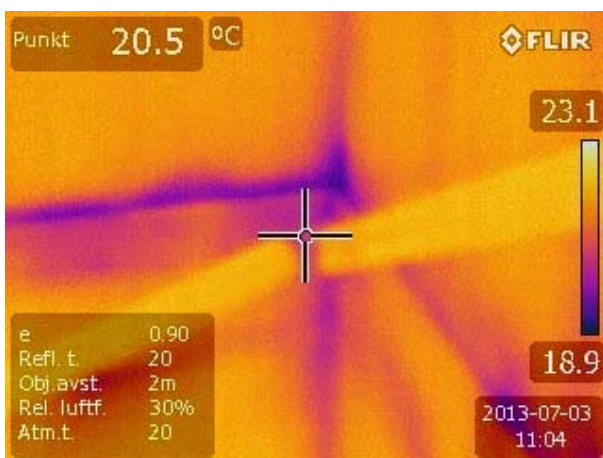
Jämförelse av termogram som visar luftläckage i anslutningsdetaljer mellan mätning 1 och 4 redovisas nedan.



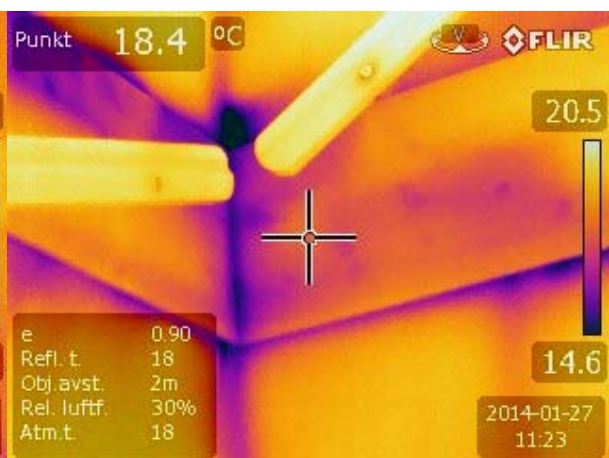
Vindslucka mätning 1, juni 2013.



Vindslucka mätning 4, januari 2014.



Trappa till våning 2 vid mätning 1, juni.  
mätning 4, januari.



Trappa till våning 2 vid

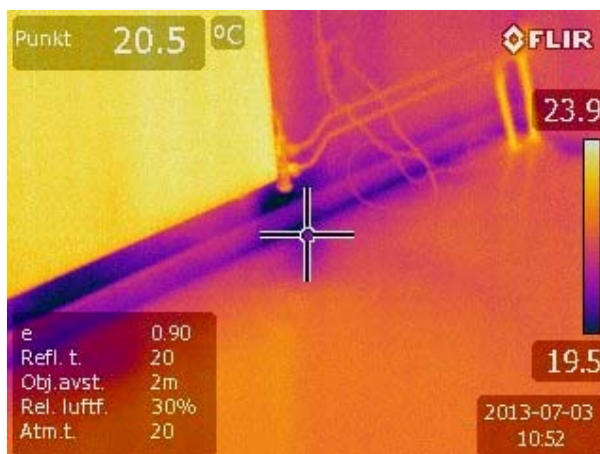
Figur 21. Termogram från trappa och övervåning



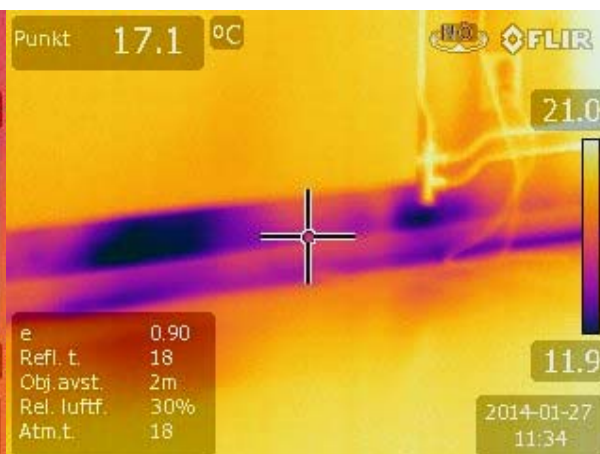
Ovan fönster i burspråk vid mätning 1, juni.  
januari.



Ovan fönster i burspråk vid mätning 4,



Golvinkel på plan 2 vid mätning 1, juni.



Golvinkel på plan 2 vid mätning 4, januari.



Ytterdörr till tvättstuga vid mätning 1, juni.



Ytterdörr till tvättstuga vid mätning 4, januari.

Figur 22. Termogram från nedervåning



Fönster i badrum vid mätning 1, juni.



Fönster i badrum vid mätning 4, januari.

Figur 23. Termogram från badrum

## Mätresultat Objekt 2, Sevred

Första täthetsmätning, inklusive läckagesökning, utfördes 2013-07-04, andra täthetsmätning utfördes 2013-08-29, tredje täthetsmätning utfördes 2013-11-20, fjärde lufttäthetsmätning, inklusive läckagesökning, utfördes 2014-02-03, femte lufttäthetsmätning utfördes 2014-05-15, sjätte lufttäthetsmätning utfördes 2014-07-06 och sjunde lufttäthetsmätning utfördes 2014-09-11.

Använd utrustning för själva lufttäthetsmätningen: Minneapolis BlowerDoor inventarienummer 901352 med tillhörande mikromanometer DG-700 inventarienummer 901353. I programvara för utrustningen kompenseras mätningen för nolltryck, inom- och utomhustemperatur samt atmosfärstryck.

Tabell 4. Lufttemperaturer

Datum	Utomhus °C	Inomhus (plan 1) °C
2013-07-04	(17,7 före läckagesökning) 20,0 vid lufttäthetsmätning	(22,4 före läckagesökning) 23,2 vid lufttäthetsmätning
2013-08-29	14,7	22,5
2013-11-20	-1,5	21,2
2014-02-03	0,5	17,3
2014-05-15	15,8	21,0
2014-07-06	24,5	26,8
2014-09-11	16,3	24,3

Tabell 5. Uppmätt lufttätethet

Datum	Omslutningsyta m <sup>2</sup>	Luftflöde vid 50 Pa under-tryck l/s	Luftflöde vid 50 Pa över-tryck l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttätethet vid ± 50 Pa l/m <sup>2</sup> s	
1	2013-07-04	398	155	157	156	<b>0,39</b>
2	2013-08-29		155	156	156	<b>0,39</b>
3	2013-11-20		160	165	163 (eller 162*)	<b>0,41</b>
4	2014-02-03		165	171	168	<b>0,42</b>
5	2014-05-15		164	165	164	<b>0,41</b>
6	2014-07-06		161	161	161	<b>0,41</b>
7	2014-09-11		159	162	160	<b>0,40</b>

\* Verkligt flöde ca 162,5 l/s, programmet räknar om flödet när man öppnar filen, verkar ha svårt att bestämma sig för 162 eller 163 l/s.

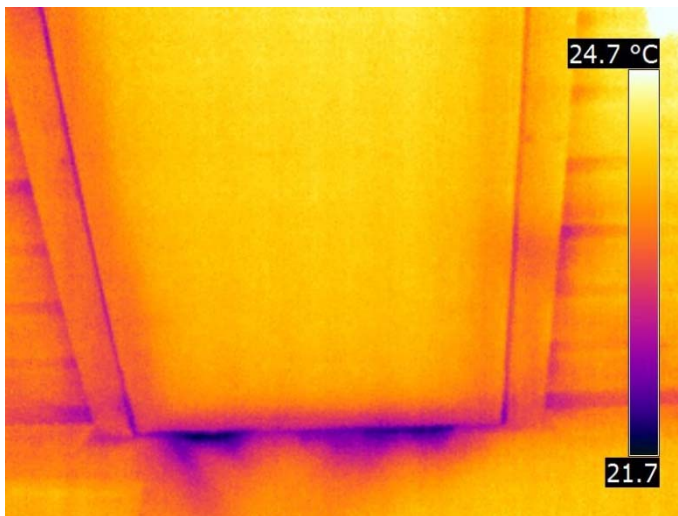
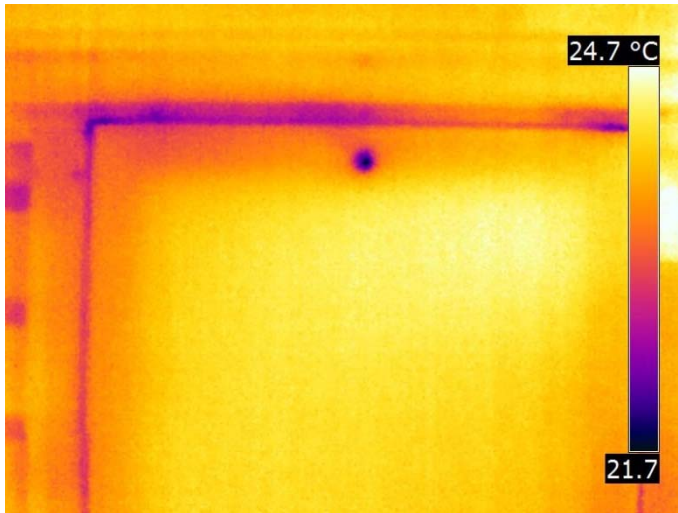
Således har inte riktigt samma täthet uppnåtts sommar/höst 2014 som 2013, men vi ser ändå tendens att husets täthet förefaller vara något bättre under sommaren än under vintern.

Läckagesökning från 2013-07-03 och 2014-02-03 redovisas i bilaga E, inklusive termogram.

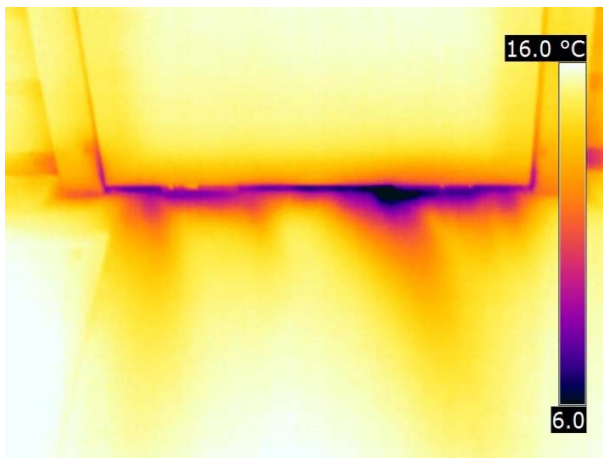
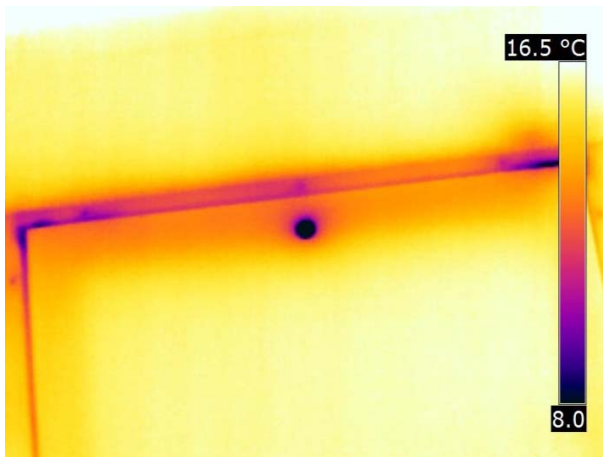
Det största enskilda läckaget finns vid schakt för skorsten vilket visar sig både som läckage ur mellanbjälklagets undersida i pannrum på plan 1, som nedkylning av mellanbjälklaget, läckage i golvvinkel och vid garderob i allrum på plan 2, nedkylning av schaktvägg på plan 2 och läckage i takvinkel i allrum och klädkammare på plan 2. Se termogram 4, 7 och 8 från läckagesökning 2014-02-03 i bilaga E.

Övriga typer av läckage är främst läckage i fönstersmygar, vid/ur elinstallationer, takvinklar, golvvinklar, kring ventilationsdon och vid vindslucka.



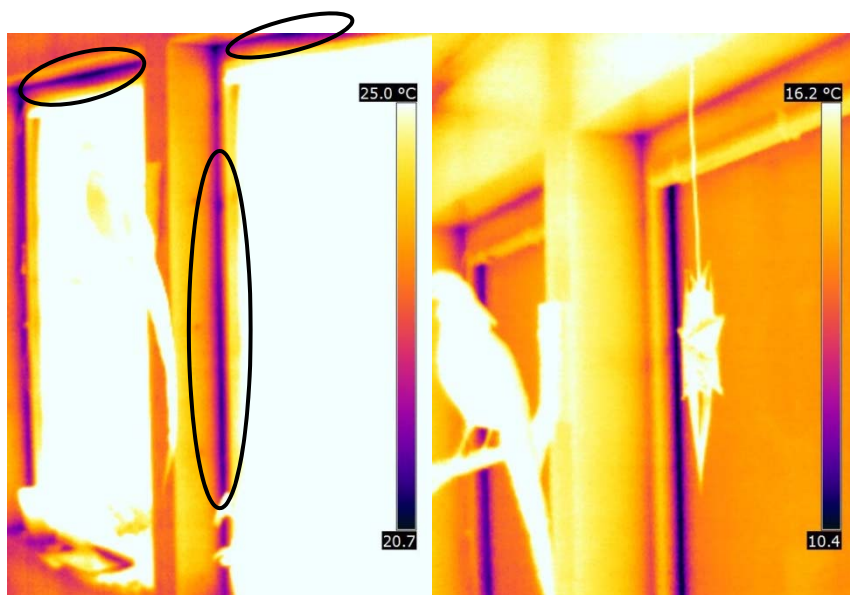


Figur 24. Termogram på vindslucka i juli 2013. Framför allt förekommer luftläckage i vindsluckans bakkant, dvs. gångjärnssidan, men det förefaller även förekomma lite läckage i framkant samt att läckage förekommer i "nyckelhålet".



Figur 25. Termogram på vindslucka i februari 2014. Förefaller i stort sett vara oförändrade läckage. Möjligen att läckaget i bakkant kan ha ökat något.

Den 2014-02-03 noterades även läckage som vi ej sett 2013-07-03. Det betyder dock inte att de inte fanns även 2013-07-03, bara att vi ej såg dem i värmekameran sommartid och då ej heller hittat dem med lufthastighetsgivaren (det är ogörligt att ansätta lufthastighetsgivaren mer än stickprovsmässigt på alla platser där man inte speciellt misstänker läckage). Men eftersom några läckage hade försvunnit samtidigt som det totala läckageflödet ökat så innebär det också att några läckageplatsers läckage ökat och/eller verkligen tillkommit. Bl.a. smygar och övriga anslutningar vid fönster och dörrar läckagesöktes noggrant med lufthastighetsgivare vid båda tillfällena varför vi vet att det 2014-02-03 tillkommit läckage i en del fönstersmygar samt vid ytterdörr till pannrum. Noterbart är dock även att några läckage i fönstersmygar som förekom 2013-07-03 hade upphört 2014-02-03. Termogram från båda tillfällena nedan visar läckage som upphört eller nästan upphört.



Figur 26. Termogram från 2013-07-03 respektive 2014-02-03. Luftläckage mellan karmsidostycke och smyg samt mellan karmöverstycke och smyg har i stort sett upphört 2014-02-03 (i den vertikala anslutningen helt upphört, i horisontell anslutning näst intill helt upphört).

### Mätresultat Objekt 3, Ytterby

Första täthetsmätning, inklusive läckagesökning, utfördes 2014-03-25, övriga täthetsmätningar utfördes 2014-05-13, 2014-07-02 (inklusive läckagesökning), 2014-08-19, 2014-10-14 (inklusive läckagesökning) och 2014-12-17.

Använd utrustning för själva lufttäthetsmätningen: Minneapolis BlowerDoor inventarienummer 901352 med tillhörande mikromanometer DG-700 inventarienummer 901353. I programvara för utrustningen kompenseras mätningen för nolltryck, inom- och utomhustemperatur samt atmosfärstryck.

Tabell 6. Lufttemperaturer

Datum	Utomhus °C	Inomhus °C
2014-03-25	10,5	20,1
2014-05-13	13,1	20,5
2014-07-02	20,9	22,6
2014-08-19	14,1	23,3
2014-10-14	9,0	19,8
2014-12-17	2,0	20,5

Tabell 7. Uppmätt lufttätethet

Datum	Omslutningsyta m <sup>2</sup>	Luftflöde vid 50 Pa under-tryck l/s	Luftflöde vid 50 Pa över-tryck l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttätethet vid ± 50 Pa l/m <sup>2</sup> s	
1	2014-03-25	81	28	29	28	<b>0,35</b>
2	2014-05-13		28	29	29	<b>0,35</b>
3	2014-07-02		28	28	28	<b>0,35</b>
4	2014-08-19		28	31	29	<b>0,36</b>
5	2014-10-14		29	30	29	<b>0,36</b>
6	2014-12-17		29	31	30	<b>0,37</b>

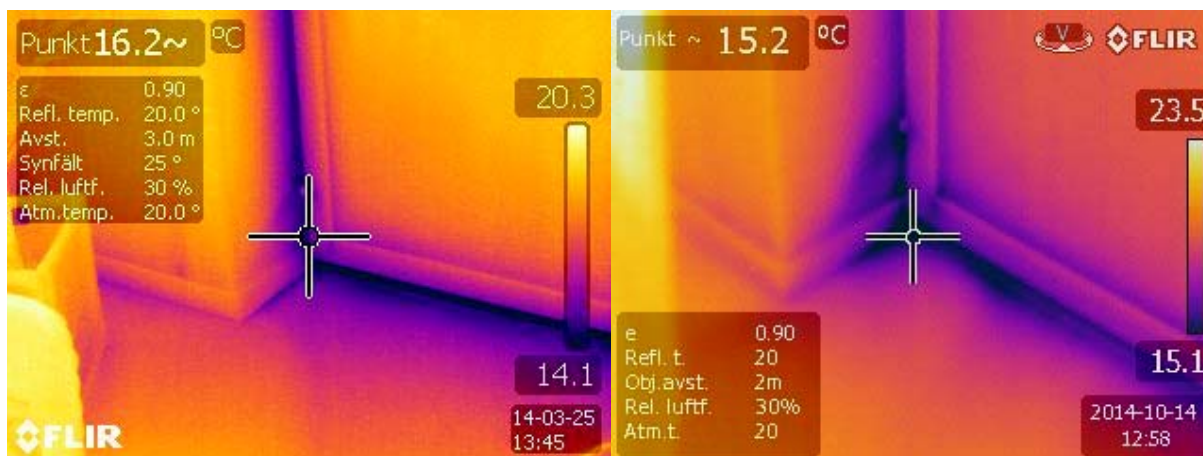
Jämför vi mätningarna så ser vi att lufttätetheten har försämrats sedan mätningarna startade i mars månad 2014. De tre senaste mätningarna visar på försämrad lufttätethet. Det vi noterade vid mätning fem i oktober var att fogmassa vid insida fönsterfoder har börjat spricka upp, vilket har medfört lokala luftläckage. Detta noterades även vid senaste mätningen och vi kunde se en tendens att lufthastigheten genom sprickorna i fogen har ökat samt att spricklängderna i fogen möjligen har ökat något sedan mätning fem.

Vid eventuell fortsättning av projektet kommer en mätning att göras under sommaren 2015 för att se om lufttätetheten har ändrats ytterligare.

Sommaren var ovanlig varm i juli månad med temperaturer upp mot 30 grader Celsius i flera veckor. Två senaste veckorna innan mätning fyra, 2014-08-19, var det relativt kallt och regnigt samt blåsigt och enda gången vi utförde mätningar i denna studie som det inte var i princip vindstilla.

Några av de större läckagen som vi har noterat är anslutning mellan fönsterkarm och fönsterbåge, golvvinkel (kan vara anslutningen i mellanbjälklag i yttervägg samt internläckage inom byggnaden) samt rörschakt i badrummet (internläckage inom byggnaden). Vidare noterades flera lufttätetheter vid golvvinkel och vid fönster mellan båge och karm.

Termogram från mätning 1, 5 och 6 redovisas nedan.



Balkongdörr vid mätning 1, mars.

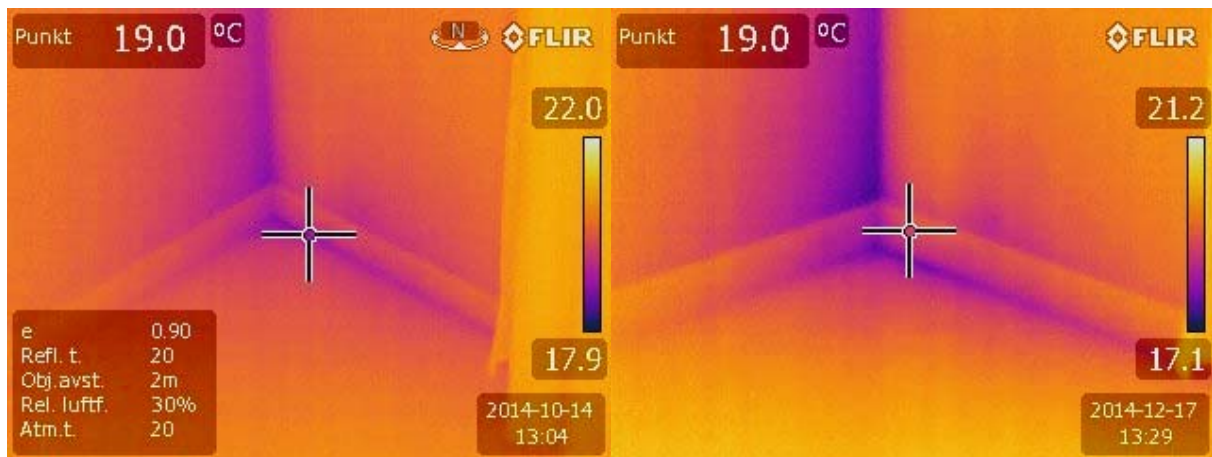
Balkongdörr vid mätning 5, oktober.



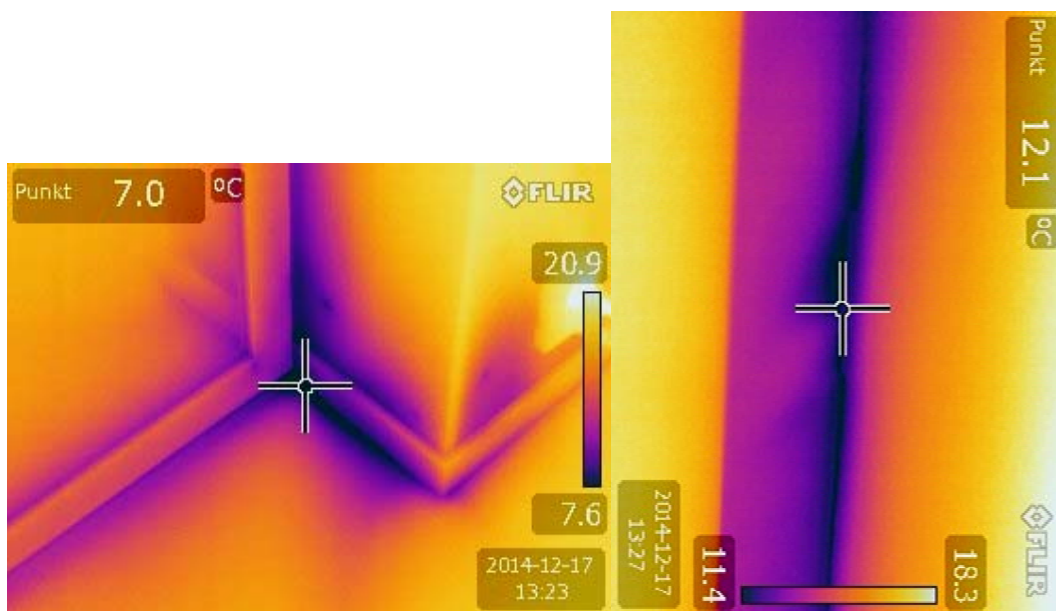
Fönster i vardagsrum vid mätning 5, oktober.

Fönster i vardagsrum vid mätning 6, december.

Figur 27. Termogram från mätningar i mars, oktober och december.



Golvinkel mot yttervägg vid mätning 5, oktober. Golvinkel mot yttervägg vid mätning 6, december.



Balkongdörr vid mätning 6, december.  
vardagsrum

Spricka i mjukfog vid fönstersmyg i  
mätning 6, december.

Figur 28. Termogram från mätningar i mars, oktober och december.

## 5. Analys

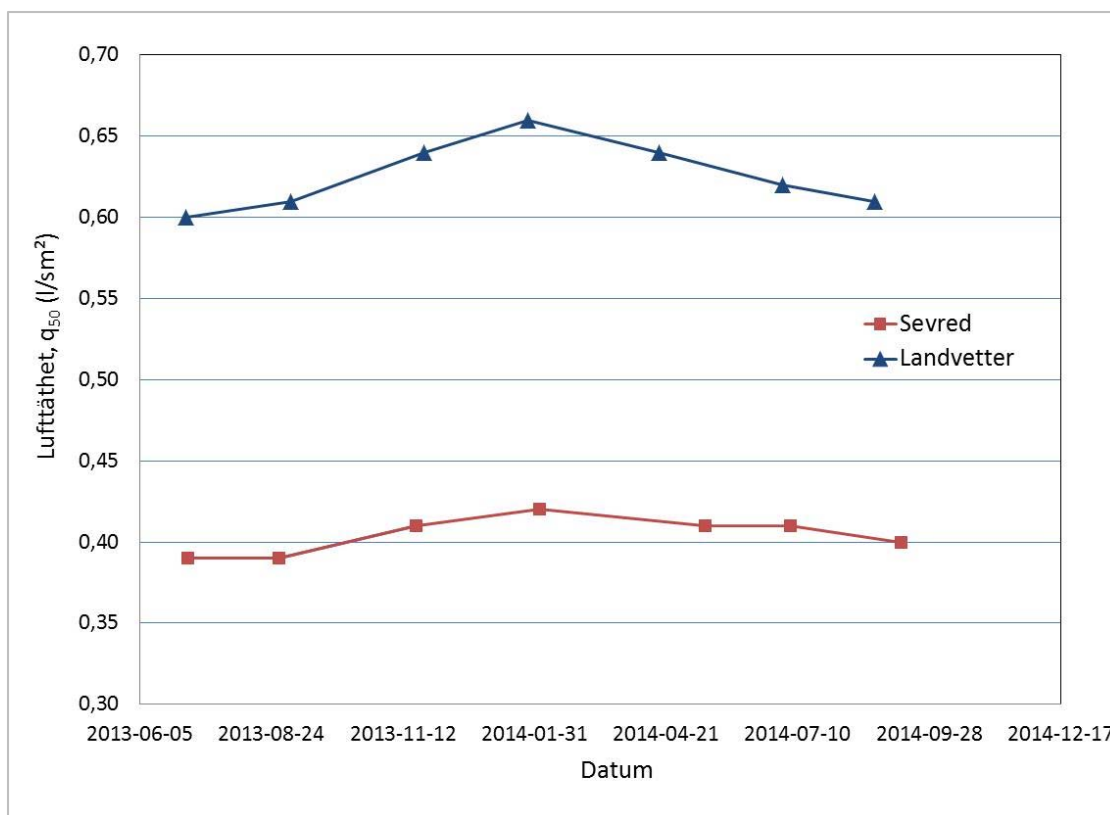
Luftläckagen har i projektet studerats med hjälp av luftläckagemätningar, lufthastighetsmätningar vid otätheter, samt med termografering. Det har visat sig vara svårt att dra generella slutsatser av lufthastighetsmätningar (se kapitel 4.1 och bilaga E), eftersom enskilda läckage haft olika beteende och eftersom man måste mäta på exakt samma sätt och läge för att kunna få jämförande resultat. Lufttäthetsmätningarna har analyserats med

avseende på hur de varierar över året. Korrelationen mellan lufttäthet och relativ fuktighet i luften ute och inne, lufttemperatur ute och inne samt ånghalt inne har undersökts.

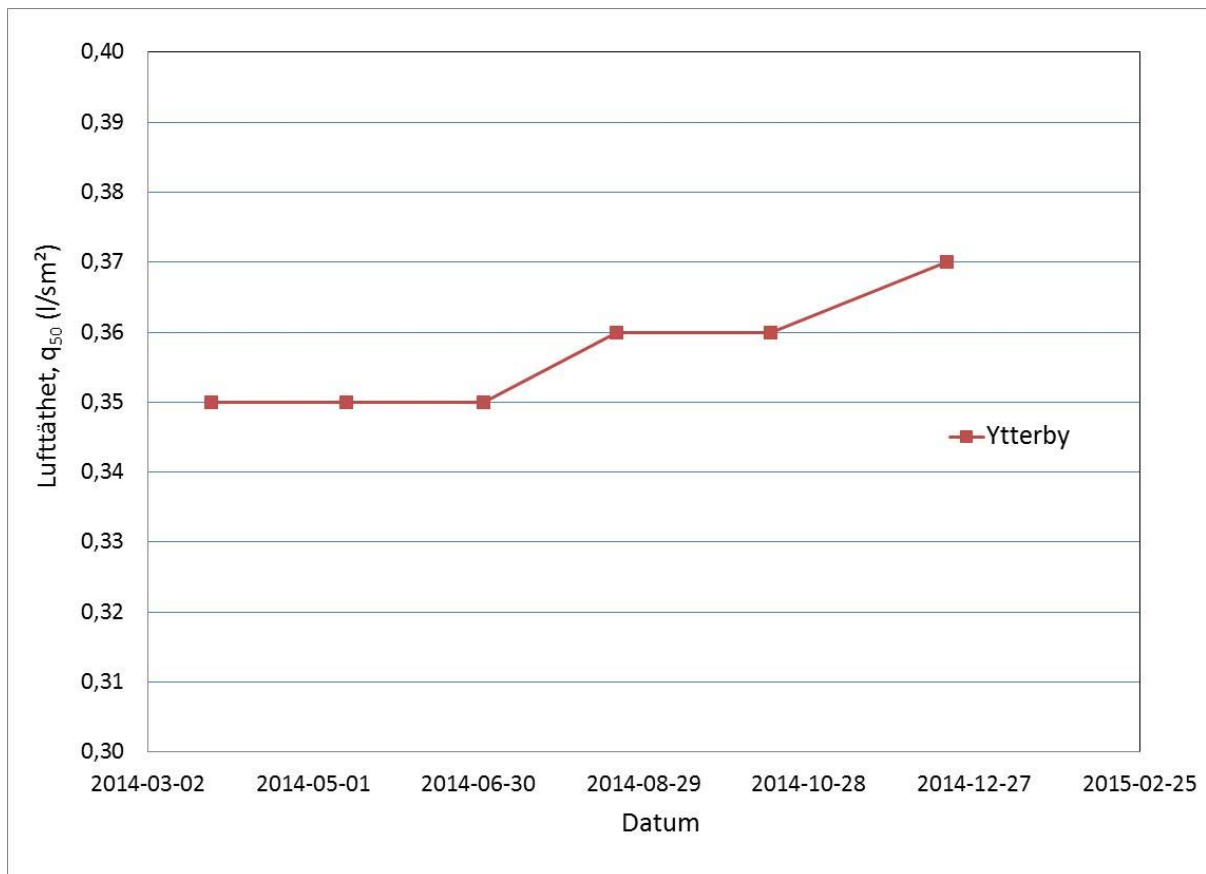
I trähusen indikerade de första mätningarna att lufttätheten var beroende av den relativa fuktigheten inomhus (Wahlgren, 2014). Till dessa första analyser användes momentana värden från mättillfället på relativa fuktigheter (inne/ute) och temperaturer (inne/ute).

Vidare analyser har gjorts av flera olika faktorer som påverkar lufttätheten. Beroende på var tätheten i konstruktionen sitter, kommer tätheten att reagera olika snabbt på förändringar i omgivningen. Därför har, exempelvis, den relativa fuktigheten inomhus medelvärdesbildats för olika tider (12 timmar, 1 dygn, 2 dygn, en vecka och i vissa fall tre veckor). De påverkande faktorer som har loggats kontinuerligt (var fjärde timma) och som har analyserats är relativ fuktighet inne/ute, temperatur inne/ute. Loggarna installerades i oktober 2013, vilket betyder att de inte var på plats vid de första två mätningarna i trähusen.

Mätningar som funktion av tiden har två olika utseenden för trähusen och betonghuset. Båda trähusen är tätare på sommaren och har större läckage på vintern. I figur 29 visas lufttätheten som funktion av tiden för trähusen. Huset i Landvetter är som mest 10% mer otätt under vintern än under sommaren (10 % högre  $q_{50}$ ). I Sevred är motsvarande skillnad 8%. I figur 30 visas betonghuset, som var nybyggt när mätningarna startade. Det har en något försämrad täthet över tiden.



Figur 29. Lufttätheten som funktion av tiden i trähusen.

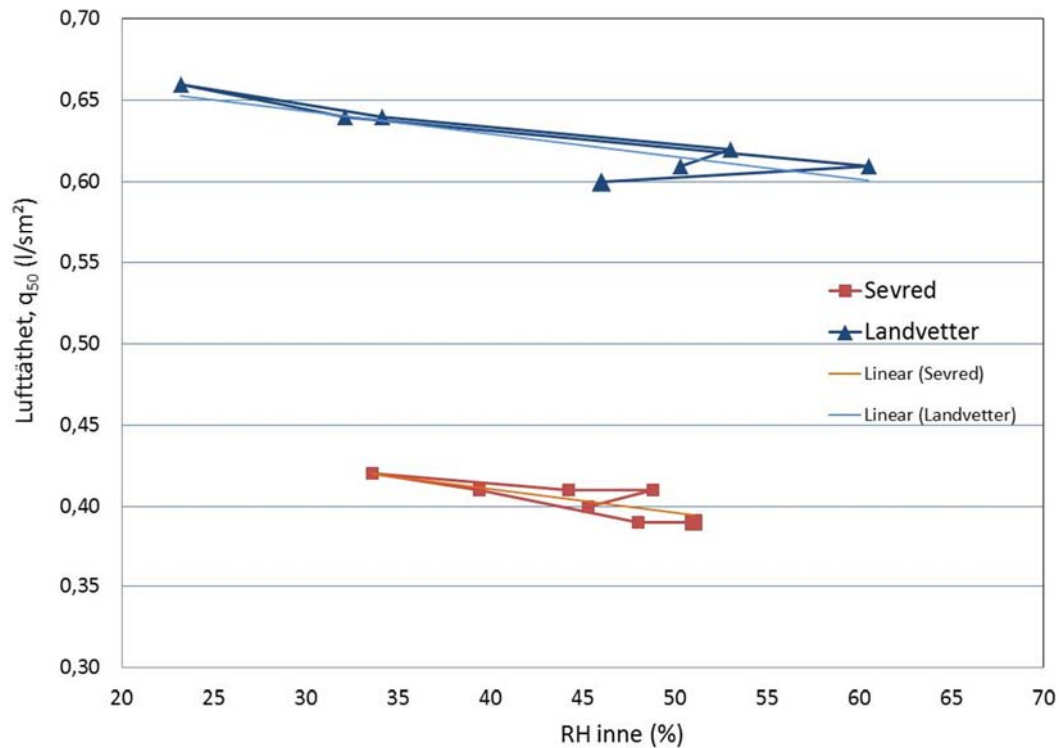


Figur 30. Lufttätheten som funktion av tiden i betonghuset i Ytterby (observera skala).

### 5.1. ANALYS AV PÅVERKAN AV RELATIV FUKTIGHET

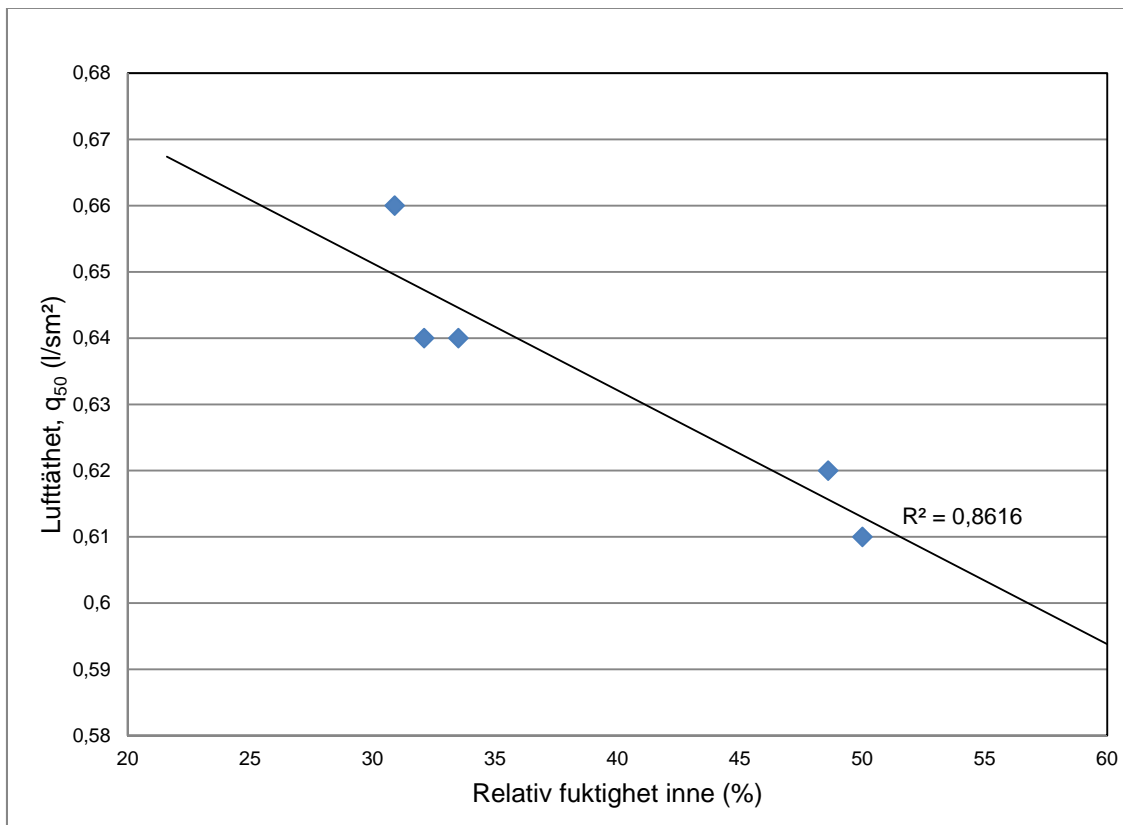
I trähusen finns det en korrelation mellan relativ fuktighet inom hus och byggnadens lufttäthet (Wahlgren, 2014). Detta visas i figur 31 där de relativa fuktigheterna är uppmätta med instrument av märket Vaisala vid mättillfället.



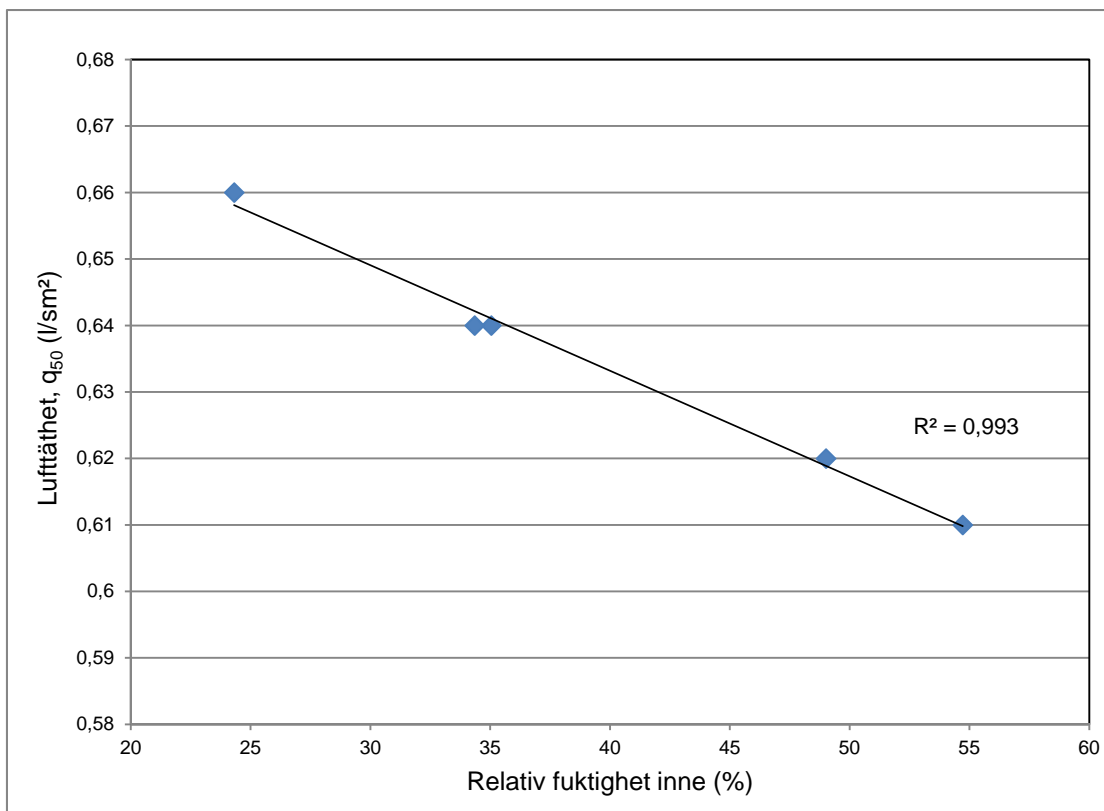


Figur 31. Lufttätheten som funktion av relativ fuktighet i trähuset (baserat på värden som mätts med Testo vid mättillfället).

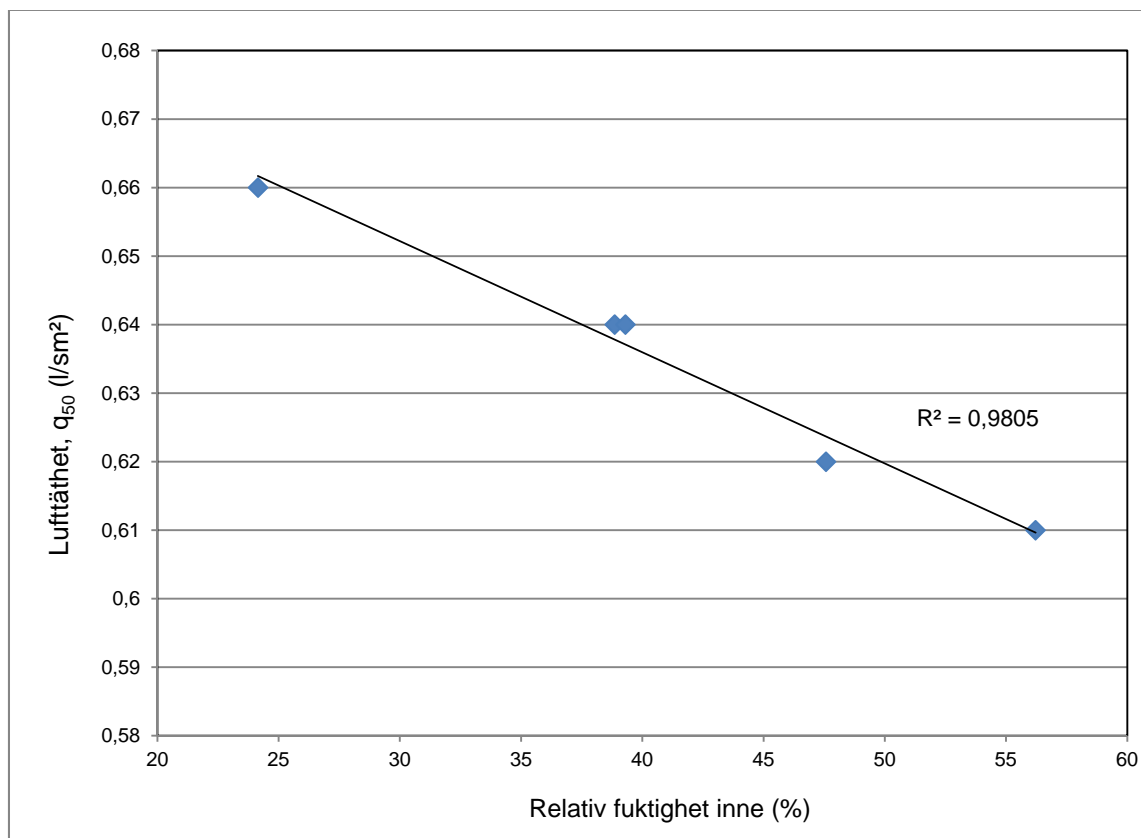
Som tidigare nämnts så krävs det en viss tid för konstruktionen att reagera på den relativa fuktigheten. Som illustration presenteras fyra diagram för objekt 1, Landvetter, där den relativa fuktigheten inomhus är momentana värden från loggen (figur 32), dygnssmedel (figur 33) samt veckomedel (figur 34).



Figur 32. Lufttätet som funktion av momentana värden för relativ fuktighet i luften inne, objekt 1.



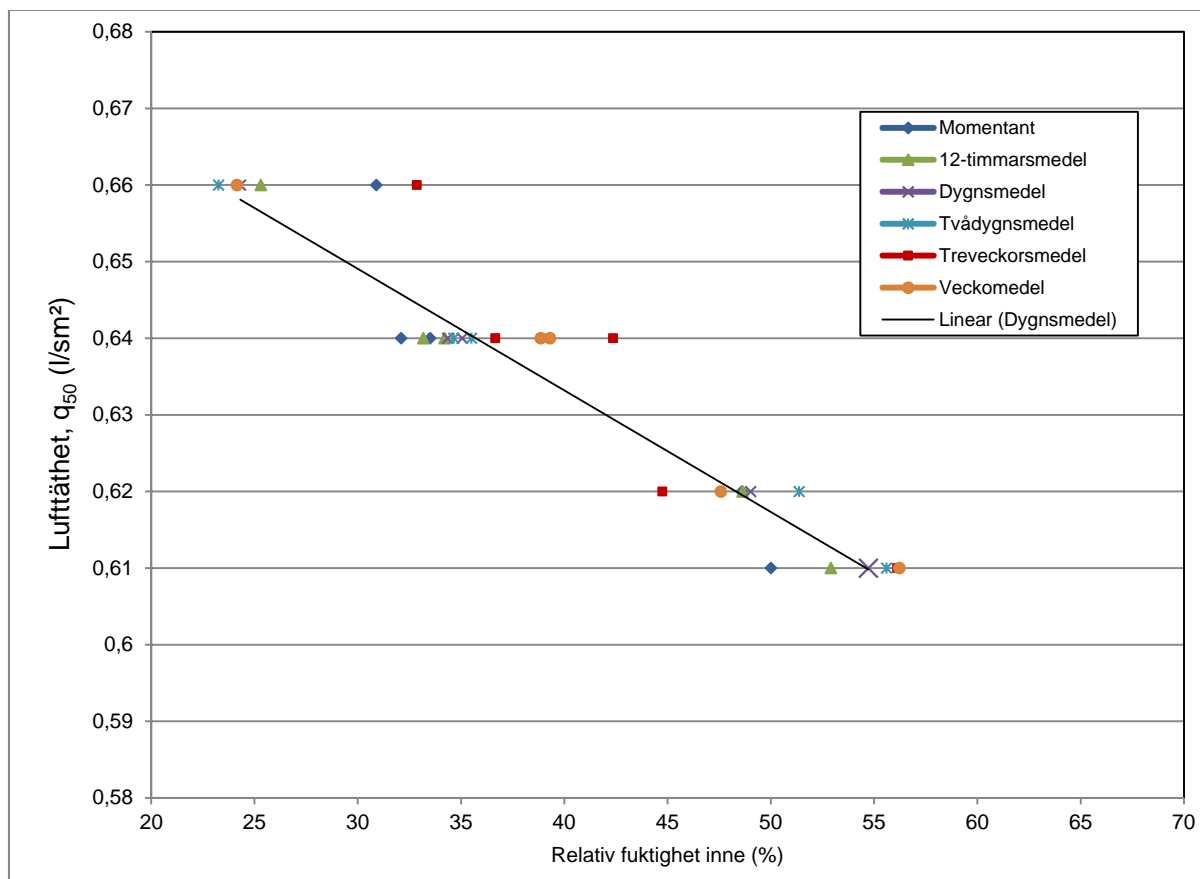
Figur 33. Lufttätet som funktion av dygnsmedel för relativ fuktighet i luften inne, objekt 1.



Figur 34. Lufttätthet som funktion av veckosmedel för relativ fuktighet i luften inne, objekt 1.

Figureerna visar att den tidsperiod (av de undersökta) som ger bäst överensstämmelse mellan lufttätthet och relativ fuktighet inne är dygnsmedelvärden för objekt 1, Landvetter. Detta återspeglas också vid analys med hjälp av minsta kvadratmetoden,  $R^2$ , där minst avvikelse från ett linjärt beroende ger ett värde nära 1. För objekt 1 är det bara när man använder sig av momentana värden på den relativa fuktigheten inomhus som överensstämmelsen blir något sämre ( $R^2 < 0.9$ ). I objekt 2 fås bäst överensstämmelse med relativ fuktighet inomhus för medelvärdesbildning över två och tre veckor, dvs. en längre period fungerar bättre. För utomhus relativ fuktighet i objekt 2 är det dålig korrelation mot lufttättheten. För båda objekten gäller att det är dålig korrelation mot temperaturer inne och ute oavsett vilka medelvärden som används. Resultaten från minsta kvadratmetoden för olika medelvärdesbildningar av relativ fuktighet inomhus för objekt 1, Landvetter, finns i bilaga F.

I figur 35 visas hur medelvärdena ändras beroende på vilket medelvärde som används för objekt 1, Landvetter. Här kan man se att det i vissa fall varit fuktigare en tid innan mätning och att det i vissa fall varit torrare. Detta är naturligt men värt att notera är att man inte kan särskilja olika årstider. Det är alltså inte så att det varit torrare inne före vår- och sommarmätningar eller fuktigare inne före höst- och vintermätningar.



Figur 35. Lufttätthet som funktion av olika medelvärden för den relativa fuktigheten i luften inne innan lufttätthetsmätning, objekt 1 Landvetter

Betongbyggnadens lufttätthet har försämrats med 6 % under det knappa året som mätningarna pågått. Om möjlighet ges kommer byggnadens täthet att mätas ytterligare en gång, under sommarhalvåret, för att undersöka om försämringen går tillbaka något eller om täthetslösningarna har dålig beständighet. Som tidigare nämnts så observerades att fogarna vid insida fönsterfoder har börjat spricka upp. Det finns ingen korrelation med relativ fuktighet inne såsom i de andra objekten.

## 6. DISKUSSION

Projektet har visat att lufttäteten varierar över året för vissa objekt. Det är däremot svårt att säga specifikt vad som är orsaken. Enligt ritningar på konstruktionsdetaljer för objekt 1 och 2 (trähusen) borde klämning och överlappning vara den metod som har tillämpats för luft- och ångtäteten. Detta har tyvärr inte kunnat verifieras eftersom det då krävs förstörande provning. Verkligt utförda lufttätetslösningar kan följaktligen avvika mot vad som beskrivs på ritningar eftersom utförandet beror på vilka detaljlösningar som var aktuella vid tidpunkten för uppförandet av huset, på det praktiska arbetsutförandet hos byggnadsarbetarna och byggplatsledningens intresse för och prioritering av lufttätetsfrågorna mm.

En trolig orsak till varför lufttättheten varierar med årstiden i objekt 1 och 2 (trähusen) är att det finns relativt "ytliga" luftläckage (nära insidan) som ändras med rådande relativ fuktighet i luften inom- och utomhus. Enligt utförda analyser i rapporten stämmer relativa fuktigheten inomhus bäst överens med uppmätt värde på lufttättheten. Ett exempel på rörelser som orsakar otätheter kan vara att en träregel, balk eller skivmaterial i konstruktionen nära varma sidan sväller eller krymper mot plastfolien beroende på hur den relativa fuktigheten inomhus är. Om materialet som krymper har som funktion att klämma plastfolien, kan detta innebära att det skapas ett luftläckage. Det kan också vara så att själva skivan är det lufttäta skiktet (ibland tillsammans med ytbehandling), vilket gör att det skapas otätheter även i detta fall när skivan krymper. Det går dock inte att utesluta andra orsaker till att en årsvariation på lufttättheten har uppmätts innan detaljerad undersökning av konstruktionsdetaljer utförs. I den aktuella studien var den relativa fuktigheten inomhus den parameter i omgivningen som starkast påverkade lufttättheten i de studerade husen. Det kan också finnas fall där vissa konstruktionsdelar, såsom stålbalkar, ändrar dimension med temperatur, vilket skulle kunna orsaka otätheter.

Läckagesökningen (bilaga E) visar på hur läckagen är fördelade i byggnaderna. För objekt 1 noterades några av de större läckagen ovan fönster i burspråket i köket, infästning av carport-taket vid trappan till våning 2 och vindslucka. Vidare noterades flera luftotätheter vid golvvinkel och vid fönster mellan båge och karm. Det har inte varit möjligt att kvantifiera storleken på läckagen och därmed visa på vilket eller vilka som påverkar lufttättheten mest. Det största enskilda läckaget för objekt 2 finns vid schakt för skorsten, vilket visar sig som läckage ur mellanbjälklagets undersida i pannrum på plan 1, som nedkylning av mellanbjälklaget, läckage i golvvinkel och vid garderob i allrum på plan 2, samt nedkylning av schaktvägg på plan 2 och läckage i takvinkel i allrum och klädkammare på plan 2. Övriga typer av läckage i objekt 2 är främst läckage i fönstersmygar, vid/ur elinstallationer, takvinklar, golvvinklar, kring ventilationsdon och vid vindslucka.

För objekt 3 (betonghuset) har en kontinuerligt försämrade lufttätthet konstaterats efter 6 utförda mätningar. Efter mätning 4 syntes sprickor i den inre mjukfogen mot smygbräda och fönsterkarm, vilket skulle kunna vara en orsak till att lufttättheten har försämrats. Detta torde dock inte vara hela sanningen. En annan bidragande faktor skulle kunna vara att det uppkommer krympsprickor i gjutskarven mellan cellplastblocken för våningsplanen eftersom uttorkning av betongen torde ske över relativt lång tid, uppskattningsvis något eller flera år. Vid undersökningarna har luftläckage noterats vid golvvinklar där golvsockeln inte sluter tät mot skivmaterialet, men det har varit svårt att undersöka/mäta huruvida just dessa otätheter har ökat med tiden. Gjutskarven som eventuellt uppstår här är inte heller synlig när hålrummet i cellplastblocken fylls med betong. Ifall detta är en orsak till försämrade lufttätthet kan lösningen vara enkel och bestå i att lägga en lufttätning mot cellplasten bakom golvsocklarna. Det genomgående rörschaktet i badrummet utgör ett stort internläckage inom byggnaden. Det är dock svårt att bedöma ifall detta har orsakat den

försämrade lufttäteten. Schakten är igengjutna mellan våningsplanen dvs. noterade luftläckage sker sannolikt till största delen i rören som ledningar är dragna i (ej tätade). Det är önskvärt att följa upp objekt 3 för att se om lufttäteten fortsätter att försämrats, stannar av eller går tillbaka mot ursprungligt uppmätt värde. Sammanfattningsvis för objekt 3 gäller att de större läckagen som noterats är; anslutning mellan fönsterkarm och fönsterbåge, golvvinkel (kan vara anslutningen i mellanbjälklag i yttervägg och internläckage inom byggnaden) samt rörschakt i badrummet (internläckage inom byggnaden). Vidare noterades flera lufttäteter vid golvvinkel och vid fönster mellan båge och karm.

I de tre aktuella objekten är det ju bara ett begränsat antal konstruktionsdetaljer som har studerats. Generellt sett är vår erfarenhet att otäta byggnader har fler utbredda otätheter och fler punktläckage. En byggnad med uppmätt lufttätet på t.ex. 0,6 l/sm<sup>2</sup> har relativt utbredda lufttäteter i anslutningsdetaljer, såsom golv- och takvinklar, fönster och dörrar mm. Om en byggnad däremot har en uppmätt lufttätet på 0,2 l/sm<sup>2</sup> (mycket tätt hus) är det generellt mindre utbredda otätheter och lokala punktläckage. När det gäller enskilda luftläckage är det, enligt vår erfarenhet, dörrpartier av aluminium, eller motsvarande, som ofta ger stora luftläckage. Dörrpartierna läcker mycket luft oavsett lätt eller tung stomme. Däremot är byggnader med tung stomme många gånger är lättare att få lufttäta än byggnader med lätt trästomme. Det behöver dock inte vara så. En avgörande faktor är hur noga anslutningar och detaljer lufttätas i huset, vilket beror på tillgänglig kunskap, tid, hantverk osv. för det aktuella byggprojektet. Ett hus med trästomme kan mycket väl bli lika lufttät som ett hus med betongstomme (och även tätare).

För att få en god och beständig lufttätet måste rätt produkter och lösningar användas. I en rapport från SP, Ylmén m.fl. (2012), konstaterades bl.a. att vissa byggprodukter är sämre än andra avseende åldersbeständighet och att vissa produkter inte var särskilt kompatibla med varandra. Ett exempel är olika dimensionsstabiliteter hos skarvningstejper och folieprodukter efter accelererande åldringsprovning. Detta medförde lufttäteter genom kanaler som bildats där tejp och folie har dragit ihop sig olika mycket. Huruvida detta påverkar årsvariationen av lufttäteten över klimatskärmen är osäkert. Detta är något som kan behöva studeras ytterligare i ett annat projekt.



Figur 36. Exempel på hur folie och tejp har dragit ihop sig olika efter åldersprovning pga. olika dimensionsstabilitet.

Vad blir då konsekvenserna av dessa läckage och variationer? När det gäller energi påverkar naturligtvis lufttäteten en byggnads energianvändning. Ifall läckagen varierar med en storleksordning som i de aktuella trähusen ger detta en liten påverkan på **energianvändningen** i de flesta fall. Det kan dock finnas fall där man har väldigt höga krav på energianvändning och där variationerna är av stort intresse, särskilt som trähusen läcker mer under vintern. Vid reovering av äldre hus vill man ofta få minskad energianvändning och ökad termisk komfort utan att riskera fuktproblem. För att säkerställa detta tryckprovar man ofta byggnaden och genomför en läckagesökning. I detta projekt har vi visat att storleken på de enskilda läckagen har varierat stort över året. Även om det varit svårt att dra generella slutsatser av vad som händer i konstruktionen med utgångspunkt i luftläckagemätningarna så kan man se att läckagen varierar mycket. Som exempel kan nämnas ett läckage kring vindsluckan i objekt 1 (Landvetter). Vid anslutningen mellan karm och vindslucka uppmättes i januari en lufthastighet på 6.2 m/s (vid 50 Pa undertryck i huset). I samma läge uppmättes i augusti en lufthastighet på 2.4 m/s. Det kan alltså vara alltså stora skillnader i enskilda läckage vid olika tidpunkter på året.

Vid reovering är det väsentligt att stora läckage upptäcks så att lufttätande åtgärder kan genomföras som del av reoveringen. Även vid nyproduktion är det viktigt att stora läckage inte uppkommer. En vindslucka med stort läckage kan ge orsak till omfattande **fuktskador** på en kallvind. Ifall det finns luftläckage upp till vinden innebär detta att fuktig inomhusluft kan läcka upp på kallvinden. När denna fuktiga luft når det kalla utrymmet, främst insidan yttertak, finns det risk för hög fuktighet i trä (eller kondens) och så småningom mögelpåväxt. En tidigare kartläggning av småhus i Västra Götalands län har visat att minst 60 % av alla traditionella kallvindar kan antas ha riklig förekomst av mögelsvamp, se figur 37. Problemen ökar i och med att vindsbjälklagen blir mer isolerade (kallare vindutrymmen) och det blir därmed ännu viktigare att vindsbjälklagen är lufttäta. Studier har också visat att det kommer att finnas allt högre risk för mögelpåväxt i kallvindar i Sverige till följd av eventuellt kommande klimatförändringar (t.ex. varmare vintrar i Sverige), se Moussavi Nik (2012). Med tanke på detta bör man se till att ha en god säkerhetsmarginal när det gäller lufttätet. Även när det gäller energi och framtida

energikrav är det bra att vara framsynt och satsa på en bra lufttäteth eftersom det inte går att säga i nuläget hur kraven kommer att utvecklas.

Det är alltså viktigt med god lufttäteth, beständig lufttäteth men även viktigt var de enskilda läckagen finns. Om läckagen varierar med tiden så är det mer kritiskt på vissa ställen, såsom **kallvindar**. Även när det gäller **termisk komfort** får läckagen olika effekt beroende på var de finns. Ifall man befinner sig nära en otät anslutning känner man lättare av läckaget. I objekt 3 (betonghuset) var fönsteranslutningen inte beständig. Ett sådant läckage kan medföra att man höjer inomhustemperaturen, vilket i sin tur ger stor påverkan på energianvändningen. Ifall radiatoreffekten är otillräcklig leder detta däremot till att man upplever en bristande termisk komfort.



Figur 37. Exempel på fuktskadad kallvind.

En faktor som inte har undersökts i projektet är hur byggnadens ventilationssystem påverkar lufttätetherna. Olika ventilationssystem ger olika tryckbilder i byggnaden och därmed olika riktning och hastighet på luftflödena genom klimatskalet. Luftflödena, i sin tur, påverkar byggnaden och kan vara både uppfuktande och uttorkande. En byggnad med naturlig ventilation skulle kunna ha en nedre del av byggnaden som torkas ut och en övre del av byggnaden där klimatskalet uppfuktas.

Förutom de rent fysiska konsekvenserna av otäteter i byggnader är det viktigt att byggnader uppfyller eventuellt uppställda **lufttätethskrav**. Byggherren/beställaren är den eller de som ställer krav på hur lufttät en byggnad skall bli. I Sverige har vi i nuläget inget specificerat lufttätethstal som krav för en byggnads lufttäteth. Detta har istället i BBR ersatts med funktionskrav på t.ex. fukt, energianvändning eller termisk komfort mm. där lufttätethen blir en del av dessa funktionskrav. Generellt gäller att ju lufttätare en byggnad är



desto bättre funktion i flera avseenden, såsom energianvändning och termisk komfort. I vissa fall finns dock krav på lufttätethet, exempelvis för passivhus eller miljöcertifiering (t.ex. Svanen). Det finns också kommuner som ställer krav vid marktilldelning. Ett exempel är Göteborgs stad som ställer krav på att lufttäthetsprovning skall utföras men har dock inget krav på att en specifik nivå skall uppnås. P-märkning av hus är ett exempel på när byggherre/beställare specificerar ett lufttäthetskrav. Lägsta kravet är här satt till 0,3 l/sm<sup>2</sup>. Men flera byggherrar/beställare sätter även hårdare krav som 0,25 l/sm<sup>2</sup> eller 0,2 l/sm<sup>2</sup>.

Förhoppningen är att arbetet med lufttäthetens variation över året kan fortsätta med ytterligare undersökningar. För trähusen är det intressant att undersöka vad variationerna i lufttätheten beror på. Detta görs lämpligen både med ritningsgranskning, beräkningar och undersökningar i labmiljö och i fält. För det nya betonghuset är det framför allt intressant att följa upp fogarnas beständighet och hur dessa ändras över tiden. Det är också av intresse att utveckla hur lufttätheten kan variera för andra sorters hus, samt vad konsekvenserna av variationerna är.

## 7. SLUTSATSER

Syftet med studien är att ta reda på ifall lufttätheten hos byggnader varierar över året. Mätningar av tre byggnader, två trähusvillor och ett betonghus, har visat att lufttätheten i trähusen varierar på ett årstidsbundet sätt året medan läckaget hos betonghuset uppvisar en kontinuerligt stigande tendens (dvs läckagen har ökat under året). Trähusen har varit som mest otäta under den kalla delen av året och som tätast på sommaren. Tätheten har visat sig proportionerlig mot den relativa fuktigheten i inomhusluften, dvs hög relativ fuktighet i inomhusluften ger tätare hus. Korrelationen mot relativ fuktighet i utomhusluften, utetemperatur och innetemperatur är svagare. Numeriska beräkningar har visat att klimatets påverkan på själva mätningen (utomhustemperatur, relativ fuktighet utomhus, vindpåverkan) är liten så länge som mätningarna utförs enligt standard (EN 13829:2000).



## 8. REFERENSER

- Alev U., Uus A., Teder M., Mijan M-J., Kalamees T, 2014, Air leakage and hygrothermal performance of an internally insulated log house, *Proceedings of the 10th Nordic symposium on Building Physics, NSB 2014*, Lund
- Bankvall C., 2012, *Luftboken- luftrörelser och täthet i byggnader*, Studentlitteratur 2012, ISBN 978-91-44-08500-5
- Borsboom, W. and de Gids, W, 2012, Seasonal variation of facade airtightness: field observations and potential impact in NZEB, *AIVC-TightVent International workshop, Bryssel, Belgium*
- Carrie F.R., Leprince V, 2014, Model error due to steady wind in building pressurization tests, *Proceedings of the 35<sup>th</sup> AIVC conference*, Poznan, Poland
- Dickinson J.B, Feustel H.E. 1986. Seasonal variations in effective leakage area, *Thermal performance of the exterior envelopes of buildings III*, Atlanta, ASHRAE, 144-160.
- Bracke W, Laverge J, Van Den Bossche N, Janssens A, 2014, Durability and measurement uncertainty of airtightness in extreme airtight dwellings, *AIVC-TightVent International Workshop: Quality of Methods for Measuring Ventilation and Air Infiltration in Buildings*, Brussels, Belgium 18-19 March 2014
- Hagentoft C-E., 2001, *Introduction to Building Physics*, Studentlitteratur 2001, ISBN 91-44-01896-7
- Hasegawa K., Yoshino H. et al., 1992, Investigation of Indoor Environment of R-2000 Experimental House- Air-tightness, *Indoor Thermal Environment and Energy Consumption*, Report for the annual meeting of Architectural Institute of Japan (in Japanese)
- Kim A.K., Shaw C.Y., 1986, Seasonal Variation in Airtightness of Two Detached Houses, Measured Air Leakage of Buildings, *ASTM STP 904*, 1986
- Lindh A., Lindskoug N-E., Nylund P. O., 1979, Byggnaders lufttäthet, *Rapport R38:1979*, Statens råd för byggnadsforskning, ISBN 91-540-3000-5
- Mattsson B., 2007, Studies on Building Air Leakage, doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola, ISSN 0346-718X
- Moussavi Nik, 2012, Hygrothermal simulations of buildings concerning uncertainties of the future climate, doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola, ISSN 0346-718X
- Persily A., 1982, Repeatability and accuracy of pressurization testing, *Proceedings of the Second Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelope of Buildings*, ASHRAE/DOE

Sandberg P-I., Sikander E., Wahlgren P., Larsson B., 2007a, Lufttätetsfrågorna i byggprocessen- Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler, *SP Rapport 2007:23*, SP Sveriges tekniska forskningsinstitut

Sandberg P-I., Wahlgren P., Bankvall C., Larsson B., Sikander E., 2007b, The effect and cost impact of poor airtightness- Information for developers and clients, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> Conference on the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings*. Clearwater Beach, Florida

Sandberg P-I., Sikander E., 2004, Lufttätetsfrågorna i byggprocessen- Etapp A- Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning, *SP Rapport 2004:22*, SP Sveriges tekniska forskningsinstitut

Skogstad, H B., Gullbrekken L., Nore K., 2011, Air leakages through cross laminated timber (CLT) constructions, *Proceedings of the 9th Nordic symposium on Building Physics, NSB 2011*, Tampere, Finland

Yoshino, H., 2012, System for ensuring reliable airtightness level in Japan. *Proceedings of the AIVC-TightVent International workshop*, Bryssel, Belgium

FEBY kravspecifikation, 2012, LTH rapport EBD-R-12/36, IVL rapport nr B 2027, ATON rapport 1201, [www.nollhus.se](http://www.nollhus.se) (laddad 2012-01-15)

Ylmén P., Hansén M., Romild J., 2012, Beständighet hos lufttätetslösningar, *Rapport 2012:57*, Energiteknik SP

EN 13829:2000, 2000, Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified)

# BILAGOR

Bilaga A. Luftflödesberäkningar

Bilaga B. Nolltryck och påverkan

Bilaga C. Detaljer

Bilaga D. Momentana klimatmätningar

Bilaga E. Läckagesökningar med lufthastighetsmätningar samt termogram

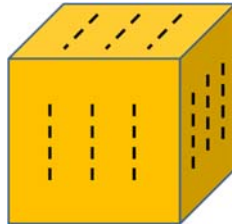
Bilaga F. Minsta kvadratmetoden för medelvärdesbildningar vid beräkning av relativ fuktighet inomhus



## Bilaga A

### LUFTFLÖDESBERÄKNINGAR

Beräkningar har här utförts på en kub, som representerar en byggnad, med otätheter på alla sidor utom golvet, se figur. Strecken representerar springor i konstruktionen och otätheten hos lådan svarar mot en lufttäthet på ca. 0.8 l/sm<sup>2</sup>.



Simulerad låda med jämnt fördelade otätheter.

I en verklig byggnad finns det många olika sorters otätheter (springor/spalter/hål) med olika geometri och strävhet och luften kan också passera genom porösa material. Dessa har dock förenklats i beskrivningarna till ett antal otätheter i form av spalter. Då kan luftströmningen beskrivas som summan av luftströmningen genom dessa spalter,  $R_a$  (m<sup>3</sup>/s), vid en viss tryckskillnad,  $\Delta P$  (Pa). För en spalt blir luftströmningen

$$R_a = \frac{\Delta P}{S_g}$$

Luftflödet är en funktion av spaltens luftmotstånd,  $S_g$  (Pa·s/m<sup>3</sup>), enligt

$$S_g = \frac{12\mu \cdot L}{b^2 \cdot A}$$

Längden på spalten betecknas  $L$  (m),  $\mu$  (Ns/m<sup>2</sup>) är den dynamiska viskositeten,  $b$  (m) är höjden på spalten och  $A$  (m<sup>2</sup>) är arean där luften flödar in (eller ut). Även in-och utströmningsförluster till spalten,  $S_e$ , är betydelsefulla och behöver inkluderas i modellen.

Dessa är olika för olika lufthastigheter och inkluderas med hjälp av parametern  $S_e'$  (Pa/(m<sup>3</sup>/s)<sup>2</sup>) enligt

$$S_e' = \frac{1.8 \cdot \delta_a}{2 \cdot A^2}$$

där  $\delta_a$  (kg/m<sup>3</sup>) är luftens densitet (som påverkas av temperatur och av relativ fuktighet).

Det totala luftflödet genom en springa blir

$$R_a = \frac{1}{2 \cdot S_e'} (\sqrt{S_g^2 + 4 \cdot \Delta P \cdot S_e'} - S_g)$$

Vid uppskattning av påverkan av vind beräknas tryckskillnaden över klimatskalet som skapas av vinden. För att beräkna denna tryckskillnad vid olika vindhastigheter behövs byggnadens formfaktorer,  $C_p$  (-). För lovartsidan används 0.4, för läsida -0.2 och för övriga sidor -0.3. Taket har -0.6 och formfaktorn för byggnadens insida bestäms med hjälp av massbalans för byggnaden. Tryckskillnaden över en byggnadsdel pga vind beräknas enligt

$$\Delta P = (C_p - C_{pi}) \cdot \frac{v^2}{2}$$

Ovanstående ekvationer finns beskrivna i exempelvis Hagentoft (2001).



## Bilaga B

### NOLLTRYCK OCH PÅVERKAN AV VIND OCH SKORSTENSEFFEKT

Nolltryck (initial tryckskillnad, baseline) är den tryckskillnad som råder över en byggnads klimatskal när alla avsiktliga öppningar i klimatskalet (fönster och ytterdörrar, ventilationsöppningar, avlopp) stängts/tätats. Denna tryckskillnad mäts före och efter en lufttäthetsmätning, när även öppningen genom fläktutrustningen tätats.

Eftersträvansvärt är att nolltrycket är 0 Pa. Standard EN 13829 anger att nolltrycket högst får vara 5 Pa. Är det större än så utgör det en avvikelse från standarden.

Nolltrycket påverkas av termisk drivkraft (skorstensverkan) varvid nolltrycket blir större ju större temperaturskillnad som råder över klimatskalet. Härvid har det betydelse var man mäter nolltrycket, eftersom denna tryckskillnad är störst längst ner och/eller längst upp i byggnaden.

Nolltrycket påverkas även av vindpåverkan på byggnaden. Härvid ska också observeras att det även kan förekomma direkt vindpåverkan på den/de mätslangar vilka förläggs till utomhus för att mäta tryckskillnaden över klimatskalet, särskilt om dessa slangar enbart har helt oskyddade slangändar, dvs. helt saknar skydd för direkt anblåsning mot slang (någon typ av dämpare bör användas som skyddar slangänden för direkt anblåsning).

En lufttäthetsmätning kompenseras alltid för de nolltryck som mäts före och efter själva mätserien. Dvs. uppmäts t.ex. ett nolltryck som är -2Pa före och efter en mätserie vid undertryck räknas det flöde man har genom byggnadsskalet vid -52 Pa verklig tryckskillnad över klimatskalet som flödet för 50 Pa tryckskillnad, eftersom det är det flödet som krävs för att åstadkomma en tryckförändring om 50 Pa.

Anledningen till att man, trots att en mätning alltid kompenseras för nolltrycket, tillåter max 5 Pa nolltryck torde bl.a. bero på att luftläckaget genom otätheterna i klimatskalet i stort sett aldrig är en linjär funktion av tryckskillnaden (det är enbart en linjär funktion när luftläckagekurvens exponent är 1,0, dvs enbart när helt laminära flöden förekommer genom otätheterna, vilket i stort sett aldrig inträffar).

Även om nolltrycket avviker från 0 Pa kan i allmänhet god mätsäkerhet erhållas, såvida nolltrycket i sig är stabilt. Man bör om möjligt också alltid mäta lufttäthet vid både invändigt undertryck och vid invändigt övertryck.

Nolltryck som enbart beror av termisk drivkraft är normalt ett stabilt nolltryck.

Lufttäthetsmätning pågår normalt under så pass kort tid att lufttemperaturen inte hinner ändra sig nämnvärt varken utomhus eller inomhus. Om man således uppmäter samma nolltryck före och efter mätserien och detta nolltryck enbart beror på termisk drivkraft kan man förutsätta att detta nolltryck skulle ha förekommit även under tiden man utförde själva

mätserien, om man ej utfört mätserien. Därmed kan man med hjälp av nolltrycken före och efter mätserien kompensera mätserien på rätt sätt.

Problem med att kompensera mätserien för korrekt nolltryck uppstår dock när nolltrycket av någon anledning varierar. Särskilt varierande, byig vind, orsakar variationer i nolltrycket. Om det förekommer vindpåverkan kan man inte vara säker på att de nolltryck man under en kort period (oftast enbart 30 sekunder, vilken är den kortaste tillåtna tiden enligt standarden, och vilket tillämpas av vanligt förekommande mätprogramvara) mäter upp före och efter mätserie också är det nolltryck som skulle ha förekommit under tiden för mätserien, om man då hade kunnat mäta ett nolltryck. Om det blåser likvärdigt under de 30 sekunder före och efter mätserien då nolltrycket mäts kan de uppmätta nolltrycken före och efter mätserien bli i stort sett i identiska, men det är för den skull inte säkert att det har blåst på det sättet under tiden för själva mätserien, därmed finns risk att mätserien kompenseras för "fel" nolltryck och att därmed ett något felaktigt resultat erhålls. Den som utför mätningen behöver vara uppmärksam på hur vindpåverkan varit både under tiden för nolltrycksmätning och under tiden för själva mätserien, för att kunna bedöma om nolltrycken före och efter mätserien förefaller vara representativa även för den tid då själva mätserien pågick.

Om det varit varierande vindpåverkan under själva mätserien ses det ofta på att korrelationen för mätkurvan, dvs. de enskilda (sammanfattande) mätpunkternas överensstämmelse med kurvan är mindre god än normalt. Men om man mäter tillräckligt länge i varje punkt (dvs. i varje trycknivå) kan ändå korrelationen bli god, och därmed är mätserien i sig "bra". Därmed dock inte säkert att den även kompenseras för "rätt" nolltryck.

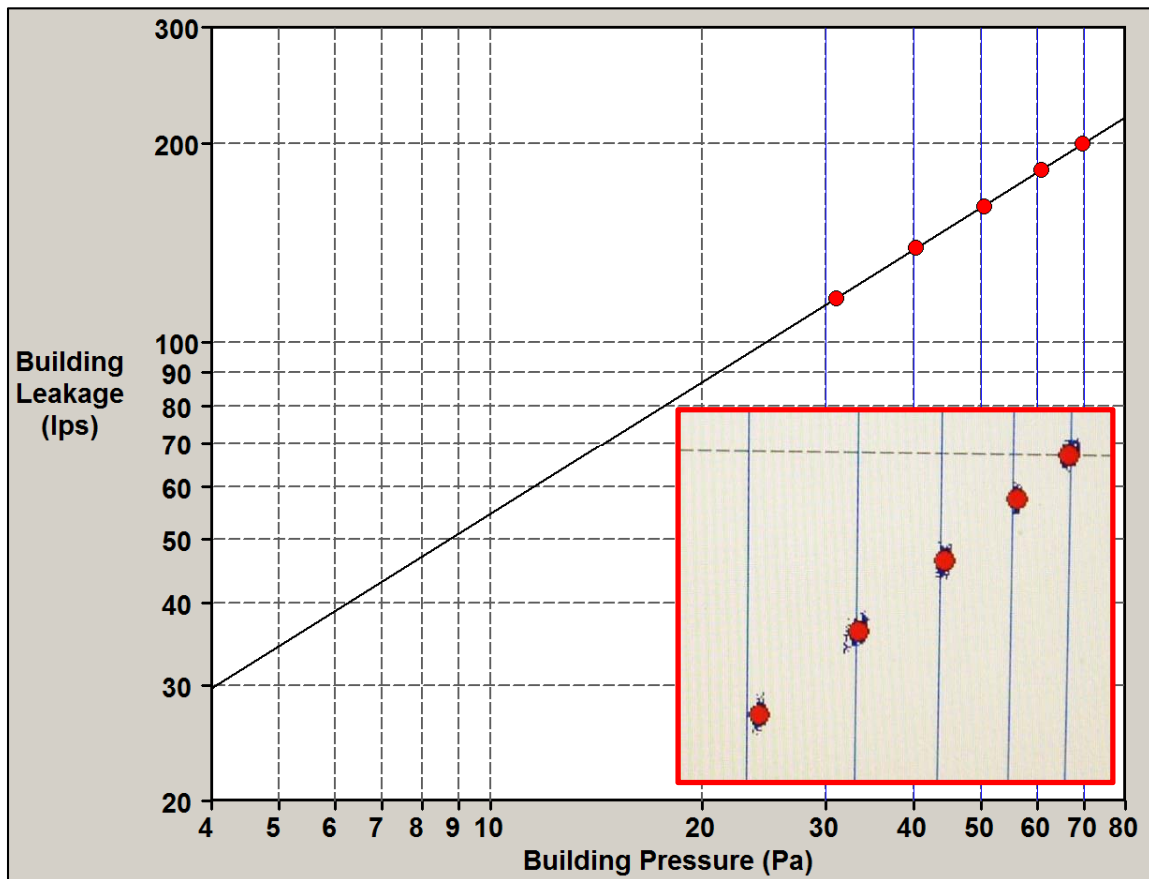
Det finns metoder att öka tillförlitligheten även vid vindpåverkan, genom att mäta både nolltryck och mätserie under längre tid, och/eller att upprepa hela mätningarna flera gånger. Men om det blåser kraftig byig vind är det svårt och osäkert att mäta. Således, om man ska utföra jämförande täthetsmätningar i samma objekt vid olika tillfällen bör mätningarna utföras vid lugna vindförhållanden för att undvika mätfel orsakade av vindpåverkan.

Nedan framgår ett par exempel på mätningar, varav exempel 1 är en mätning i objekt 2 när ingen vindpåverkan förekom på byggnaden 2013-11-20. Vi har strävat efter att utföra mätningarna i detta projekt vid så liten vindpåverkan som möjligt för att så långt som möjligt undvika osäkerhet pga. vindpåverkan, eftersom sådan osäkerhet lätt blir dominerande. Exempel 2 härrör från en helt annan mätning ej tillhörande detta projekt.

### **Exempel 1**

Av diagrammet framgår att de fem mätpunkterna (de röda punkterna) ligger väl på linjen, korelationen var enligt programvaran 0,99998. På den infällda bilden i diagrammet syns en skärmdump från programvaran vid mätningen, där de små blå punkterna kring och bakom de röda punkterna är de enskilda mätvärdena för tryck och flöde för varje trycknivå (500 mätvärden ligger till grund för varje röd punkt). Av tabell framgår att nolltrycket i detta fall

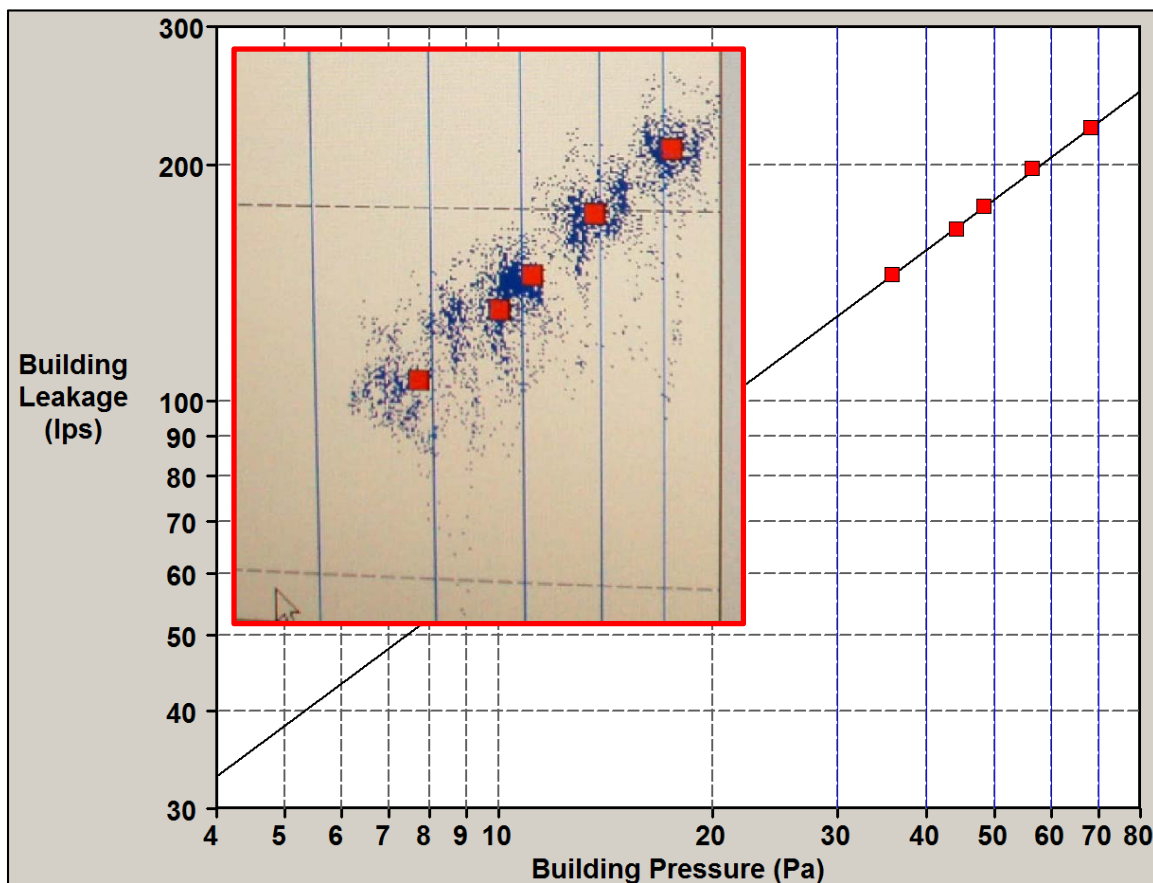
är -4,1 Pa före mätserien och -4,0 Pa efter mätserien. Ingen vindpåverkan förekom varken under mätningen av nolltryck eller under själva mätserien, varav slutsatsen att detta nolltryck enbart beror på termisk drivkraft (med avseende på rådande temperaturförhållanden vid mättillfället är det också rimligt att detta nolltryck kan skapas av termisk drivkraft). Eftersom nolltrycket hade samma värde före och efter mätserie och ingen vindpåverkan förekom kan vi lita på att korrektionen för nolltryck vid denna mätning blir så korrekt den kan bli.



Data Points: Depressurization:						
Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (lps)	Temperature Adjusted Flow (lps)	% Error	Fan Configuration	
-4.1	n/a					
-73.6	87.9	210	200	0.0	Ring B	
-64.8	73.3	192	183	0.0	Ring B	
-54.4	56.7	169	161	-0.2	Ring B	
-44.4	42.3	146	139	0.1	Ring B	
-35.1	29.7	122	117	0.0	Ring B	
-4.0	n/a					
Test 1 Baseline (Pa):		p01- = -4.1	p01+ = 0.0	p02- = -4.0	p02+ = 0.0	

## Exempel 2.

I detta fall förekom relativt kraftig byig vind och byggnaden var relativt vindutsatt. Korrelationskoefficienten för kurvan är enligt programvaran 0,99946, dvs. de röda punkterna ligger i stort sett perfekt på kurvan även i detta fall. Varje röd punkt består i detta fall av 1000 avläsningar (de blåa små punkterna). Det har tagit ungefär 2 minuter att samla mätdata till var punkt, således är det mätning under 10 minuter, samt att viss väntetid även kan ha förflutit mellan punkterna för att "vänta ut" en del extra kraftig blåst innan nästa punkt påbörjades. Mäter man under tillräckligt lång tid och har någorlunda tur kan korrelationen bli god trots kraftig blåst. Men nolltryckskorrekturen avgör också om vi får ut "korrekt" resultat av mätningen, och denna mätning utförs normalt bara under 30 sekunder före och efter mätning. I detta fall är medelvärde av nolltryck före mätserie -0,1 Pa, och medelvärde av de negativa nolltrycken är -2,7 Pa och av de positiva +2,9 Pa. Medelvärde av nolltryck efter mätserie är +6 Pa, och medelvärde av de negativa nolltrycken är -7,4 Pa och av de positiva +10,9 Pa. Nolltrycken efter mätserien uppfyller inte standardens krav. Och vi vet egentligen inte alls vilket nolltryck vi skulle haft under tiden för mätserien. Vindpåverkan orsakar stor osäkerhet i denna mätning.



Data Points: Pressurization:						
Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (lps)	Temperature Adjusted Flow (lps)	% Error	Fan Configuration	
-0.1	n/a					
71.3	96.3	219	223	-0.3	Ring B	
59.5	76.0	195	198	0.7	Ring B	
51.3	60.9	174	177	0.0	Ring B	
47.2	53.1	163	165	-0.7	Ring B	
38.8	40.7	143	145	0.2	Ring B	
6.0	n/a					
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -2.7 p01+ = 2.9 p02- = -7.4 p02+ = 10.9						

I detta fall är kurvans koefficient  $C_L = 13,0$  och exponenten  $n = 0,673$

Nedan följer enkel grov beräkning av ungefärligt fel i uppmätt flöde om det finns ett totalt fel i nolltryck (dvs. om hela mätningen är felkompenserad) på 1, 2,5, 5 respektive 10 Pa i detta exempel:

Flöde =  $C_L \times 50^n = 13,0 \times 50^{0,673} = 180,9$  l/s (181 l/s) är redovisat resultat av mätningen.

1 Pa totalt fel:  $\approx 13,0 \times 49^{0,673} = 178,4$  l/s vilket medför avvikelse  $178,4/180,9=0,986=1,4\%$

2,5 Pa totalt fel:  $\approx 13,0 \times 47,5^{0,673} = 174,7$  l/s vilket medför avvikelse  $174,7/180,9=0,966=3,4\%$

5 Pa totalt fel:  $\approx 13,0 \times 45^{0,673} = 168,5$  l/s vilket medför avvikelse  $168,5/180,9=0,931=6,9\%$

10 Pa totalt fel:  $\approx 13,0 \times 40^{0,673} = 155,6$  l/s vilket medför avvikelse  $155,6/180,9=0,86=14\%$

Detta är grov förenklad beräkning men det ger en uppfattning om betydelsen av att mäta representativa 0-tryck.

## Övrigt

Vindpåverkan påverkar inte bara tryckskillnaden över klimatskalet, den påverkar även fläktutrustningen, särskilt när fläkten är monterad så att vinden blåser an mot fläkten och särskilt vid mätning vid invändigt övertryck då fläktutrustningens egna tryckmätningsspunkter befinner sig på utsidan.

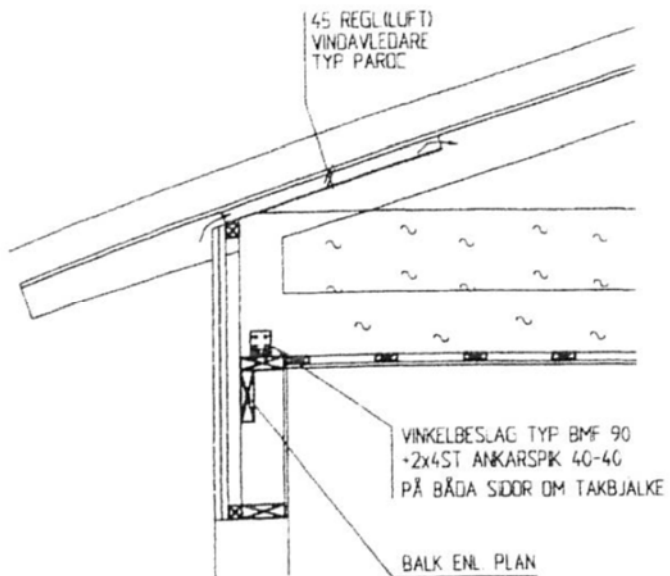
När man mäter nolltryck efter en mätserie det också viktigt att byggnaden har hunnit tryckutjämnas. Om det är en otät byggnad går tryckutjämnningen i stort sett momentant, men om det är en mycket tät byggnad kan det ta lång tid innan trycket utjämnats efter att fläkten stängts av. Mäter man nolltrycket innan trycket helt utjämnats medför det också att mätserien kompenseras för fel nolltryck.



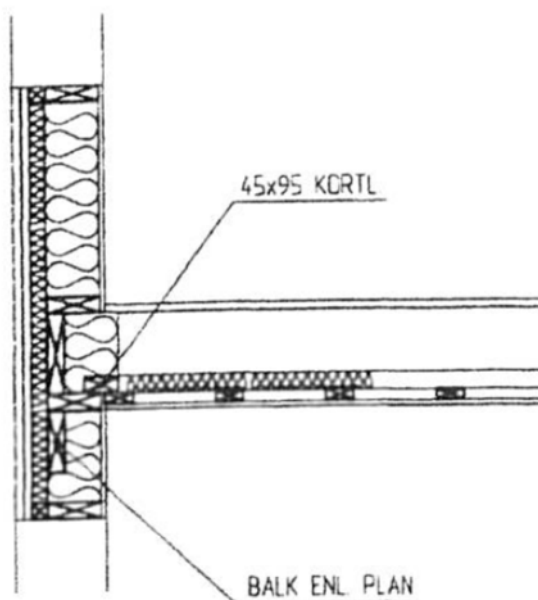
## Bilaga C

### DETALJER

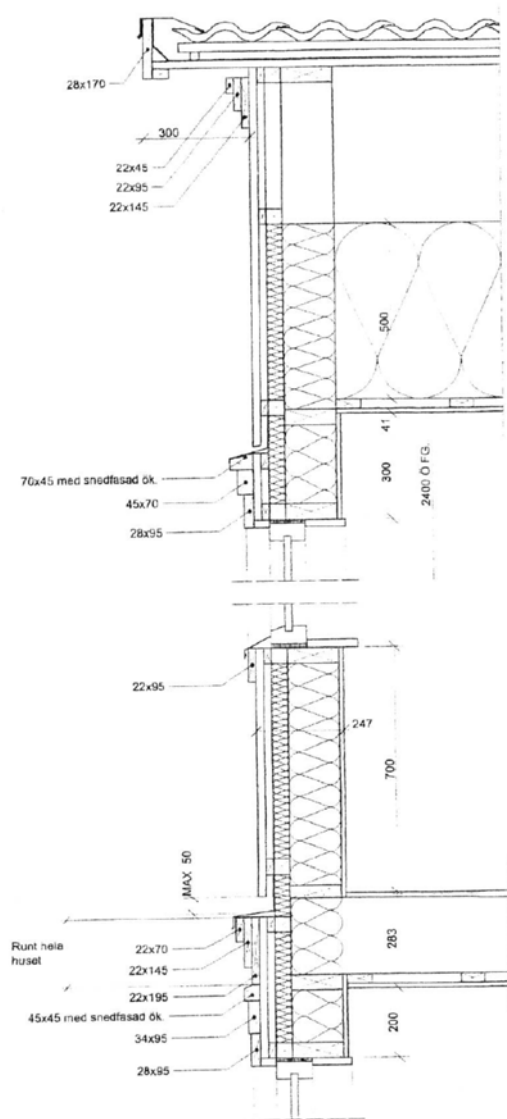
#### Konstruktionsdetaljer objekt 1, Landvetter



Takdetalj, objekt 1. Plastfolien är placerad innanför gipsskivan och möjligtvis klämd mot regel och glespanel.



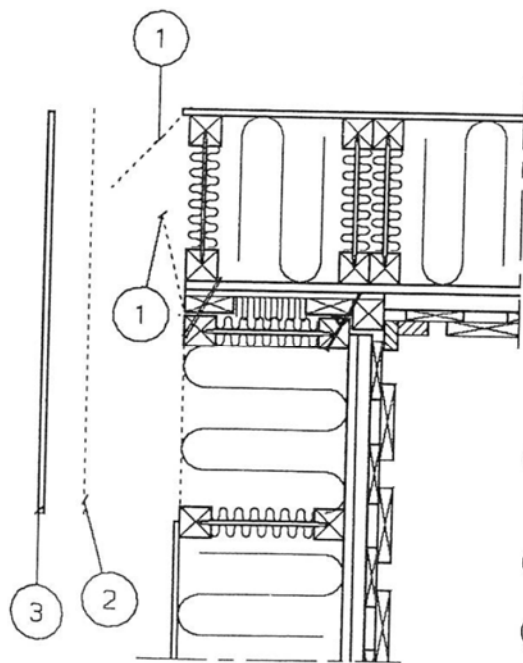
Mellanbjälklag, objekt 1. Plastfolien är placerad innanför gipsskivan och möjligtvis klämd mot regel och glespanel.



Gavel mot uteplats, objekt 1. Plastfolien är placerad direkt innanför gipsskivan.



## Konstruktionsdetaljer objekt 2, Sevred

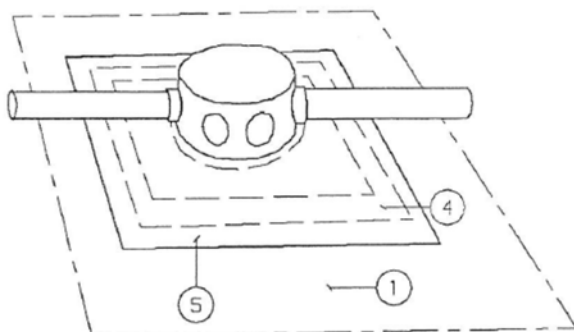


- ① PLASTFILMEN PÅ VÄGGBLOCKENS SIDA VIKES IN MOT LÄTTREGELN.
- ② MONTERA PLASTFILM ÖVER SKARVEN.
- ③ SPIKA BOARDSKIVAN INNAN EV. BÄRANDE VÄGG ELLER STOLPE MONTERAS.

Inåtgående hörn, objekt 2. Montering av plastfolie i ytterväggshörn.

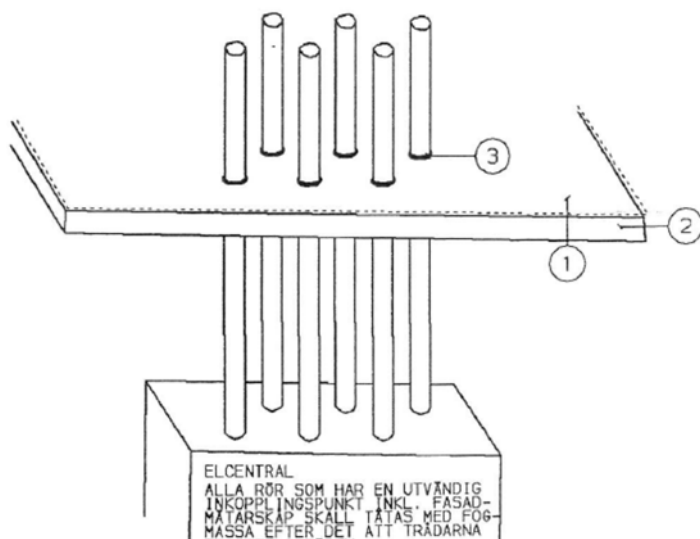
- ① PLASTFILM 0.2 MM, L101-102.
- ② INNERTAKELEMENT 0171, MONTERAS ENL. SEP. MONTERINGSANVISNING.
- ③ TÄTNINGSMASSA TYP TEROSON (TEROKAL 559 AP) I PAKET X101A.
- ④ TÄTNINGSBAND TEROSTAT 81 APPLICERAS MELLAN DIFFUSIONSSPÄRR OCH TÄTNINGSKRAGE, I PAKET X101A.
- ⑤ TÄTNINGSKRAGE SOM KRÄNGES PÅ ELDOSA I PAKET X101A.

#### TAKDOSA FÖR EL. INSTALLATION



HÅL I DOSOR SOM EJ UTNYTTJAS FÖR RÖRDRAGNING SKALL TÄTAS OMSORGSFULLT.

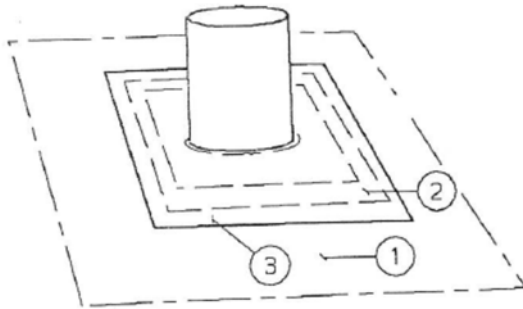
#### GENOMGÅNG AV TÄTSKIKT ÖVER ELCENTRAL



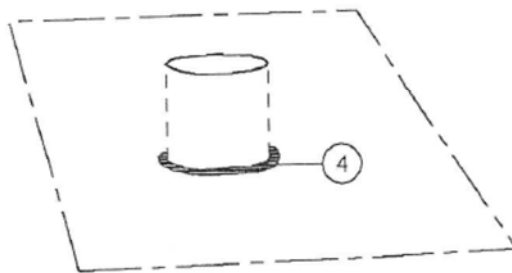
Genomföring av el, objekt 2. Tätningskrage, fogmassa mm. mot plastfolie vid elgenomföringar.

- ① PLASTFILM 0.2 MM, L101-102.
- ② TÄTNINGSBAND TEROSTAT 81 APPLICERAS MELLAN DIFFUSIONSSPÄRR OCH TÄTNINGSKRAGE, I PAKET X101A.
- ③ TÄTNINGSKRAGE SOM KRÄNGES PÅ LUFTNINGSSTAM I PAKET X101A.
- ④ VID GENOMGÅNG AV SKIVMATERIAL TÄTA MED TÄTNINGSMASSA.

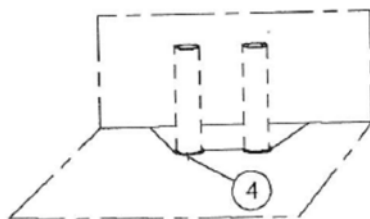
LUFTNINGSSTAM GENOM TÄTSKIKT.



AVLOPPSRÖR GENOM BOTTENBJÄLKLÄG



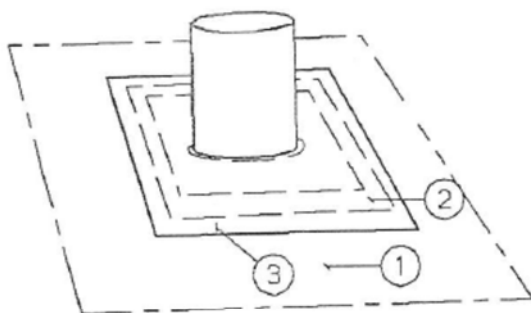
RÖR TILL RADIATOR



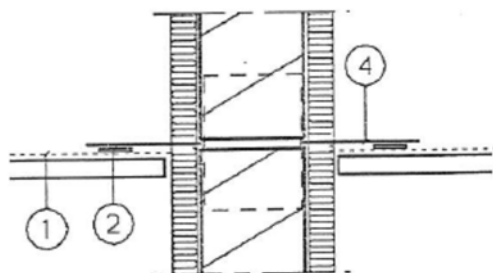
Genomföring av vatten- och avloppsrör, objekt 2. Tätningsskrage, tätningssband mm. mot plastfolie och skivmaterial vid rör genomföringar.

- ① PLASTFILM 0.2 MM, L101-102.
- ② TÄTNINGSBAND TEROSTAT 81 APPLICERAS MELLAN DIFFUSIONSSPÄRR OCH TÄTNINGSKRAGE, I PAKET X101A.
- ③ TÄTNINGSKRAGE SOM KRÄNGES PÅ VENTILATIONSKANAL I PAKET X101A.
- ④ GENOMFÖRINGSNIPPEL, R215A.
- ⑤ PLYWOODSKIVA 9x535x2398, G21A. GENOMFÖRINGSNIPPELN SKRUVAS FAST I DENNA SKIVA.

VENT. KANAL GENOM TÄTSKIKT.



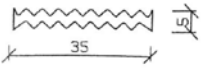
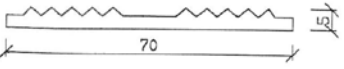
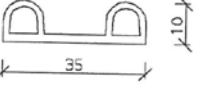
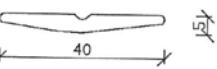
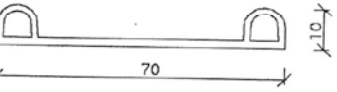
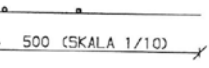

IMKANAL GENOM TÄTSKIKT.



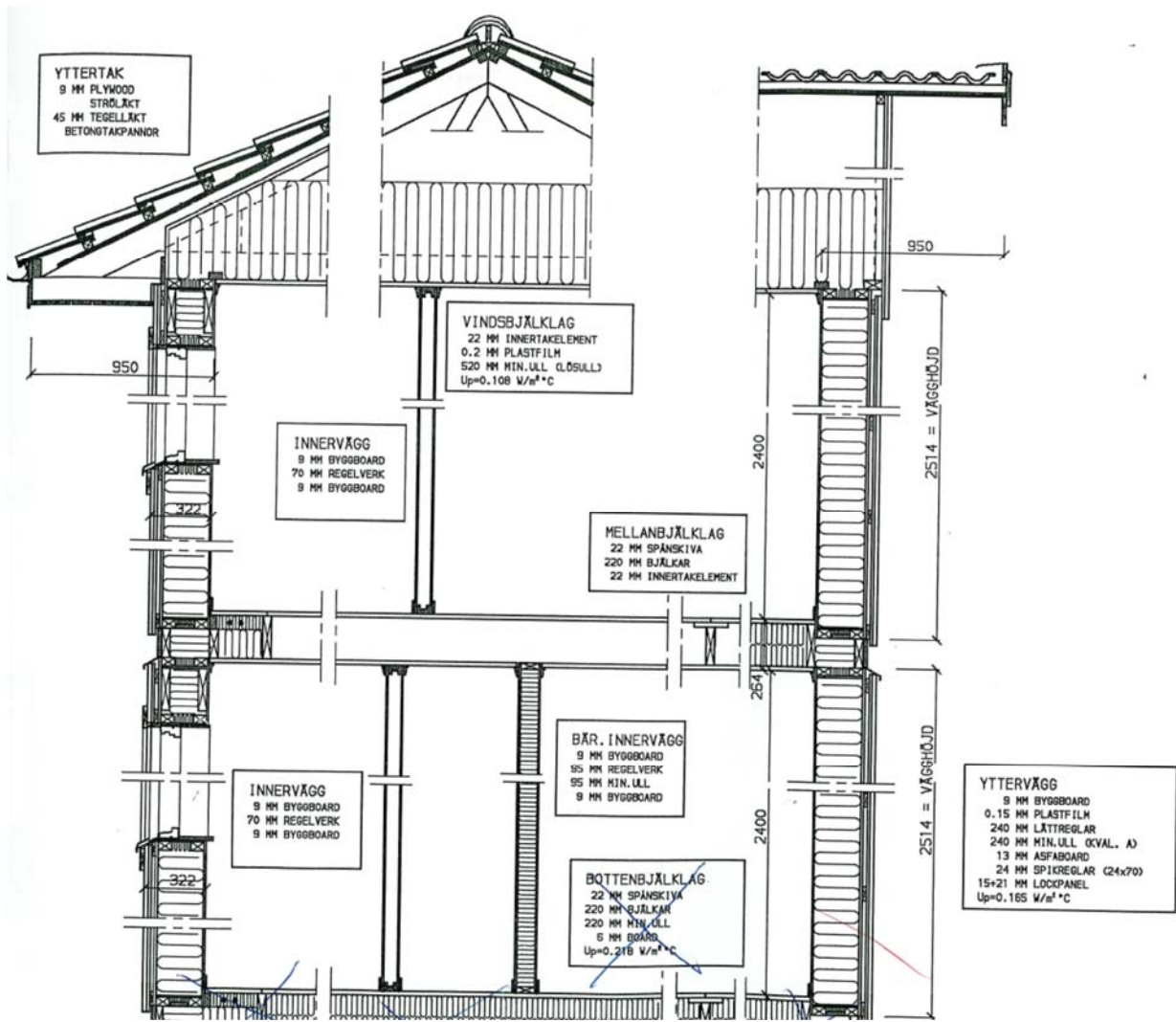
Genomföring av ventilation, objekt 2. Tätningskrage, tätningsband mm. mot plastfolie och skivmaterial vid rörgenomföringar.

# TÄTNINGSLIST

PROFILFÖRTECKNING ÖVER LISTER SOM SKALL  
APPLICERAS PÅ BYGGNADSPÅLÅTSEN.

- ① TÄTNINGSLIST MELLAN ÖVERRAM TAKSTOL  
OCH YTTERTAKLUCKA.  
LITT X61.
- 
- ② TÄTNINGSLIST UNDER NOCKREGEL.  
LITT X90A.
- 
- ③ TÄTNINGSLIST MELLAN TAKSTOL  
OCH GAVELSPETS 1/2-PLANSKUS.  
LITT X780.
- 
- ④ DREVNINGSLIST TAKLUCKA  
OCH KÄLLARFÖNSTER.  
LITT X100A.
- 
- ⑤ SYLLTÄTNING VID PLATTA PÅ MARK.  
LITT X777.
- 
- ⑥ SYLLTÄTNING STORBLOCKSVÄGG.  
LITT L1A.
- 
- ⑦ P-LIST TILL 1 1/2-PLANSKUS VID  
INSTALLATIONSSLITS OCH UNDERKANT  
BJÄLKLÄG.  
LITT X111A.
- 

Principlösningar av tätningslister, objekt 2.



Sektionsritning, objekt 2.

## Bilaga D

### MOMENTANA KLIMATMÄTNINGAR

#### Vindförhållanden, objekt 1

Datum	Vind
2013-07-03	Lätt bris
2013-09-05	Lätt bris
2013-11-25	Vindstilla
2014-01-27	Lätt bris
2014-04-17	Delvis byig vind, soligt
2014-07-01	Vindstilla
2014-08-26	Lätt bris

#### Vindförhållanden, objekt 2

Datum	Vindriktning	Vindhastighet ca 2,5m över mark, m/s
2013-07-04	Sydväst	≤ 1,5
2013-08-29	Sydväst	0,1 – 2,0 före mätning 0,2 – 3,5 efter mätning
2013-11-20	Vindstilla	-
2014-02-03	Näst intill helt vindstilla, svårt att avgöra vindriktningen	0,1 – 0,5
2014-05-15	Nordlig	0,5 – 2
2014-07-06	Sydlig	0,2 – 1,5
2014-09-11	Nordlig	0,3 – 3 före mätning 0,3 – 2 efter mätning

#### Vindförhållanden, objekt 3

Datum	Vind
2014-03-25	Relativt vindstilla
2014-05-13	Vindstilla
2014-07-02	Vindstilla
2014-08-19	Relativt blåsig!
2014-10-14	Vindstilla
2014-12-17	Vindstilla

## Momentana värden på lufttemperatur och relativ fuktighet, objekt 1

Mätt med instrument och givare från Vaisala 2013-07-03 och 2013-09-05 samt därefter med Testologger (inomhuslogger placerad ovanpå bokhylla på hall på plan 2, utomhuslogger placerad på träregel under carport-tak dvs. väderskyddat)

Datum	Utomhus			Inomhus			Fukttillskott g/m <sup>3</sup>
	°C	RF %	Ånghalt g/m <sup>2</sup>	°C	RF %	Ånghalt g/m <sup>2</sup>	
2013-07-03	18,7	54	8,7	22,8	46	9,3	0,6
2013-09-05	16,2	90,5	12,5	21,9	60,5	11,7	-0,8 !
2013-11-25	-3,9	95,7	3,5	19,5	32,1	5,4	1,9
2014-01-27	-4,9	85,2	2,9	21,5	23,2	4,4	1,5
2014-04-17	7,9	67,7	5,6	20,8	34,1	6,2	0,6
2014-07-01	16,1	77,7	10,7	22,2	53,0	10,4	-0,3 !
2014-08-26	17,1	80,1	11,7	23,8	50,3	10,8	-0,9 !

Kommentar: Inom- och utomhusvärden för relativ fuktighet är var för sig i och för sig rimliga men tillsammans är de vid andra och två senaste mätningarna orimlig pga fukttillskottet inomhus blir negativt. Vid alla mätningar utfördes mätning av relativ fuktighet före lufttäthetsmätning varför värdet är förvånande då täthetsmätningen inte har påverkat inomhusklimatet. Å andra sidan är detta momentana mätningar varför tillfälliga variationer kan förekomma.

Från och med 10 oktober 2013 loggas kontinuerligt ute-och innevärden för temperatur och RF (loggas var fjärde timma). Tyvärr förlorade vi utomhusvärden på temperatur och relativ fuktighet fram till februari 2014. Mätning av RF inne och ute 2013-11-25, 2014-01-27, 2014-04-17, 2014-07-01 samt 2014-08-26 har skett genom momentanavläsning av loggarna.

## Momentana värden på lufttemperatur och relativ fuktighet, objekt 2

Mätt med instrument och givare från Vaisala 2013-07-04 och 2013-08-29 samt därefter med Testologger (inomhuslogger placerad ovanpå bokhylla på hall på plan 2, utomhuslogger placerad på baksida vindskiva vid fasad mot norr). Testologger avser värde kl. 08.00 2013-11-20, 2014-05-15 och 2014-09-11 samt kl.12.00 2014-02-03 och kl. 16.00 2014-07-06

Datum	Utomhus			Inomhus			Fukttillskott g/m <sup>3</sup>
	°C	RF %	Ånghalt g/m <sup>2</sup>	°C	RF %	Ånghalt g/m <sup>2</sup>	
2013-07-04	21,2	68	12,6	23,5	51	10,8	-1,8 ! Negativt värde
2013-08-29	13,0	84	9,5	21,5	48	9,1	-0,4 ! Negativt värde
2013-11-20	-4,5	100	3,4	20,7	39,4	7,1	3,7 (högt värde)
2014-02-03	2,2	96,6	5,4	17,8	33,6	5,1	-0,3! Negativt värde
2014-05-15	14,6	61,2	7,7	18,8	44,2	7,1	-0,6! Negativt värde
2014-07-06	27,1	51,7	13,4	27,0	48,8	12,6	-0,8! Negativt värde
2014-09-11	7,6	99,4	8,0	23,1	45,3	9,4	1,4



Kommentar: Inom- och utomhusvärden för relativ fuktighet är var för sig i och för sig rimliga men tillsammans är de vid både första och andra mätning orimliga pga. fukttillskottet inomhus blir negativt. (så även vid fjärde, femte och sjätte mätningen). Vid första mätning gjorde vi felet att mäta relativ fuktighet efter lufttäthetsmätning vilket således med stor sannolikhet ger ett felaktigt värde pga. att vi då bytt ut stora luftmängder inomhus. Vid den andra mätningen utfördes mätning av relativ fuktighet före lufttäthetsmätning varför värdena är mer förvånande. Detta är dock enbart momentanvärden.

Från och med 10 oktober loggas kontinuerligt ute-och innevärden för temperatur och RF (loggas var fjärde timma) för senare utvärdering. Även mätvärden från logger i tabell ovan avser enbart momentanvärden, vilket ej bör fästas så stor vikt vid, momentanvärdena behöver ej vara representativa. Utvärdering av de loggade värdena över tid är mer intressant (ej utvärderat än).

Fukttillskott 3,7g/m<sup>3</sup> inomhus 2013-11-20 är ett högt fukttillskott men förklaras troligen av ett snabbt temperaturfall ute under natten, d.v.s. "jämvikt" har ej hunnit ställa in sig.

Mätning 2014-02-03 avser vinterfall. Det var visserligen plusgrader utomhus vid mätningen men perioden 2014-01-12 – 2014-02-01 har utomhustemperaturen stadigvarande legat på minussidan.

### Momentana värden på lufttemperatur och relativ fuktighet, objekt 3

Mätt med givare och instrument från Testo.

Datum	Utomhus			Inomhus			Fukttillskott g/m <sup>3</sup>
	°C	RF %	Ånghalt g/m <sup>2</sup>	°C	RF %	Ånghalt g/m <sup>2</sup>	
2014-03-25	10,5			20,1			
2014-05-13	13,1			20,5			
2014-07-02	20,9	58,4	10,6	22,6	54,2	10,8	0,2
2014-08-19	14,1	90,1	11,0	23,3	51,8	10,8	-0,2 !
2014-10-14	9,0	80,4	7,1	19,8	47,3	8,1	1,0
2014-12-17	2,0	67,6	3,8	20,5	30,5	5,4	1,6

Kommentar: Inom- och utomhusvärden för relativ fuktighet är var för sig i och för sig rimliga men för mätning 4 orimlig pga fukttillskottet inomhus blir negativt. Vid alla mätningar, förutom mätning 1 och 2, utfördes mätning av relativ fuktighet före lufttäthetsmätning varför värdet är förvånande då täthetsmätningen inte har påverkat inomhusklimatet. Å andra sidan är detta momentana mätningar varför tillfälliga variationer kan förekomma.

### Avlästa nolltryck, objekt 1

Nedan redovisas avlästa nolltryck vid marknivå, mellan inom-och utomhus, vid tätad byggnad (fyra avläsningar för varje mättillfälle, dvs. före och efter undertryckserie och före och efter övertryckserie). Nedan redovisas bara min- och maxvärde av medelvärdena, se mätfilerna för utförligare data.

Datum	Tryckskillnad Pa (medelvärden), negativt värde innebär invändigt undertryck
2013-07-03	-0,4 – +0,4
2013-09-05	-0,8 – -0,6
2013-11-25	-3,3 – -2,2
2014-01-27	-3,2 – -2,6
2014-04-17	-2,1 – +1,4
2014-07-01	-1,1 – -0,6
2014-08-26	-1,5 – +0,2

### Avlästa nolltryck, objekt 2

Nedan redovisas avlästa nolltryck vid marknivå, mellan inom-och utomhus, vid tätad byggnad (fyra avläsningar för varje mättillfälle, dvs. före och efter undertryckserie och före och efter övertryckserie). Nedan redovisas bara min- och maxvärde av medelvärdena, se mätfilerna för utförligare data.

Datum	Tryckskillnad Pa (medelvärden), negativt värde innebär invändigt undertryck
2013-07-04	-1,2 – +0,3
2013-08-29	-2,0 – -1,3
2013-11-20	-4,1 – -3,9
2014-02-03	-2,6 – -2,4
2014-05-15	-1,9 – -1,0
2014-07-06	-1,3 – -1,1
2014-09-11	-1,9 – -1,5

Vid mätning 2013-11-20 förekom ingen vindpåverkan på byggnaden, så uppmätt tryckskillnad vid detta mättillfälle torde enbart bero på termisk drivkraft. Kontrollmätning utfördes vid detta tillfälle även av tryckskillnaden över ytterdörr vid pannrum (nederkant), där uppmättes 3,5 – 4,0 Pa invändigt undertryck, samt av tryckskillnad över fönster (nederkant) i badrum på plan 2, där uppmättes ca 1 Pa invändigt undertryck. Total tryckskillnad pga. termisk drivkraft  $\approx 0,04(T_i - T_u)h \approx 0,04 \times 22,7 \times 5 = 4,5 \text{ Pa}$ . Sålunda förefaller neutrala lagret ligga nära taknivå varvid större del av otätheterna skulle finnas i taknivå. Vi vet att skorstenschaktet är otätt och utgör ett stort läckage, så det förefaller ju inte helt orimligt.

### Avlästa nolltryck, objekt 3

Nedan redovisas avlästa nolltryck vid våning tre, mellan inom-och utomhus, vid tätad byggnad (fyra avläsningar för varje mättillfälle, dvs. före och efter undertryckserie och före och efter övertryckserie). Nedan redovisas bara min- och maxvärde av medelvärdena, se mätfilerna för utförligare data.

Datum	Tryckskillnad Pa (medelvärden), negativt värde innebär invändigt undertryck
2014-03-25	-0,2 – +0,6
2014-05-13	-0,5 – -0,1
2014-07-02	-1,1 – -0,4
2014-08-19	-2,9 – -1,6
2014-10-14	-0,4 – +0,4
2014-12-17	-3,2 – -2,0

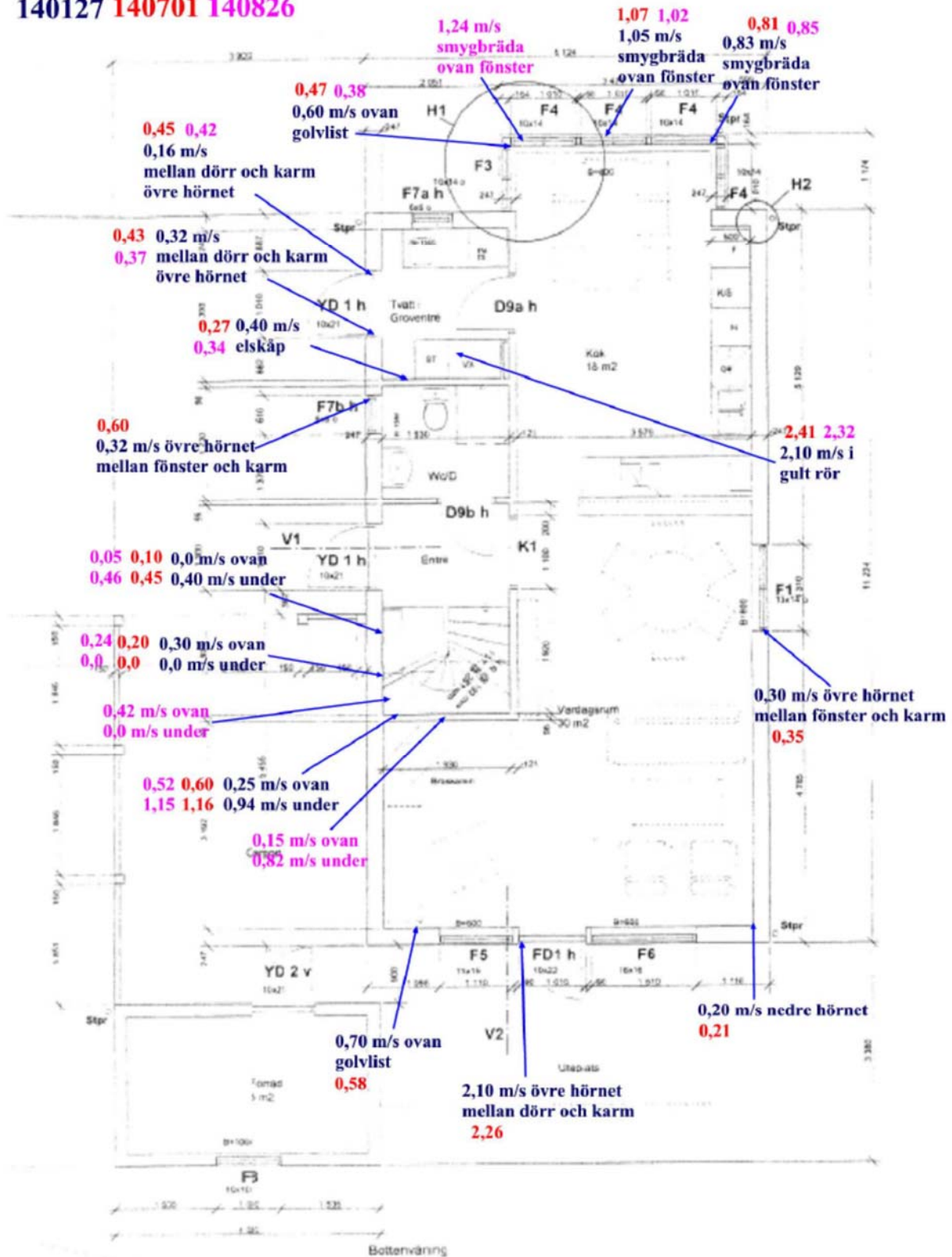
## **Bilaga E**

### LÄCKAGESÖKNINGAR MED LUFTHASTIGHETSMÄTNINGAR SAMT TERMOGRAM

För objekt 1 redovisas resultaten av luftläckagesökningar från 2014-01-27, 2014-07-01 och 2014-08-26 i form av placering av läckage och uppmätt lufthastighet på planritning. För objekt 2 redovisas resultaten av luftläckagesökningar från 2013-07-04 och 2014-02-03 i form av placering av läckage med kommentarer samt uppmätt lufthastighet på planritning, och med termogram på valda delar. För objekt 3 redovisas resultaten av luftläckagesökningar från 2014-03-25, 2014-07-02 och 2014-10-14 i form av placering av läckage och uppmätt lufthastighet på planritning.

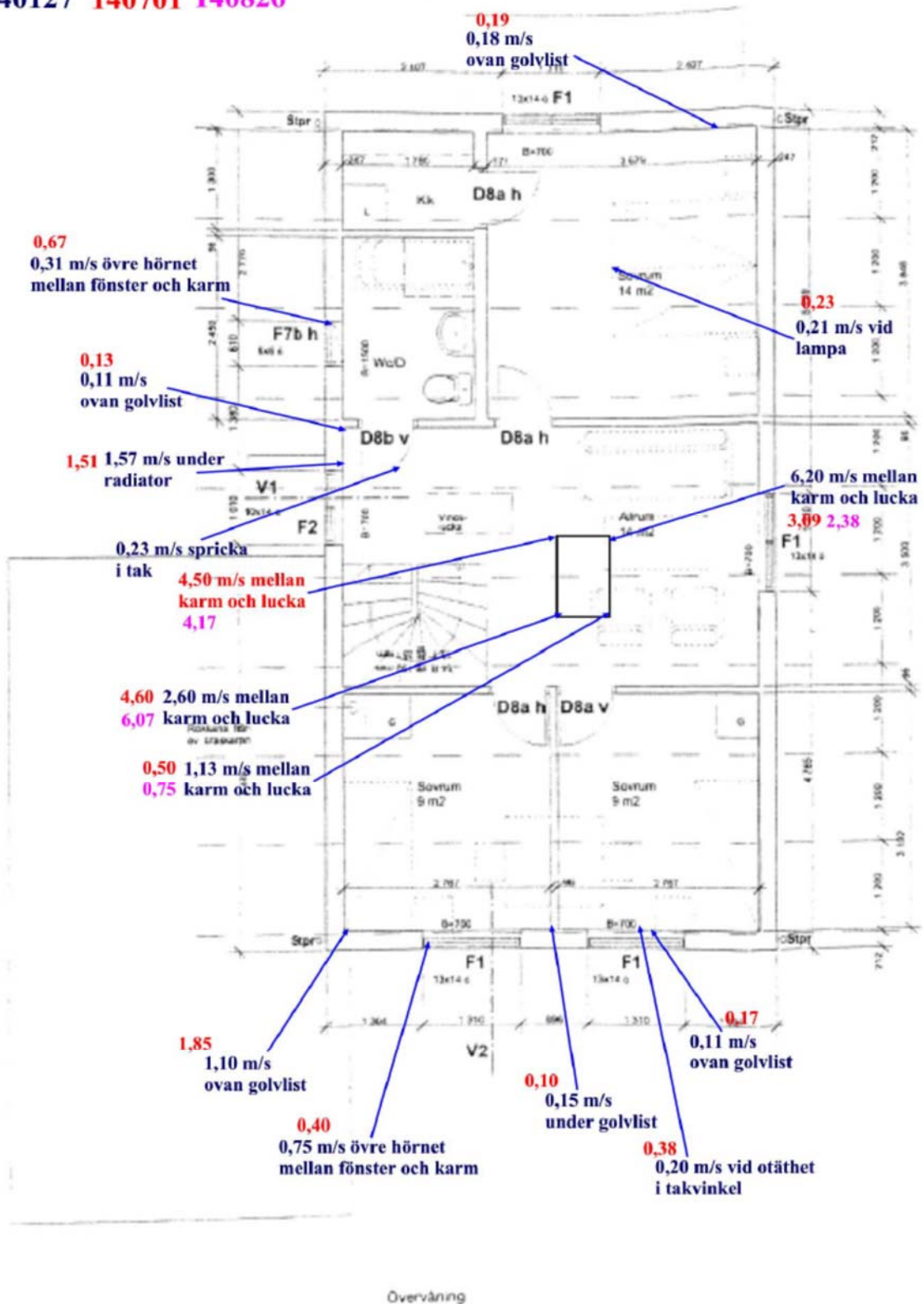
# LUFTLÄCKAGESÖKNING, OBJEKT 1

140127 140701 140826



# LUFTLÄCKAGESÖKNING, OBJEKT 1

140127 140701 140826



# LUFTLÄCKAGESÖKNING, OBJEKT 2

## Planritning med markerade luftläckage 2013-07-04

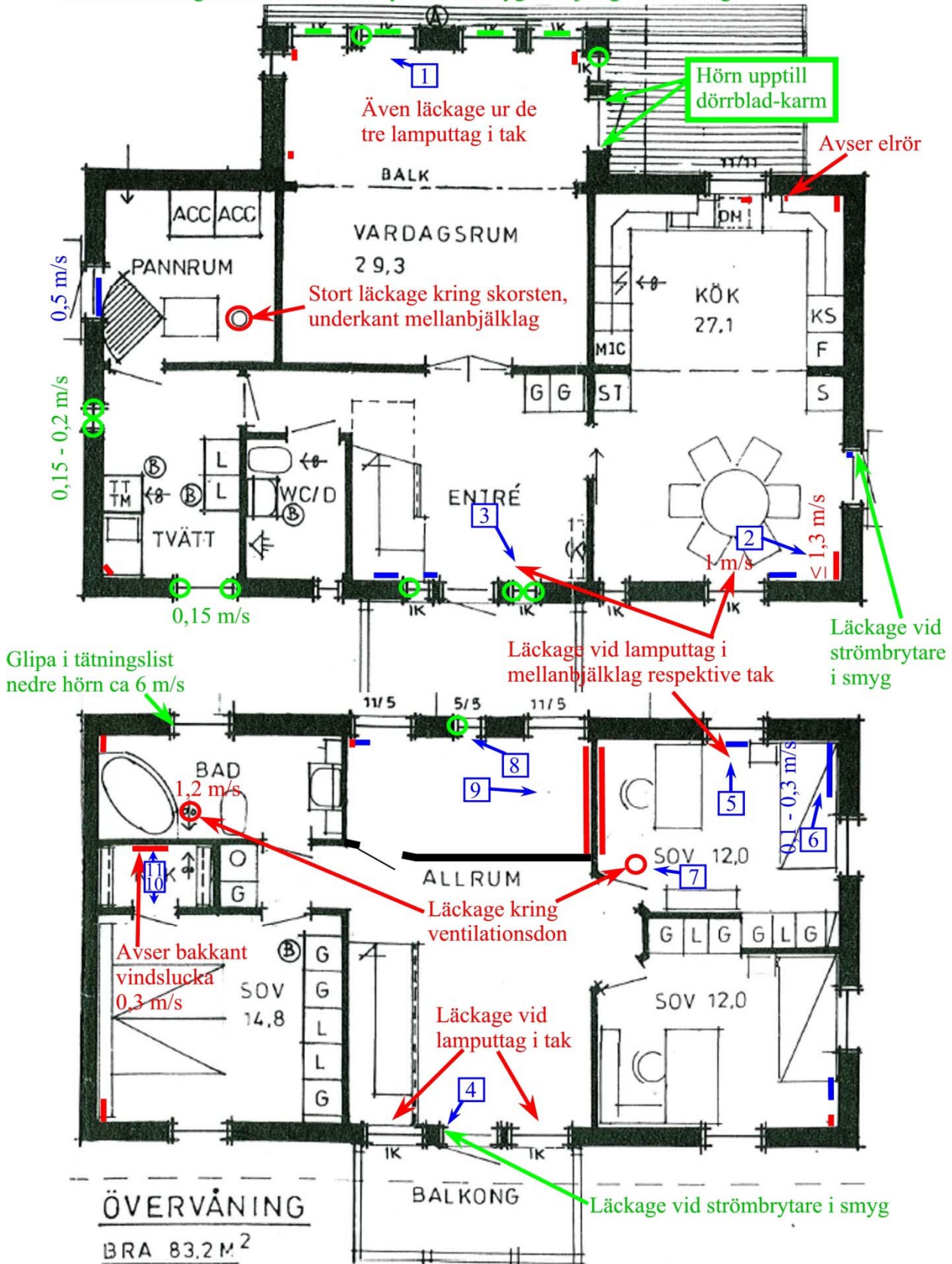
Nr Termogram nr

— Luftläckage i golvvinkel

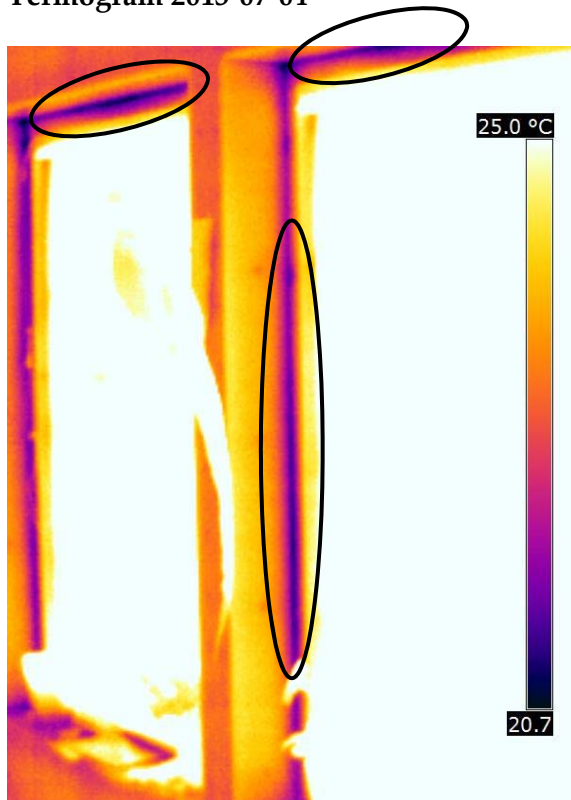
— Luftläckage i takvinkel

○ Luftläckage mellan karmsidostycke och smyg

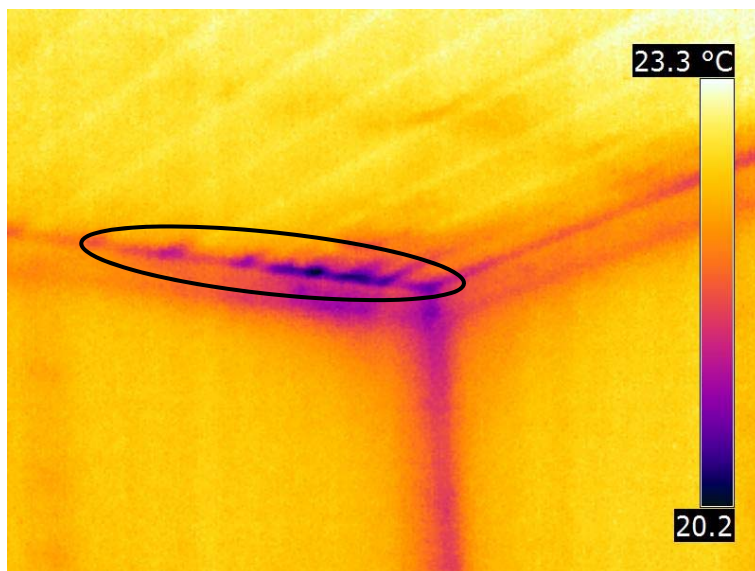
— Luftläckage mellan karmöverstycke och smyg om ej något annat anges



Termogram 2013-07-04

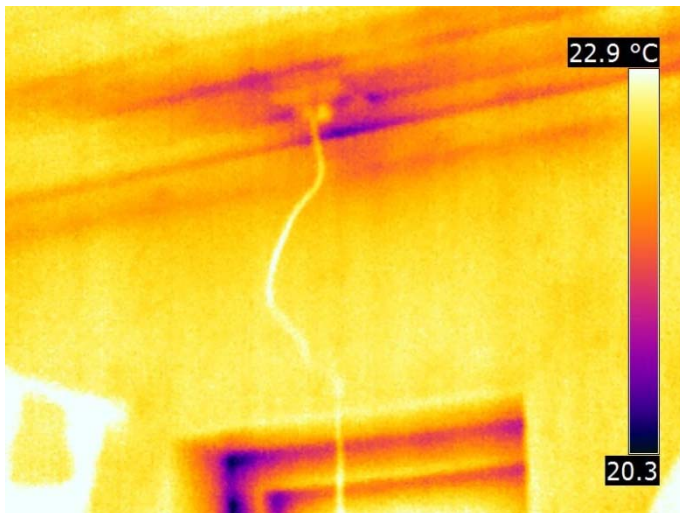


Termogram 1. Exempel på luftläckage mellan karmsidostycke och smyg samt mellan karmöverstycke och smyg (inringade områden).



Termogram 2. Exempel på luftläckage i takvinkel (inringat område).

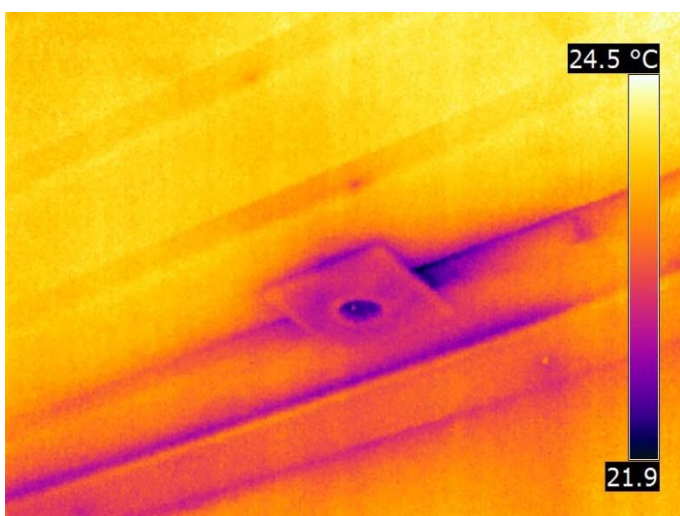




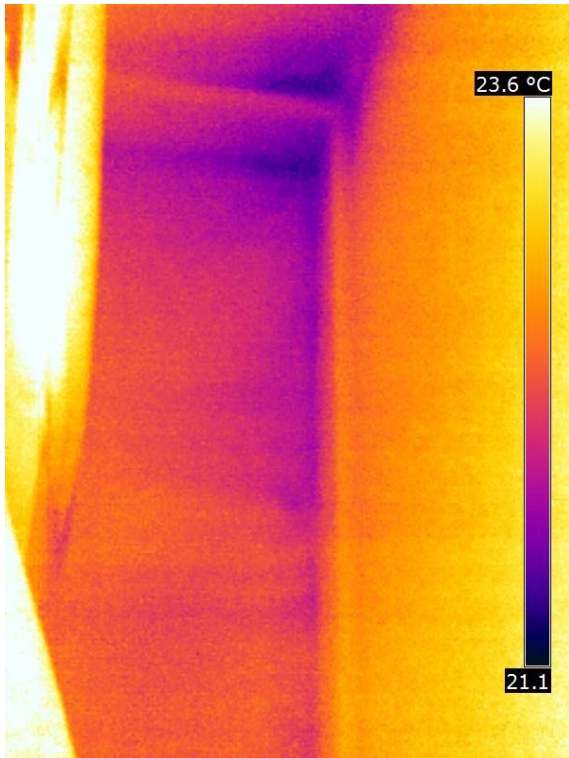
Termogram 3. Exempel på något luftläckage vid lampputtag i mellanbjälklag (på bilden syns även läckage mellan karmsidostycke och smyg vid fönster).



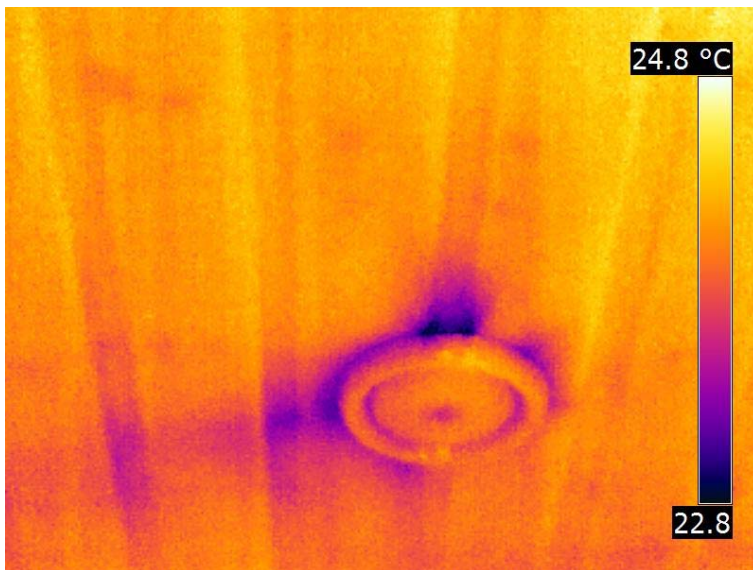
Termogram 4. Luftläckage vid strömbrytare i smyg.



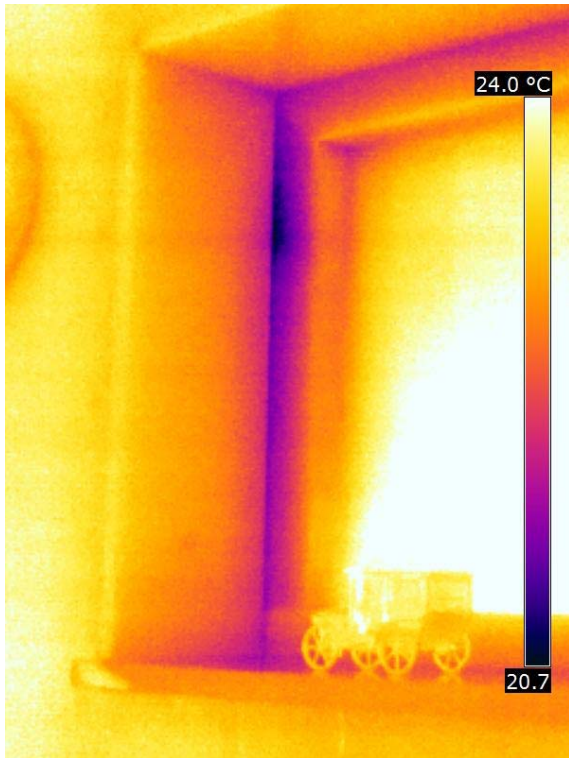
Termogram 5. Exempel på luftläckage vid lampputtag i vindsbjälklag.



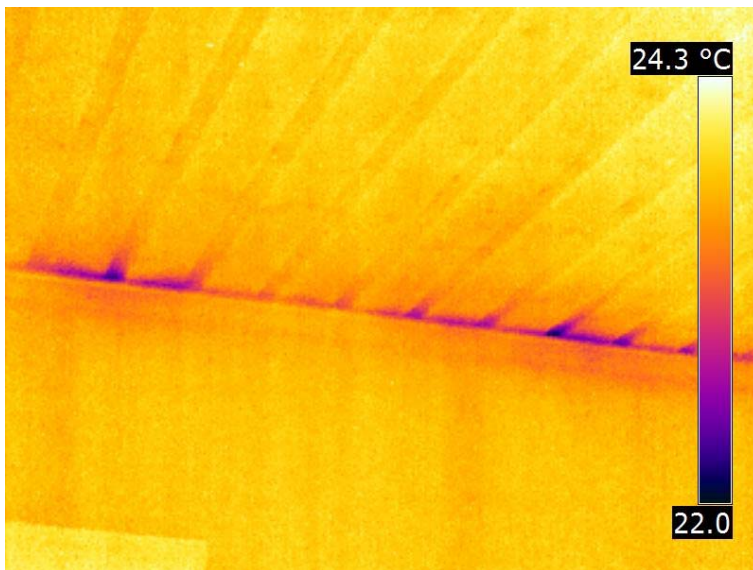
Termogram 6. Luftläckage i golvvinkel.



Termogram 7. Luftläckage kring ventilationsdon i vindsbjälklag.



Termogram 8. Ytterligare exempel på luftläckage mellan karmsidostycke och smyg.



Termogram 9. Luftläckage i takvinkel mellan vindsbjälklag och innervägg, i hela anslutningen på bilden (syns dock ej tydligt på bilden att läckage förekommer i hela anslutningen). I denna vägg finns kanal till köksfläkt varför kan misstänkas att genomföringen för kanalen i vindsbjälklaget ej är tät.

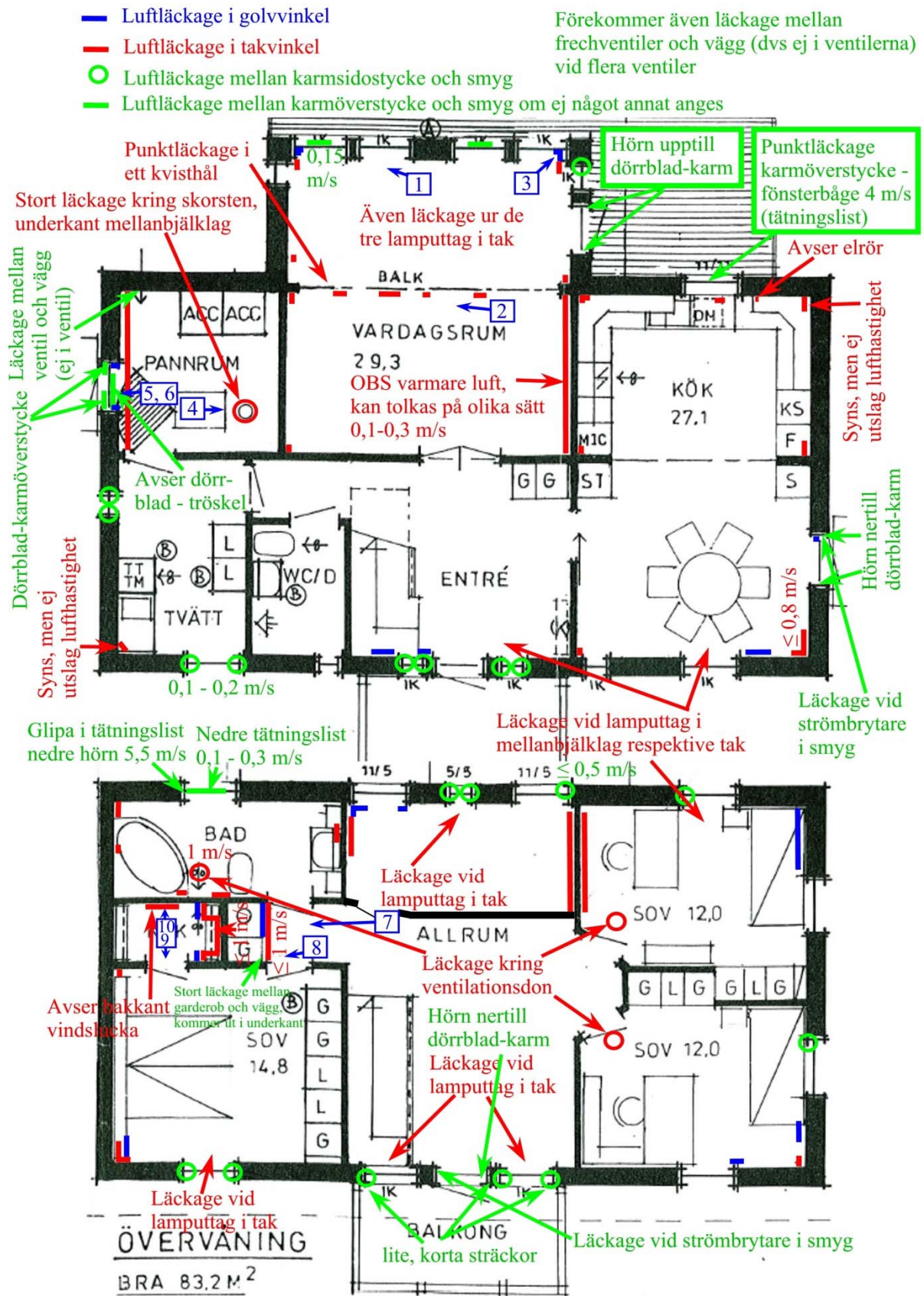
#### Sammanfattning av luftläckagesökning 2013-07-04 för objekt 2

Noterade luftläckage framgår av planritning samt av termogram. Luftläckage förekom på några ställen i golv- och takvinklar mot yttervägg på båda planen. Läckage förekom även i

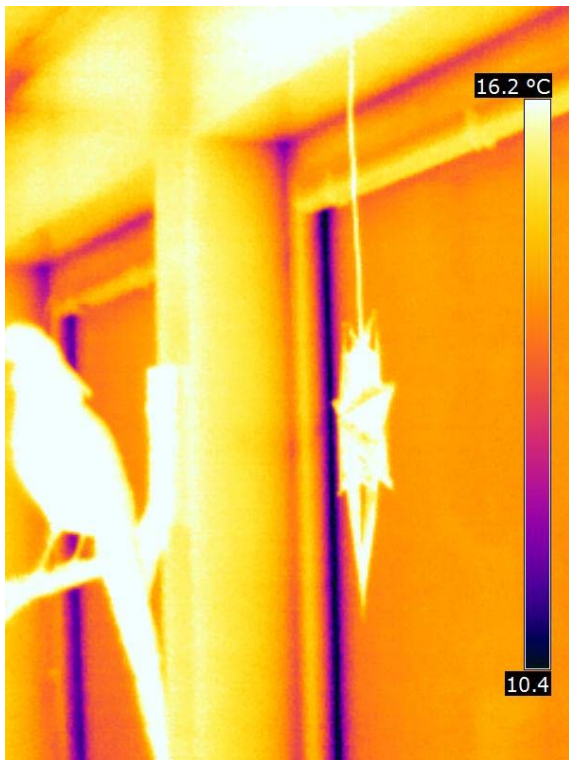
takvinkel vid en innervägg på plan 2 vilket kan bero på otät kanalgenomföring i vindsbjälklag för kanal till köksfläkt (är dragen inuti innerväggen). Luftläckage förekom även vid lampputtag i vindsbjälklag och i mellanbjälklag, strömbrytare i dörrsmygar samt vid ett par ventilationsdon i vindsbjälklag. Vid många fönster förekom luftläckage i anslutning mellan karmsidostycke och smyg samt vid en del fönster mellan karmöverstycke och smyg. Vid vindslucka förekom läckage framför allt i bakkant, dvs. på gångjärnssidan. Läckage i tätningslister i fönster och fönsterdörr förekom vid tre hörn.

Det absolut största enskilda läckaget förekommer vid skorstenen i pannrummet, där denna passerar upp genom mellanbjälklaget. En tänkbar orsak till detta läckage är att skorstensschaktet kan vara otätt upp till vind eller upp till yttertaket, dvs. att det inte finns lufttätning inuti schaktet i nivå med vindsbjälklaget.

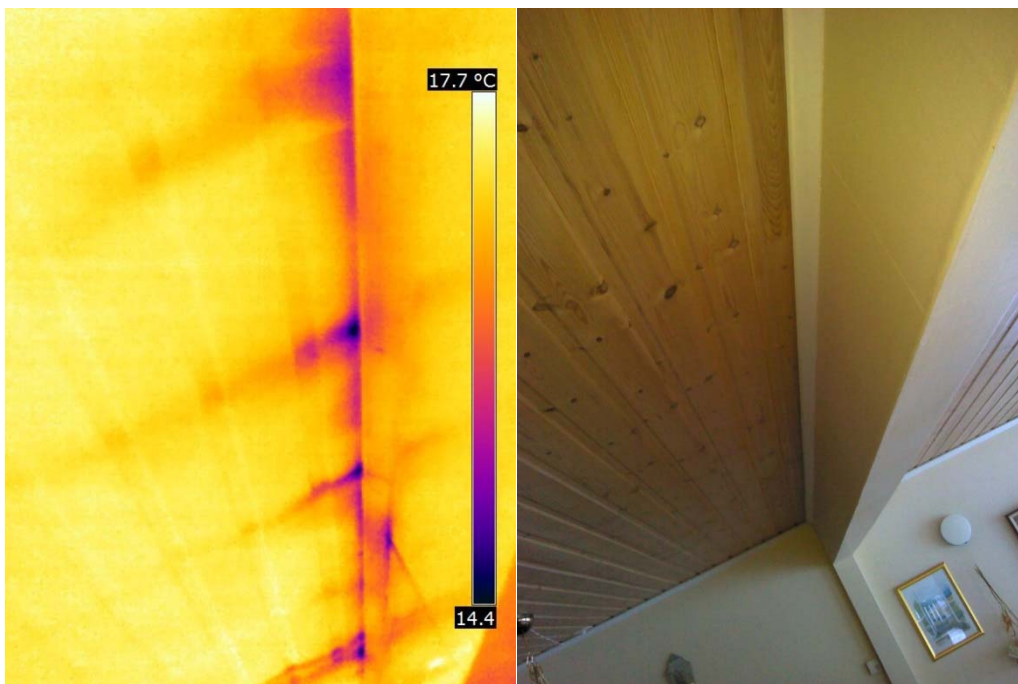
# Planritning med markerade luftläckage 2014-02-03



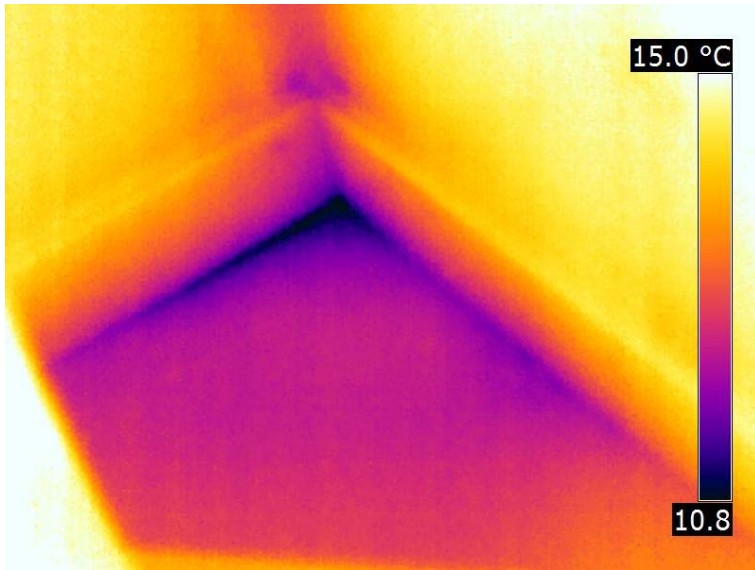
## Termogram 2014-02-03



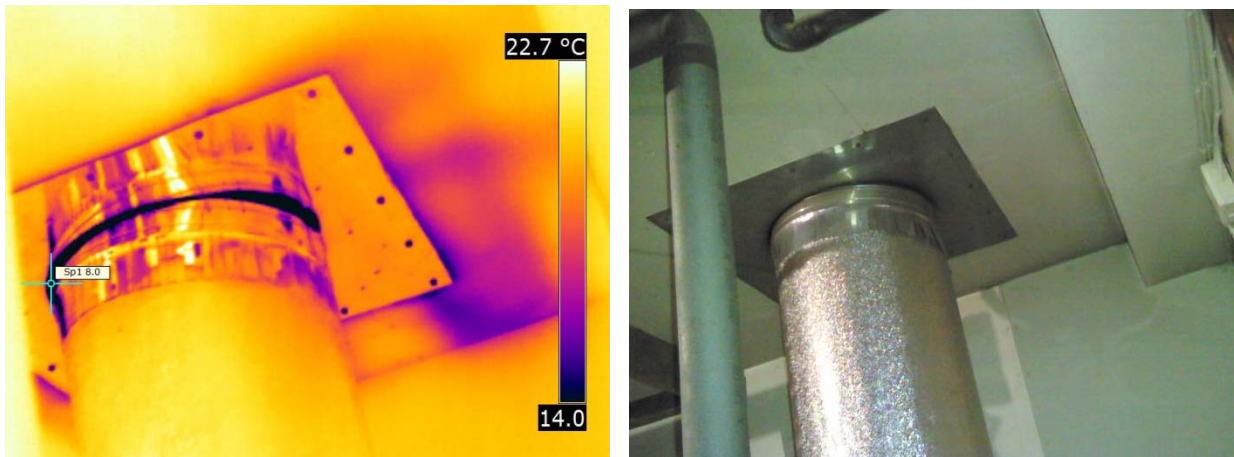
Termogram 1. Motsvarar termogram 1 juli 2013. Luftläckage mellan karmsidostycke och smyg samt mellan karmöverstycke och smyg har i stort sett upphört (i den vertikala anslutningen helt upphört, i horisontell anslutning näst intill helt upphört).



Termogram 2. Delvis luftläckage längs takbalk. Detta läckage syntes ej i värmekamera juli 2013, vilket dock inte betyder att det inte fanns även då.



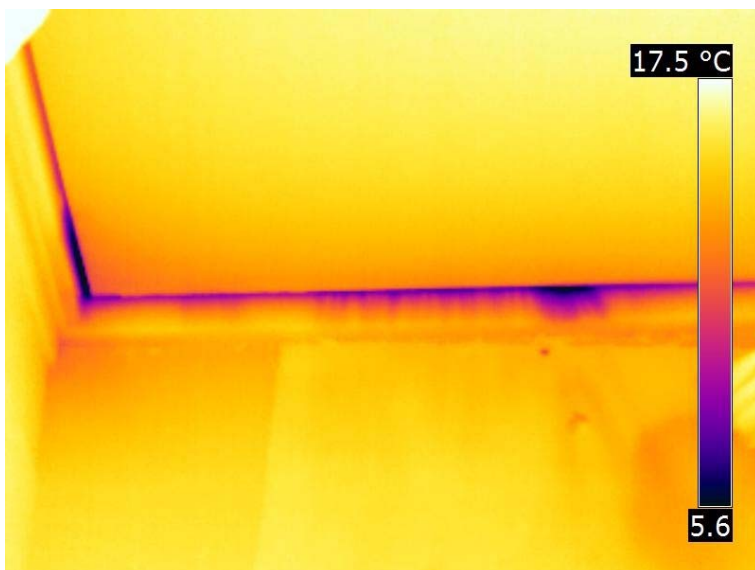
Termogram 3. Lokalt luftläckage i golvvinkel ytterhörn som vi ej såg juli 2013.



Termogram 4. Luftläckage kring skorsten, ur schakt, vilket noterades även juli 2013. Men nu framgår även att luft även drar in i mellanbjälklaget, vilket det sannolikt gjorde även innan. Se även termogram 7 och 8.



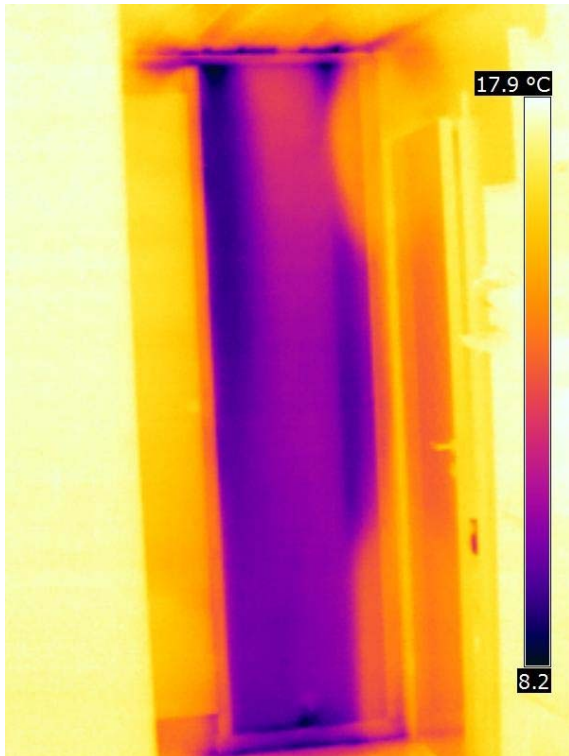
Termogram 5. Luftläckage i anslutning mellan dörrblad och karmöverstycke vid ytterdörr i pannrum. Detta läckage förekom ej juli 2013.



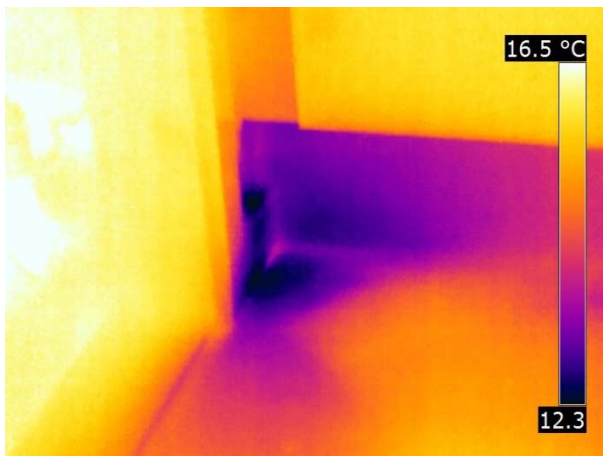
Termogram 6. Läckage mellan tröskel och dörrblad vid ytterdörr i pannrum. Juli 2013 var noterat läckage i golvinkel, dvs under tröskel, ej över tröskel. Tänkbar förklaring (ej undersökt) är att tröskels läge något beror på rörelser, t.ex. när någon trampar på den. Felnotering juli 2013 kan dock ej heller helt uteslutas.

Noterbart är att pannrummet är det rum som har mest varierande klimat mellan sommar och vinter. På sommaren eldas sällan eller ej alls varvid klimatet är likvärdigt övriga huset. På vinter vid eldning blir det betydligt varmare i pannrummet, och hög luftomsättning.





Termogram 7. Skorstensschakt sett från allrummet på övre plan. Hela schaktet är nedkyllt och läckage förekommer i tak- och golvvinkel. Kunde ej ses i värmekamera juli 2013 men måste ha funnits även då, eftersom läckage vid skorstenen i pannrummet fanns även då.



Termogram 8. Stort luftläckage förekommer mellan garderob och vägg jämte schaktet. Det vanliga fotot visar underifrån öppning upp mellan garderob och vägg varur kraftig luftström känns. Detta läckage torde ha funnits även juli 2013, men syntes då ej i värmekameran.

### Sammanfattning av luftläckagesökning 2014-02-03 för objekt 2

Noterbart är att några läckage i fönstersmygar som förekom i juli 2013 hade upphört februari 2014. I övrigt föreföll de läckage som fanns i juli 2013 att vara kvar i februari 2014 också. Att avgöra om läckagemängden (d.v.s. flödet) i varje läckage var lika stort låter sig dock ej göras. I februari 2014 noterades även läckage som vi ej sett juli 2013. Det betyder dock inte att de

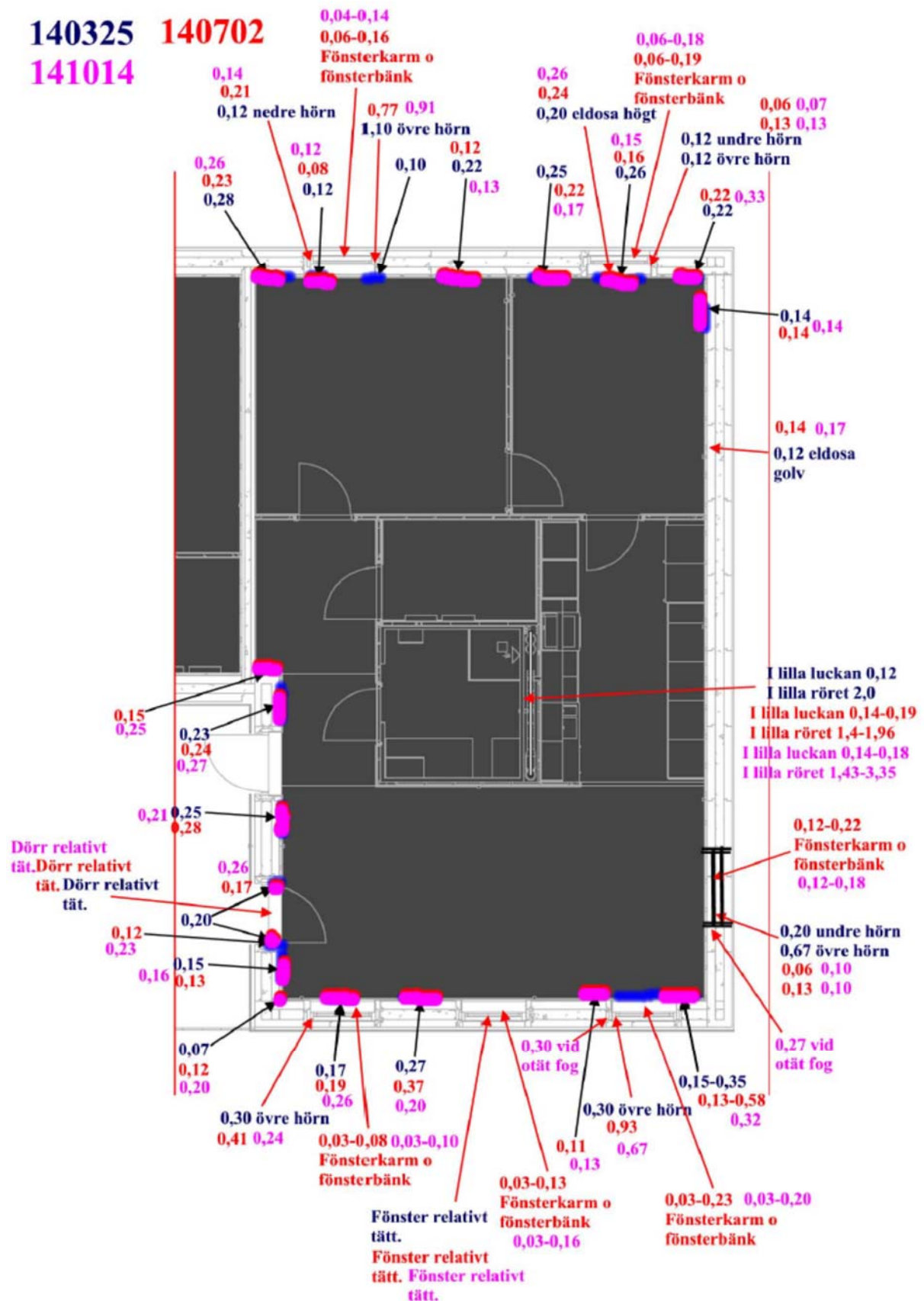
inte fanns även juli 2013, bara att vi ej såg dem i värmekameran juli 2013. Men eftersom några läckage hade försvunnit samtidigt som det totala läckageflödet ökat så innebär det också att några läckageplatsers läckage ökat och/eller verkligen tillkommit.

Läckage som vi ej såg 2013 (men som ändå kan ha funnits/sannolikt fanns även då) var främst läckage i takvinkel mot balk i vardagsrum, läckage mellan uteluftsventiler och vägg (dvs i genomföringar, ej i själva ventilerna, läckage i takvinkel mot schakt i klädkammare och allrum och läckage i golvvinkel mot schakt i allrum. Schaktet var nu rejält nedkyllt. Dessa läckage mot schakt förekom sannolikt även juli 2013 för det stora läckaget från underkant mellanbjälklag kring skorstenen i pannrummet förekom ju även juli 2013. Huruvida läckagemängden är exakt den samma vid schakt kan dock ej uppskattas.

Läckage vid ytterdörr i pannrum är förändrat, läckage vid dörrbladets överkant har tillkommit och läckage vid tröskel var tidigare noterat som läckage under tröskel (kan dock ej helt uteslutas vara felnotering juli 2013).

Smygar läckagesöktes noggrant juli 2013, så de nytillkomna läckagen i dessa är troligen verkligen nytillkomna.

LUFTLÄCKAGESÖKNING, OBJEKT 3



## **Beskrivning resultat från läckagesökning**

Det visade sig vara mycket svårt att få att se luftläckagens variation eller storlek med hjälp av lufthastighetsgivare, eftersom det kräver att vi mäter på exakt samma ställe vid varje provning och med samma vinkel på lufthastighetsgivaren. Metoden kan således bara ses som en indikation på olika lufthastigheter i luftläckagen vid mätningarna. Den bästa metoden hade varit att utföra friläggningar för att komma åt och kontrollera de olika lufttäthetslösningarna och hur de varierar med årstiden.

Det vi har noterat på objekt 3 är att från femte mätningen syntes sprickbildningar i mjukfogen på insida fönster (anslutning mellan fönsterbåge och karm) vid två platser som har resulterat i lokala luftläckage har ökat i alla fall om vi jämför luftläckagesökning mellan femte och sjätte mätningen. Vidare har vi konstaterat att lufttätheten har försämrats sedan mars månad i objekt 3. Vi kan dock inte peka på någon enskild täthetslösning, förutom mjukfogen, som har försämrats mer än en annan.

## Bilaga F

MINSTA KVADRATMETODEN FÖR MEDELVÄRDESBILDNINGAR VID BERÄKNING AV RELATIV FUKTIGHET INOMHUS.

Exempel på överensstämmelse mellan relativ fuktighet inne för objekt 1, Landvetter. Visas i form av minsta kvadratmetoden för några olika medelvärdesbildningar.

<b>Medelbildning</b>	<b>R<sup>2</sup> för RF i inomhusluft</b>
Vecka	0,9805
2 dygn	0,9906
1 dygn	0,993
0,5 dygn	0,9787
Momentant	0,8616