

Lufttätthet i flerfamiljshus

- mätningar och analys



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg

Examensarbete:
Johan Stein

© Copyright Johan Stein

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2008

Sammanfattning

Lufttätthet i flerfamiljshus - mätningar och analys

Lufttättheten hos en byggnad påverkar dess energiprestanda, luftkvalitet inomhus, ljudisolering och riskerna för fuktskador. Lufttätthet definieras i Sverige oftast utifrån klimatskalet, i enlighet med tidigare byggnadsregler och den svenska definitionen för passivhus. Däremot finns det idag inga specificerade myndighetskrav på lufttätthet i Sverige. I examensarbetet undersöks lägenheterna i ett flerbostadshus i Malmö. Förutom lufttätthetsprovningar enligt SS-EN 13829 gjordes en mottrycksmätning för att bestämma läckaget mellan två lägenheter. Resultaten visar en stor variation i lufttätthet mellan lägenheterna och att läckaget till angränsande utrymmen kan vara avsevärt. Om man vid bestämningen av lufttätthet i flerfamiljshus vill använda sig av stickprov på lägenheter måste läckaget igenom klimatskalet på något sätt skiljas från det läckage som sker till angränsande utrymmen. Det finns exempel på metoder för detta men de ingår inte i mätstandarden SS-EN 13829 och är inte alltid enkelt applicerbara. Dålig överensstämmelse mellan krav och mätstandard riskerar att leda till missförstånd och komplicerade metoder kan leda till att kontrollmätningar blir för dyra och krångliga att utföra.

Nyckelord: lufttätthet, luftläckage, tryckprovning, termografering, flerfamiljshus

Abstract

Airtightness in multi-family dwellings – measurement and analysis

The airtightness of a building affects its energy performance, indoor air quality, noise levels and the risk of moisture related decay. In Sweden, airtightness is defined across the exterior envelope according to earlier Swedish building regulations and the definitions of passive housing. There are, however, no specified limits in the current building regulations. This thesis studies the airtightness of the apartments in an apartment building situated in Malmö, Sweden. Airtightness is measured using the European Standard EN 13829 and the leakage between two apartments is estimated using a counter pressure technique. The results show that there are significant variation in the leakage of the apartments and that the leakage to and from adjacent apartments is substantial.

To calculate the airtightness of an apartment building using measurements from individual apartments you have to know the air leakage between apartments. There are methods to achieve this but they are not a part of the EN 13829 standard and are typically laborious. A poor match between the definition of airtightness limits and methods of measurement may lead to misinterpretation and cause control measurements to become costly and complicated.

Keywords: airtightness, air leakage, thermal imaging, multi-family dwellings,

Förord

När de sista orden i det här examensarbetet nu skrivs är jag nog mest förvånad över mängden litteratur och artiklar som jag behövt läsa för att komma fram till vad som inte ska skrivas. Jag kan bara hoppas dessa urval är rimligt gjorda och att läsaren efter en genomläsning är något mer upplyst än förvirrad.

Många har varit behjälpliga men jag vill speciellt rikta tack till min handledare, Hans Bagge, för uppslaget, hjälpen och entusiasmen - samt min examinerare, professor Jesper Arfvidsson.

Ett extra tack för förklaringar och för betvingande av Matlab och modeller går också till professor Lars Jensen. Stora tack går också till Stephen Burke för förevisningar, tips och råd samt Lars-Erik Harderup för tipsen. Jag vill också passa på att tacka professor Johan Claesson och Per Ingvar Sandberg för outhärliga lån av litteratur.

Dessutom ett allomfattande tack till alla ni andra vid avdelningarna för byggnadsfysik och installationsteknik som på olika sätt varit behjälpliga i utförandet av rapporten.

Och till sist ett stort tack till alla lägenhetsinnehavarna som genom att låta mig utföra mätningar i sina hem gjort examensarbetet möjligt.

Lund, den 25 oktober 2008

Johan Stein

Förteckning över figurer och tabeller

Figur 1: Exempel på luftläckage i lägenhet med installationsschakt.....	3
Figur 2: Havshusets västfasad, sedd från vattenbrynet.....	6
Figur 3: Havshusets östfasad, gårdsvy	7
Figur 4: Omslutande geometri hos en centralt placerad lägenhet respektive en taklägenhet.	7
Figur 5: Monterad Blowerdoor.....	9
Figur 6: Skärmbild från TECTITE.....	10
Figur 7: Tryck/flödes-diagram för samtliga lägenheter	13
Figur 8: Lägenheternas omslutande area mot läckflöde vid 50 Pa	15
Figur 9: Lägenheternas externa omslutande area mot läckflöde vid 50 Pa	15
Figur 10: Lägenheternas volym mot läckflöde vid 50 Pa.....	16
Figur 11: Lägenheternas golvarea mot läckflöde vid 50 Pa.....	16
Figur 12: Läckagemodell.....	17
Figur 13: Modellerade värden mot uppmätta flöden.....	18
Figur 14: Termografibilder av hörn vid 0 respektive -50 Pa.....	19
Figur 15: Mätning av läckage genom klimatskalet via trapphus.	20

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Förord	iii
Förteckning över figurer och tabeller	iv
Innehållsförteckning	v
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Metod	2
1.4 Avgränsningar	2
2 Teori och nulägesbeskrivning	3
2.1 Lufttätet	3
2.2 Förekommande krav	4
2.3 Mätstandard och metoder	5
2.4 Byggnaden	6
3 Mätningar	9
3.1 Utrustning	9
3.1.1 Mjukvaran	9
3.2 Utförande	11
3.2.1 Arbetsgång	11
3.2.2 Väder	11
3.2.3 Problem och erfarenheter	11
4 Resultat och sammanställning	13
4.1 Presentation av mätdata	13
4.2 Skillnader mellan lägenheterna	13
4.3 Läckage mellan lägenheter	17
4.4 Termografi	19
5 Diskussion	20
6 Slutsatser	23
7 Referenser	24
8 Bilagor	25

1 Inledning

Fukt och energiproblematik i byggnader har under senare tid uppmärksammats alltmer i svenska och internationella medier. Lufttätheten hos en byggnads klimatskal anses vara viktig både för att undvika energiförluster och fukt i konstruktionen på grund av oönskade luftströrelser (Boverket, 2008).

Men det finns även andra skäl att beakta lufttäthet, till exempel bör luftväxlingen ske kontrollerat för att mekanisk ventilation i en byggnad ska fungera förutsägbart, framförallt i system med värmeåtervinning. Förutom detta kan redan små otätheter dramatiskt minska en väggs ljuddämpande egenskaper och det kan även uppstå problem med infiltration av partiklar och andra föroreningar vilket kan göra det svårt att uppnå kraven på inomhusmiljö i till exempel i hårt trafikerad stadsmiljö.

En byggherre vill naturligtvis se till att byggnaden fungerar väl och att möjliga framtida problem med fukt och onödiga driftskostnader undviks i största möjliga mån. För att försöka uppnå en god funktion kan byggherren specificera ett krav på lufttäthet, men det finns naturligtvis all anledning att fråga sig vad ett sådant krav egentligen innebär och hur det kan verifieras.

Examensarbetet har studerat hur lufttätheten i lägenheter varierar inom en byggnad. I kapitel 1 ges en kort bakgrund till forskning kring lufttäthet och tidigare studier av det provmätta huset tillsammans med syfte, metod och avgränsningar för examensarbetet. Kapitel 2 redogör för teorin bakom lufttäthet i byggnader, ger några exempel på förekommande krav och presenterar mätstandarden för lufttäthet, SS-EN 13829, samt det provade byggnaden. I kapitel 3 beskrivs den använda mätutrustningen, utförandet av mätningarna och några uppkomna problem och deras lösningar. Kapitel 4 presenterar mätdata och jämför olika lägenheters lufttäthet och ett försök att bestämma läckage mellan lägenheter. I kapitel 5 diskuteras resultat och deras koppling till mätstandarden och förekommande krav. Slutsatser återfinns i kapitel 6 och i kapitel 7 hittar man till sist referenser.

1.1 Bakgrund

Lufttäthet började studeras mer ingående i Sverige under 1970 och 80-talen i och med att krav på lufttäthet infördes i Svensk Byggnorm 1975 (Statens planverk, 1976). Björn Mattson (2007) konstaterar i sin doktorsavhandling att forskningen kring byggnaders lufttäthet i Sverige minskat sedan början av 90-talet men att det utförs lufttäthetsmätningar för att kontrollera att krav uppfylls eller i samband med utredningar av problem, dock är dessa resultat sällan offentliga då de utförs kommersiellt.

Den i examensarbetet undersökta byggnaden har studerats tidigare. I Annika Nilssons licenciatavhandling (2004) liksom i Hans Bagges licenciatavhandling (2007) studeras energianvändning i bland annat denna byggnad. Lägenheter i huset har även studerats i examensarbeten av Mikael Carlsson (2004) och Martin Johansson och Christopher Irminger Street (2003) med avseende på ventilationssystem respektive komfort och energiförbrukning. För ytterligare bakgrund till utvecklingen av lufttäthetsprovningar rekommenderas litteraturstudien i Björn Mattsons (2007) ovan nämnda avhandling.

1.2 Syfte

Avsikten med examensarbetet var att studera lufttätheten i ett flerbostadshus samtliga lägenheter och därmed få en uppfattning om egenskaperna och variationen mellan lägenheter i ett modernt flerfamiljshus. Idag genomförs stickprovskontroller av enstaka lägenheter i flerbostadshus och då blir variationer i lufttätheten i ytterväggarna och mellan lägenheter intressant för hur väl mätresultat från några få lägenheter beskriver byggnaden som helhet. Syftet var också att undersöka om dagens formulering av krav och utformningen av mätningar för att följa upp dem är rimliga med avseende på den studerade byggnaden samt att försöka bestämma lufttätheten mellan lägenheter.

1.3 Metod

För att samla in data utfördes lufttäthetsprovningar med en så kallad ”Blowerdoor” i enlighet med standarden EN-SS 13829 (Berggren & Standardiseringen i Sverige, 2004). Avsikten var att tryckprova samtliga sexton lägenheter i bostadshuset. Lufttäthetsmätningarna kompletterades med termografering för att kunna lokalisera läckage och finna eventuella återkommande problem med luftläckage eller köldbryggor. Dessutom utfördes en mätning med mottryck i en grannlägenhet för att undersöka internläckaget och en modell ställdes upp för att söka samband mellan läckaget genom klimatskalet och bjälklaget med hjälp av Matlab. För att bestämma areor och volymer användes CAD-programvara.

1.4 Avgränsningar

Examensarbetet avser inte att studera eller jämföra detaljutformningar och enskilda orsaker till läckage. Endast en byggnad kommer att studeras så generella slutsatser bör göras med försiktighet. En mer ingående studie av termografibilderna kommer inte att utföras inom ramen för examensarbetet, men de skulle sannolikt vara ett bra underlag för efterföljande studier.

2 Teori och nulägesbeskrivning

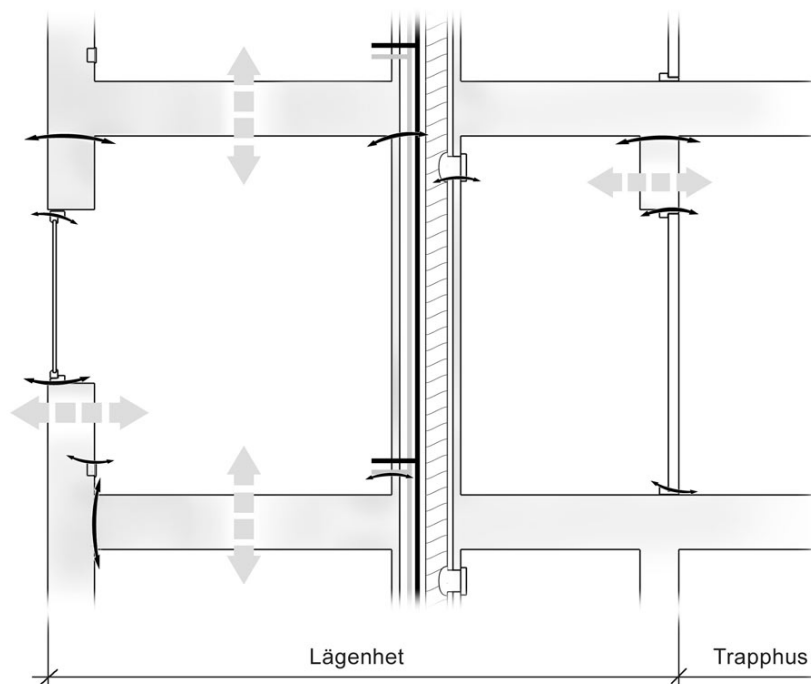
2.1 Lufttätthet

Lufttätthet beskrivs som läckaget genom den omslutande arean vid en angiven tryckskillnad mellan lokalen och omgivningen. Den omslutande arean likställs i Sverige normalt med klimatskalet och läckaget anges oftast vid en tryckskillnad på 50 Pa.

Läckaget beskrivs med uttrycket $V=C(\Delta p)^n$ där V är luftflödet i m^3/h , C är flödeskoefficienten i $m^3/(h \cdot Pa^n)$, Δp är tryckdifferensen mellan uppmätt lokal och omgivningen i Pa och n är enhetslös och bör variera mellan 0,5 och 1.

Detta är ett uttryck som inte har en direkt koppling till fysikaliska lagar men det har empiriskt visat sig kunna beskriva förhållandet mellan flöde och tryck med rimlig noggrannhet (Berggren & Standardiseringen i Sverige, 2004; Sherman & Chan, 2004).

Koefficienten n påverkas av hur läckagevägarna ser ut. En mycket kort läckageväg är i praktiken ett hål och ger en koefficient på 0,5. Ju högre flödet, och därmed Reynolds tal, är desto längre kan läckagevägen vara och ändå ses som ett hål. När läckagevägen blir allt längre och/eller flödet sänks blir flödet tillslut laminärt vilket motsvarar att n sätts till 1 och funktionen blir då linjär. I praktiken kommer det att finnas flera läckage med olika egenskaper i en byggnad vilket innebär att n kommer att anta ett värde mellan 1 och 0,5 (Sherman & Chan, 2004).



Figur 1: Exempel på luftläckage i lägenhet med installationsschakt.

För att kunna jämföra läckaget mellan olika byggnader och lokaler relateras det uppmätta läckaget vid en bestämd tryckskillnad till golvarean eller den omslutande arean, och man får då ett värde på läckaget per kvadratmeter i till exempel enheten $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Det är även möjligt att relatera läckaget till lokalens volym eller beskriva det som omsättningar per timme.

Alla byggnadsmaterial har någon grad av luftgenomsläpplighet men i praktiken sker luftläckage igenom otätheter i konstruktionen, skador eller materialmöten (Burström, 2001). I figur 1 återfinns några exempel på läckage, bland annat vid rörgenomföringar, mellan fönsterkarm och vägg, vid tak- till vägganslutningen, eldosor och läckage mellan dörrblad och karm. Mattsson (2007) studerar bland annat hur olika utföranden påverkar elementarläckage som eldosor och tätningen runt takstolar.

2.2 Förekommande krav

Eftersom lufttätheten påverkar flera av en byggnads egenskaper är det rimligt att byggherrar och myndigheter ställer krav på täthet och Boverkets byggregler (BBR) ställde specificerade krav på klimatskalets lufttäthet fram till BBR 12 (BFS 2006:12). I den tidigare versionen ställdes krav på högst $0,8 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ i bostäder och $1,6 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ i andra utrymmen vid en tryckskillnad på $\pm 50 \text{ Pa}$ (BFS 2002:19). I den i skrivande stund aktuella BBR 15 finns det inga angivna gränsvärden men i ett allmänt råd konstateras det bland annat att "Lufttätheten kan påverka fukttillståndet, den termiska komforten, ventilationen samt byggnadens värmeförluster" (Boverket, 2008).

Malmö stad och Lunds kommun tar med hjälp av Lunds Universitet fram Miljöbyggprogram SYD (Malmö Stad, 2008) som är tänkt att användas vid de två kommunernas markanvisningar. I programmet definieras tre klasser, där två ställer krav på lufttätheten med hänvisning till kravspecifikationen för passivhus (Forum för Energieffektiva Byggnader, 2007) och minienergihus. Kraven ska kontrolleras genom att "mätning skall utföras i 5% (dock minst 3 st) av husen/lägenheterna" (Malmö Stad, 2008).

Den svenska definitionen av passivhus *Kravspecifikation för passivhus i Sverige* är utformad av Forum för Energieffektiva Byggnader (2007). Här ställs ett krav på maximalt $0,3 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ genom klimatskalet mätt enligt SS-EN 13829. Forumet arbetar även på en definition för så kallade minienergihus som ännu så länge endast finns i remissform.

I en rapport från forskningsprojektet "Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen" (Sandberg et al., 2007) definieras tre ambitionsnivåer. Vid en tryckskillnad på 50 Pa tillåts ett maximalt luftläckage om $0,2$ respektive $0,4$ respektive $0,6 \text{ (l/s}\cdot\text{m}^2)$ över klimatskalet. För att verifiera kraven i större byggnader beskrivs två metoder. Alternativ A innebär att allt uppmätt läckage i en lägenhet anses komma från dess

exteriöra yta, vilket motiveras med att detta ”stimulerar att de brandcellsskiljande konstruktionerna blir lufttäta”. Vid alternativ B trycksätts angränsande lokaler till samma tryck som den mätta så att inget flöde sker där emellan.

2.3 Mätstandard och metoder

Standarden SS-EN 13829 beskriver hur man bestämmer luftläckaget i en byggnad eller byggnadsdel genom trycksättning med fläktar. Standarden definierar att den ska användas till att mäta luftläckaget i en byggnad eller del där av, jämföra läckaget i liknande byggnader eller del där av, identifiera läckage eller mäta förändringar av luftläckaget vid ändringar i byggnader.

För att utföra mätningarna behövs utrustning för att mäta tryckskillnader, luftflödet och temperaturen samt en fläkt för att skapa tryckskillnader. Vid mätning av läckage genom klimatskalet ska alla avsiktliga öppningar tätas inklusive ventilationsdon och dörrar till rum som ska ingå i mätningen ska stå öppna. Det rekommenderas att både över- och undertrycksmätningar utförs men endera är accepterat.

Vid början och avslutningen av mätningen ska en nollflödestryckmätning göras. Man ser då till att ingen luft passerar genom mätutrustningen och under en trettio sekunders mätning ska tryckvariationerna över noll (Δp_{01+}), under noll (Δp_{01-}) och kring noll (Δp_{01}) inte överstiga 5 Pa. Gör någon av dem det skall detta noteras i rapporten och mätningen räknas som misslyckad.

De uppmätta flödena korrigeras för skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperatur och mätvärdena relateras till den tryckskillnad som rådde vid nollflödestryckmätningen (offset). Dessa korrigerade värden används sedan för att bestämma flödeskoefficienten, C och den enhetslösa exponenten, n (se kapitel 2.1).

Vind kommer att påverka mätningarna och standarden anser att det är osannolikt att nollflödeskravet ovan klaras om vindhastigheten överstiger 6 m/s. Även temperaturskillnader medför fel i mätningen av flöden så det är önskvärt med så små skillnader mellan inomhus och utomhus temperatur som möjligt.

SS-EN 13829 tillåter att delar av en byggnad mäts för sig men poängterar att: “interpretation of results shall consider that air leakage measured in this way may include flow through leaks to adjacent parts of the building”. Hur denna hänsyn ska tas anges inte. Det konstateras också att byggnaden som helhet kan klara uppsatta krav utan att enstaka lägenheter gör det och att lufttrycket i intilliggande utrymmen då bör mätas.

Det är värt att poängtera att hur läckaget ska beskrivas anges inte i standarden utan den hänvisar till ländernas egna standarder. I Sverige är läckaget normalt

angivet per kvadratmeter klimatskal medan det i en del europeiska länder förekommer att kraven ställs i luftomsättningar per timme.

En nackdel med metoden är att luftläckaget vid en tryckskillnad på 50 Pa kanske inte säger så mycket om läckaget när lokalen är i bruk så ett alternativt tillvägagångssätt är att ange luftomsättningen vid normaltryck. I SS-EN 13829 konstateras att en lämpligare metod för att bestämma luftomsättningen är spårgasmätningar och dessa beskrivs i standarden SS-EN ISO 12569.

Standarden beskriver inte mätningar i flerbostadshus men studier har gjorts och till exempel Modera och Herrlin (Sherman, 1990) utvärderar en metod med två fläktar för att mäta läckaget mellan lägenheter. De konstaterar att vinden är ett problem och får minst osäkerhet i mätningarna när vindtrycket mäts på tre fasadytor. De konstaterar också att om vindhastigheten överstiger 5 m/s går det inte att få en osäkerhet under 10 % ens med perfekta mätningar och att noggranna fältstudier av metoden är nödvändiga.

En annan variant på flerzonsmätning i två och tre-familjshus beskrivs av Sebastiano och Paul (2005) där endast en fläkt används men tryckförändringarna mäts i de intilliggande lägenheterna. Författarna anser att metoden är lovande men inte färdigutvecklad.

2.4 Byggnaden

Den undersökta byggnaden kallas för Havshuset och uppfördes till Bo01-mässan i Malmö. Husets ena fasad (figur 2) vetter direkt mot havet med endast ett gångstråk emellan.



Figur 2: Havshusets västfasad, sedd från vattenbrynet.

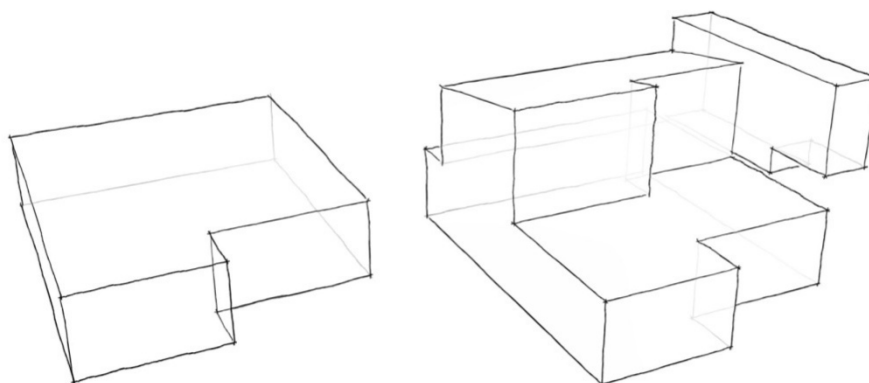
Den motsatta fasaden är relativt skyddad vänd mot en innergård (figur 3). Byggnaden är ett femvåningshus med källare och ett parkeringsgarage under innergården. Lägenheterna överst och nederst i byggnaden är i två plan och de övriga i ett. På motsatt sida av innergården från den undersökta byggnaden finns även friköpta radhuslägenheter som ursprungligen tillhörde fastigheten.



Figur 3: Havshusets östfasad, gårdsvy

Byggnadens tak- och mellanbjälklag är konstruerat med betonghåldäck och i lägenhetsskiljandeväggar används huvudsakligen betongelement, liksom i väggar mot trapphus och vissa ytterväggar. Övriga ytterväggar är utfackningsväggar konstruerade med gipsskivor och plastfolie på träreglar, isolerat med mineralull och utanpå puts på cellplast. Inngolven är uppreglade ovanpå betongbjälklaget vilket bland annat ger utrymme för installationer.

Huset värms med radiatorer och en värmepump ansluten till frånluften tillför värme till systemet med tillskott från fjärrvärme vid behov. På husets tak sitter även solvärmepaneler som ägs av fjärrvärmelieferantören. Lägenheterna är centralt frånluftsventilerade och tilluften tas huvudsakligen in via don bakom radiatorerna.



Figur 4: Omslutande geometri hos en centralt placerad lägenhet respektive en taklägenhet.

Lägenheterna varierar i boarea mellan 89 och 162 m². Av de sexton lägenheterna är det endast fyra stycken som har liknande utformning medan de övriga skiljer sig i golvyta och omslutande ytas utformning. Att komplexiteten i lägenheternas omslutande ytor varierar mycket mellan olika lägenheter kan man se i figur 4.

Ett flertal korrigeringar har skett i byggnaden efter det egentliga färdigställandet. Bland annat har fel och brister hittats och åtgärdats i ventilationssystemet och fasadens ytskikt. Det är inte självklart hur korrigeringarna har påverkat lufttätheten och utan noggrann dokumentation från utförandet kommer det nog att förbli obesvarat.

3 Mätningar

Kapitlet beskriver hur mätningarna utfördes, vilken utrustning som användes och diskuterar även några uppkomna problem och lösningar på dessa.

3.1 Utrustning

För att utföra mätningarna har en *Minneapolis Blowerdoor* med fläktmodell 4 (ser. #) använts. Dörren består av aluminiumprofiler med gummilister som används för att klämma fast en duk i dörröppningen. I ett hål i duken placeras en fläkt vars flöde och tryck kan styras genom att variera varvtalet och byta de tillhörande strypbrickorna med olika håldiameterar. För att mäta lufttryck och flöde användes den tillhörande två-kanalers tryckmätaren *DG-700* (ser #) styrd av en PC-dator med programvaran *TECTITE Express 3.1* installerad. (se figur 5)

Termografin har utförts med en *FLIR ThermaCAM E45* (ser.#) där B45 mjukvara använts. Tillsammans med termografibilderna har digitalfoton tagits med en Canon G3 digitalkamera och extern blix.

För att täta ventilationsöppningar inför mätningarna har det huvudsakligen använts ballonger (eg. innerblåsor till bollar) och vid några tillfällen väv- och vinyltejp. Sammantaget blir detta en ansenlig mängd med utrustning som används även vid de ordinarie mätningarna men den är fortfarande möjligt att hantera och transportera för en operatör.

Vid den i kapitel 4.3 beskrivna mottrycksmätningen användes ytterligare en Blowerdoor av något äldre modell med analog tryckmätare (ser#?) för att skapa tryckskillnaden i grannlägenheten.

3.1.1 Mjukvaran

För att styra mätutrustningen används en dator med programvaran *TECTITE* installerad. Via en seriell-ports anslutning styrs sedan mätutrustningen och data samlas in och sammanställs av mjukvaran. Operatören matar in värden på objektets golvareor, volym, temperatur inomhus och utomhus, bedömd vindhastighet med mera. Man väljer även önskad mätstandard och önskat tryck för de olika mätpunkterna i mätserien. Det finns även möjlighet att ändra

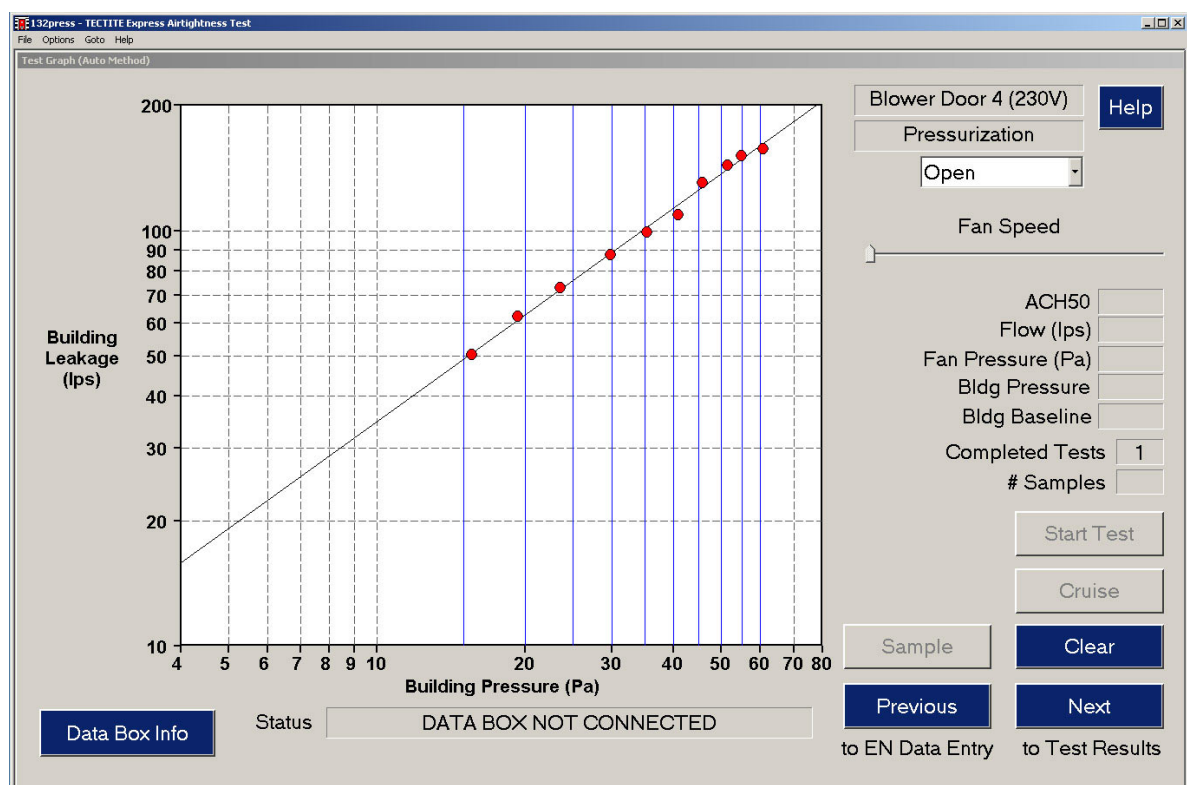


Figur 5: Monterad Blowerdoor.

korrektionshastigheten av fläktens varvtal för att undvika pendling kring en mätpunkt och antalet mätningar per mätpunkt.

När mätningen startar börjar mätrutinen med att bestämma nollflödestrycket. Därefter försöker systemet att nå den högsta tryckskillnaden och eventuellt kan operatören behöva byta strypbrickorna, vilket programmet upplyser om, för att nå ett lämpligt förhållande mellan varvtal och flöde. När varvtalet har stabiliserats tas 100 mätningar på några sekunder och medelvärde på tryck och flöde förs in i diagrammet (se figur 6). Varvtalet sänks sedan för att nå nästa lägre tryckdifferens som angetts av operatören och 100 mätningar görs även här. När alla mätpunkterna är uppmätta mäts nollflödestrycket igen var på resultatet kan sparas och en rapport med diagrammet och numeriska värden kan skrivas ut (se bilaga 1).

Programmet sköter omräkningen av luftflöden med avseende på temperaturskillnader och redovisar i rapporten även värdena på C och n för den uppritade grafen.



Figur 6: Skärmbild från TECTITE.

Programvaran klarar inte av att hantera mätningar som görs med både över och undertryck, utan dessa får göras som två separata mätningar som därefter räknas samman av operatören. Det är inte heller möjligt att få tillgång till de individuella samplingsvärdena numeriska värden utan endast medelvärdena för varje punkt. En praktisk funktion som användes vid termograferingen är att låta programvaran hålla en konstant tryckskillnad, normalt 50 Pa, mot omgivningen för att på detta

sätt finna luftläckage. Genom att även termografera vid normaltryck är det möjligt att skilja läckagen från köldbryggor.

3.2 Utförande

För att kunna genomföra mätningarna togs det via post och e-post kontakt med bostadsrättsinnehavarna under vecka 8. Första mätningen utfördes redan följande vecka och den sista i vecka 20 trots ambitionen att vara färdig med mätningarna långt tidigare.

3.2.1 Arbetsgång

Arbets sättet planerades och provades på LTH innan första mätningen genomfördes. Förvånansvärt nog skedde det inga större förändringar, om några alls, av arbets sätt och handgrepp under mätningarnas utförande. Den normala arbets gången och ungefärliga tider, i en normalstor lägenhet då inga problem uppstod, var:

- Termografering av lägenheten (ca 20 min)
- Tätning av ventilationsdon inklusive köksfläkt (ca 20 min)
- Montering av Blowerdoor (ca 10 min)
- Tryckprovning övertryck (ca 7 min)
- Tryckprovning undertryck (ca 7 min)
- Termografering vid 50 Pa övertryck efter 10 minuters normalisering (ca 20 min)
- Avveckling (ca 20 min)

Till detta kommer naturligtvis restid och tid för förberedelser som att studera ritningar och beräkna areor och volymer med hjälp av CAD-mjukvara. Vid mottrycksmätningarna behövdes två personer för att kunna genomföra mätningarna och förutom att termografering inte utfördes vid dessa mättillfällen på grund av för hög utomhustemperatur var arbets gången densamma.

3.2.2 Väder

I mätstandarden för lufttäthetsmätningar i fält EN-SS 13829 (Berggren & Standardiseringen i Sverige, 2004) anger man att det är osannolikt att klara det krav på nollflödestryckdifferens som definieras i standarden vid vindhastigheter över 6 m/s. Det är värt att notera att det endast är sällan som vindhastigheterna varit så låga under de utförda mätningarna. Endast vid två av tretton mättillfällen understeg vindhastigheten långvarigt 6 m/s och vid flera tillfällen var den varaktigt över 15 m/s. Om möjligheten hade funnits hade det varit intressant att göra flera mätningar i samma lägenhet vid olika vindförhållanden för att se hur mycket det påverkar resultatet.

3.2.3 Problem och erfarenheter

Redan innan mätningarna började fanns det några kända problem. Majoriteten av tilluftsdonen i lägenheterna är placerade bakom radiatorer. Dessa består av

plåtkassetter med utbytbart luftfilter och en justerbar iris skjuts in i en ram som är fastskruvade bakom radiatorn. Irisen går inte att stänga helt för att tillåta ett grundflöde av luft. Vid tidigare mätningar i huset har ventilationshålet i ramen omsorgsfullt tejpats tätt men det skulle tagit för lång tid och vara ett osäkerhetsmoment. Lösningen för att täta donen blev att använda skivor med tätlistor som fördes ner i ramen och klämdes på plats med de ovan nämnda ballongerna införda mellan skivan och elementet.

Vid några mättillfällen har placeringen av radiatorer och don ställt till problem. I bottenplan sitter i tre av lägenheterna en radiator fyra meter upp ifrån källarplanets golv och är endast tillgänglig med medhavd stege. En av dessa lägenheter har dessutom ett fastskruvat radiatorskydd runt denna radiator. De luftfilter som sitter i kassetten ska bytas regelbundet för att ge god lufttillförsel. I flera av lägenheterna har ändringar av planlösningen skett och därmed har även ventilationen ändrats. Att lita på ritningsunderlaget var inte alltid möjligt och man kan konstatera att termograferingen under normaltryck innan tryckprovningen inte bara fick funktionen att ge underlag för att kunna separera luftläckage från köldbryggor vid bildjämförelse. Den medförde också att fönster på glänt och flyttade luftdon hittades med större säkerhet än vid en snabb kontroll.

Det är tidseffektivt att utföra termografering och lufttäthetsmätningar samtidigt då termografering bör utföras både vid normaltryck och undertryck. Här finns dock en konflikt mellan mätningarna då termografin behöver en stor temperaturdifferens mellan ut och insidan medan lufttäthetsmätningen helst inte ska ha någon differens alls.

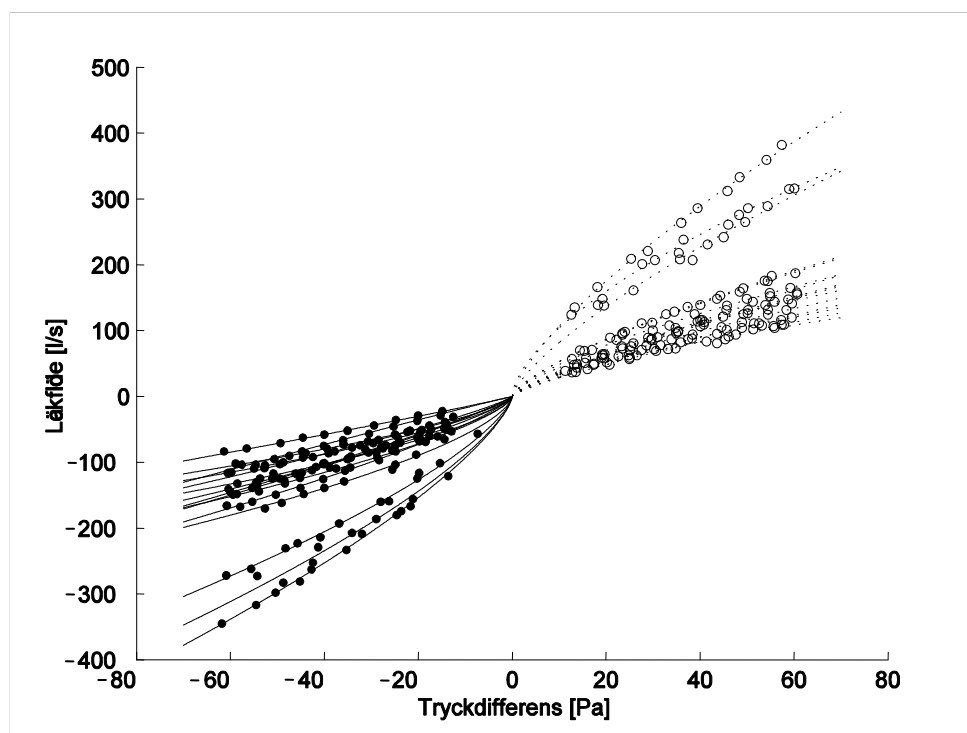
Sammanfattningsvis så har det praktiska genomförandet av mätningarna, förutom vissa problem att hitta tider för mätningar som passar, gått över förväntan.

4 Resultat och sammanställning

I detta kapitel presenteras insamlade data i tabeller och diagram. Läckagen anges i l/s då detta är enheten som tidigare användes i BBR och nu används i passivhusdefinitionen (Forum för Energieffektiva Byggnader, 2007). I mätstandarden SS-EN 13829 används genomgående m^3/h .¹ Som nämnts ovan har mätstandarden ett krav där nollflödestrycket inte ska överstiga 5 Pa för de tre Δp_{01} -värdena något som endast uppnåddes i 7 av de 15 provade lägenheterna på grund av vind, vilket kan tänkas vara normalt vid utsatta lägen.

4.1 Presentation av mätdata

Figur 7 visar översiktligt läckaget vid olika tryckdifferenser med en linje per lägenhet och ger en uppfattning om spridningen i läckage mellan de olika lägenheterna. Figuren är den sammanställning av över- och undertrycks-mätningarna med utsatta mätpunkter och linjerna beskriver de funktioner (se 2.1) som erhållits utifrån mätpunkterna. De tre uppmätta taklägenheterna sticker tydligt ut ur mängden.



Figur 7: Tryck/flödes-diagram för samtliga lägenheter

4.2 Skillnader mellan lägenheterna

För att kunna göra jämförelser mellan lägenheterna gjordes area- och volymberäkningar genom att bostadsrättsföreningens relationsritningar scannades in i AutoCad och kontrollmättes för asymmetriska skalförändringar vid scanningen innan de användes till volym- och areaberäkningar.

¹ $1\text{ l/s} = 3,6\text{ m}^3/\text{h}$

I tabell 1 redovisas läckaget (V_{50}) och läckaget normaliserat och omräknat till olika storheter beroende av lägenheternas: omslutande area (q_{50}), exteriöra omslutande area ($q_{50,ext}$), volym ($q_{50,V}$), golvarea (w_{50}), omsättningen per timme (n_{50}) samt andelen av den omslutande arean som är exteriör (A_{ext}/A_E). Lägenheterna är numrerade så att den första siffran anger våning och den andra är ett individnummer.

Lgh	V_{50}	q_{50}	$q_{50,ext}$	$q_{50,V}$	w_{50}	n_{50}	A_{ext}/A_E
11	105 13	0,27 12	1,11 9	0,30 12	0,82 12	1,08 12	24% 9
12	88 15	0,23 14	1,78 7	0,23 14	0,64 14	0,83 14	13% 15
13	108 12	0,28 11	2,16 4	0,28 13	0,78 13	1,02 13	13% 14
14	95 14	0,20 15	0,83 14	0,21 15	0,59 15	0,77 15	24% 8
21	136 6	0,39 9	1,09 10	0,48 8	1,26 8	1,72 8	36% 5
22	127 9	0,39 8	2,18 3	0,46 9	1,22 9	1,65 9	18% 13
23	112 10	0,34 10	1,91 5	0,40 10	1,07 10	1,45 10	18% 12
24	111 11	0,27 13	0,74 15	0,32 11	0,84 11	1,15 11	36% 4
31	134 7	0,46 6	1,64 8	0,57 6	1,50 6	2,04 6	28% 6
32	157 5	0,49 5	2,70 1	0,57 5	1,51 5	2,05 5	18% 11
33	133 8	0,41 7	2,28 2	0,48 7	1,27 7	1,73 7	18% 10
34	163 4	0,50 4	1,87 6	0,59 4	1,56 4	2,12 4	27% 7
41	271 2	0,64 2	0,87 13	0,68 2	1,83 2	2,45 2	74% 1
42	261 3	0,56 3	0,88 12	0,61 3	1,61 3	2,19 3	64% 3
43	318 1	0,69 1	0,94 11	0,74 1	1,97 1	2,67 1	73% 2

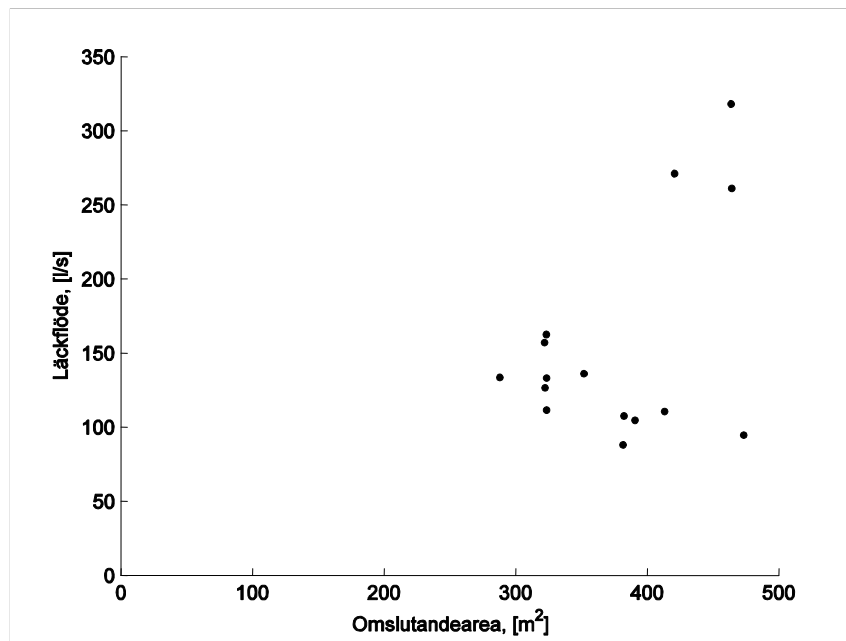
Storhet		
Värde	Rang	
↓	↓	
V_{50} – läckflöde [l/s]		$q_{50,ext}$ – läckage genom klimatskal, [l/s·m ²]
q_{50} – [l/s·m ²]		$q_{50,V}$ – läckage relativt volym, [l/s·m ³]
		w_{50} – specifikt läckflöde (golvarea), [l/s·m ²]
		n_{50} – omsättning, [h ⁻¹]
		A_{ext}/A_E – andel exteriör area av omsl. area, [h ⁻¹]

Tabell 1: Läckflödet per lägenhet utdelat på olika areor och volym samt rang.

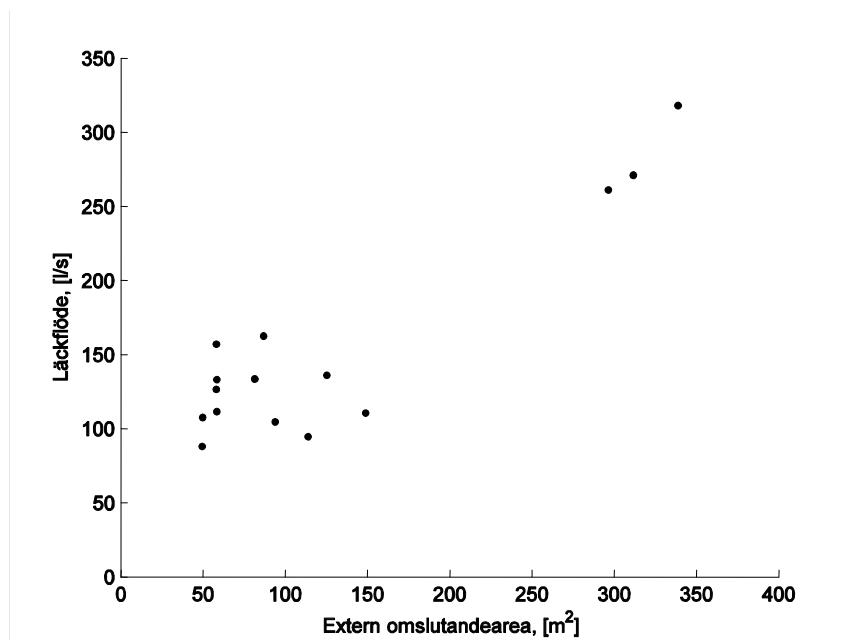
Liksom i figur 7 är det i tabell 1 uppenbart att takvåningarna skiljer sig ifrån de övriga lägenheterna. Förutom att de har en exteriör area som uppgår till mellan 64 och 74 % jämfört med så lågt som 13 till 36% för de övriga lägenheterna har de som synes i figur 4 många fler möten mellan ytor och byggdelar. Läckaget genom lägenheternas omslutande area, q_{50} , är i samtliga fall under det klimatskalkskrav på 0,8 l/(s·m²) som tidigare ställdes i BBR – observera dock att detta uppmätta värde *inte* motsvarar det i kravet angivna värdet. Kravet avser läckaget genom klimatskalet och q_{50} beräknas på hela den omslutande arean. Om man tänker sig att hela läckaget sker igenom klimatskalet, $q_{50,ext}$, så ser man att taklägenheterna, där en stor andel av den omslutande arean är en del av klimatskalet, ligger nära det tidigare kravet på 0,8 l/(s·m²).

I figurerna 8 till 11 plottas läckflödet i lägenheterna mot lägenheternas omslutande area, externa omslutande area, volym och golvarea. Fördelningen är

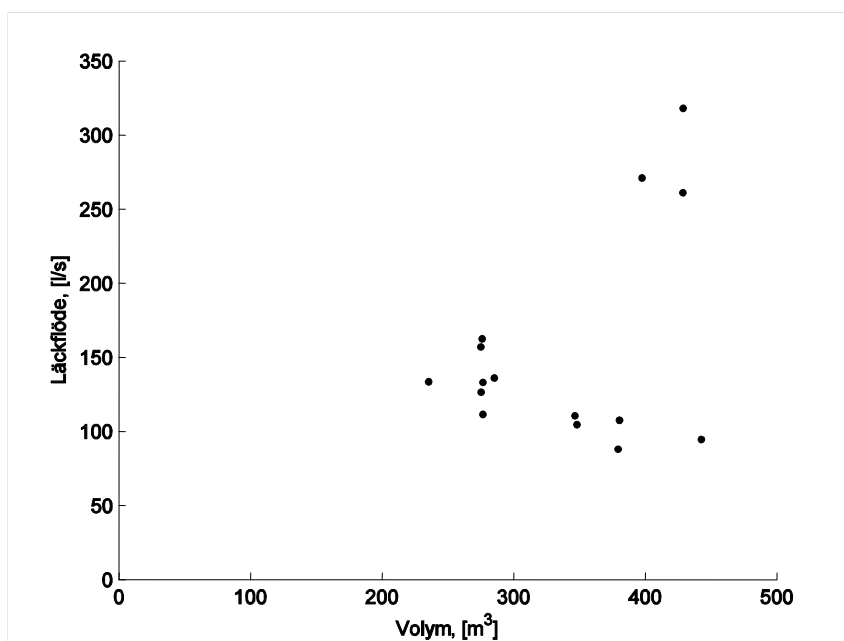
märkbart likartad i figur 8, 10 och 11 vilket inte är speciellt förvånande då takhöjden är nästan den samma på alla våningsplan. Det kan inte påstås finnas några uppenbara samband i figurerna. Inte ens i figur 9 är det riktigt rimligt att baserat på några få extremvärden hävda att det finns ett samband.



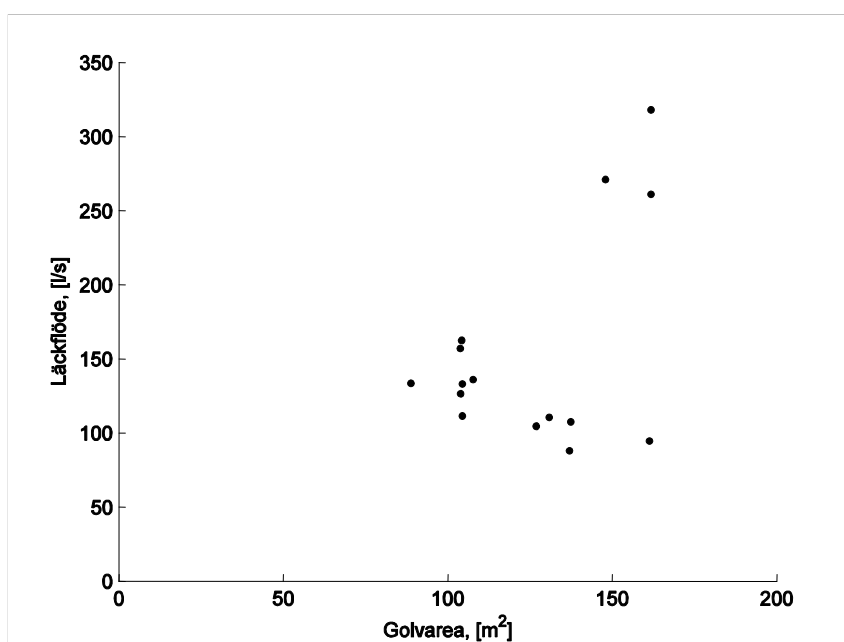
Figur 8: Lägenheternas omslutande area mot läckflöde vid 50 Pa



Figur 9: Lägenheternas externa omslutande area mot läckflöde vid 50 Pa



Figur 10: Lägenheternas volym mot läckflöde vid 50 Pa



Figur 11: Lägenheternas golvarea mot läckflöde vid 50 Pa

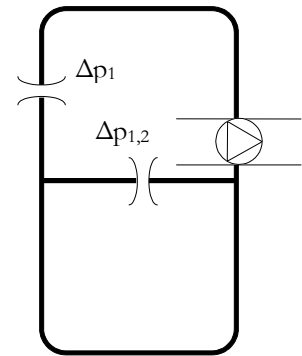
I tabell 2 anges medelvärdet för de tre lägenheter med de högsta respektive lägsta uppmätta och framräknade värdena. För samtliga värden kan man konstatera att det skiljer med nästan en faktor tre mellan medelvärdena. Detta är inte en liten variation och beroende på vilka lägenheter som provas vid ett mindre urval kan man komma att få olika uppfattningar om lufttätheten i byggnaden.

	V_{50}	q_{50}	$q_{50,ext}$	$q_{50,v}$	w_{50}	n_{50}	A_{ext}/A_E
topp-3	283	0,63	2,38	0,68	1,80	2,44	70,32%
lägsta-3	96	0,23	0,81	0,24	0,67	0,87	14,66%
Kvot	2,96	2,71	2,93	2,79	2,69	2,79	4,80

Tabell 2: Medelvärde för de tre högsta och lägsta uppmätta och beräknade värdena.

4.3 Läckage mellan lägenheter

Den del av det uppmätta läckaget som inte passerar genom klimatskalet kommer ifrån grannlägenheter eller till exempel trapphuset. För att få en uppfattning om läckaget mellan lägenheterna gjordes en modell där förhållandet mellan lägenheterna beskrivs. Modellen antar att läckaget kan beskrivas genom tryckskillnaden mellan lägenheterna och omgivningen och att läckaget mellan lägenheterna är en del av det totala läckaget (se figur 12). De två läckagen beskrivs med ekvationen:



Figur 12: Läckagemodell

$$V = C_1(\Delta p_1)^n + C_{1,2}(\Delta p_{1,2})^n$$

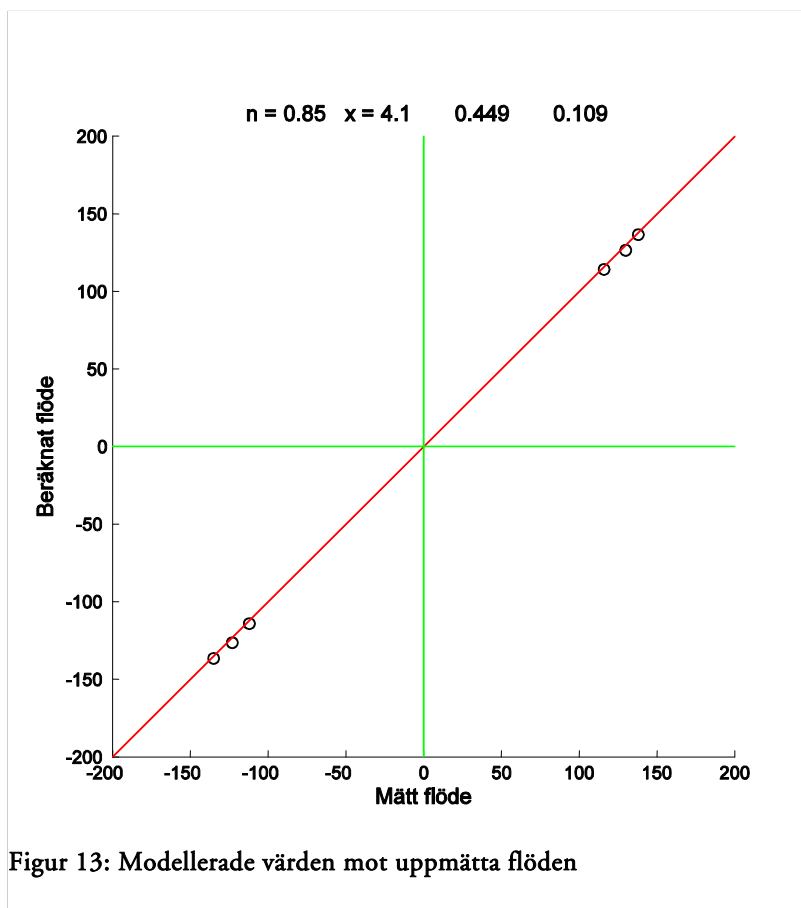
Data till modellen samlades in igenom en serie av mätningar i lägenhet 22 samtidigt som en grannlägenhet trycksattes med över-, under- respektive normaltryck. Den mätta lägenheten har en omslutande area på 320 m² varav den arean mot uteluften endast är 58 m². I tabell 3 redovisas resultaten för läckagen i den provade lägenheten vid 50 Pa (V_{50}) vid de olika mottrycksfallen.

Mottryck	$V_{50}, [l/s]$	
	+50 Pa	-50 Pa
+50 Pa	116	135
± 0 Pa	130	123
-50 Pa	138	112

Tabell 3: Resultat av mottrycksmätning

Dessa insamlade data används sedan för att låta Matlab (se bilaga 2) söka värdena på C_1 och $C_{1,2}$ med minstakvadratmetoden. Värdet på n söks genom att prova med värden mellan 0,5 och 1 i steg om 0,005 för att finna det som ger minsta standardavvikelsen. I figur 13 plottas de uppmätta flödena mot de av Matlab beräknade värdena då:

$$C_1 = 4,1 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{Pa}^{0,85}) \quad C_{1,2} = 0,449 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{Pa}^{0,85}) \quad n = 0,85$$



Figur 13: Modellerade värden mot uppmätta flöden

Förhållandet mellan C_1 och $C_{1,2}$ är nästan exakt 10:1, så ungefär en tiondel av läckaget i den provade lägenheten kommer enligt modellen via grannlägenheten. Det verkar rimligt att vi har ett motsvarande läckage till grannlägenheten ovanför och då kommer alltså 20 % av det totala läckaget att ske till grannlägenheter genom bjälklagen. I den ovan provade lägenheten var det totala beräknade flödet vid 50 Pa 127 l/s. Läckaget till grannlägenheten blir då ungefär 13 l/s vilket över dess bjälklagsyta på 104 m² blir 0,125 l/(s·m²) genom bjälklaget till grannlägenheten. Utöver detta läckage tillkommer naturligtvis läckage via trapphus och grannlägenhet vid sidan och det är inte heller otänkbart att läckage kan ske mellan diagonalt placerade lägenheter. Dessa ytterligare tillkommande läckage innebär då att storleken på läckaget genom klimatskalet minskar i motsvarande grad.

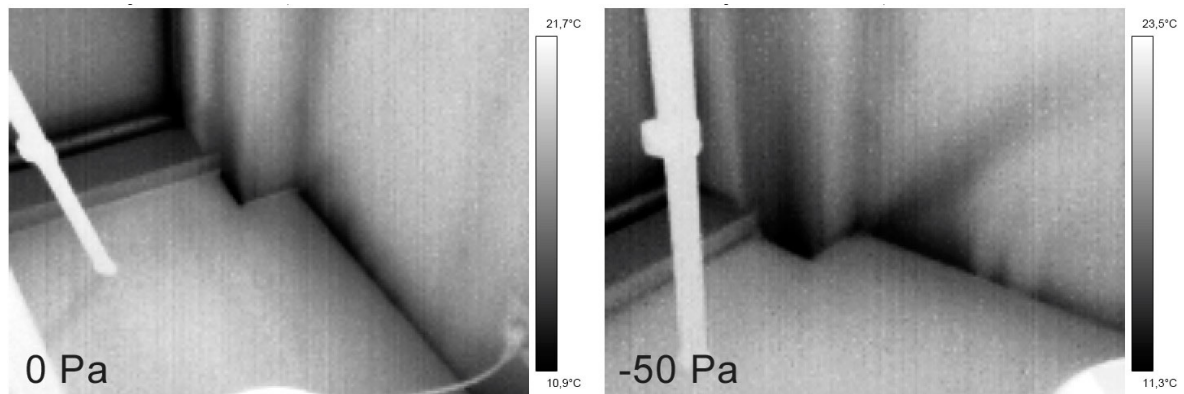
Frågan man måste ställa sig är naturligtvis hur de uppmätta värdena ska kunna användas vid en utvärdering av lägenheternas egenskaper och läckaget igenom klimatskalet. I ett försök att visa problematiken görs en överslagsberäkning med läckagemätningen ovan som grund: om det framräknade bjälklagsläckaget i lägenhet 22 på 0,125 l/(s·m²) antas gälla för alla ytor som inte är externa och det resterade läckaget förs till den externa arean blir detta läckage 1,6 l/(s·m²). Jämför med det värde på 0,39 l/(s·m²) då läckaget delas ut jämt över den omslutande arean (dvs. q_{50} i tabell 1) och som vid en första anblick ser ut att vara mycket bra i förhållande till tidigare kravet på 0,8 l/(s·m²). Om hela läckaget skulle antas ske

igenom klimatskalet skulle detta motsvara ett läckage genom ytterväggen på 2,2 l/(s·m²) (Alternativ A hos Sandberg et al (2007) Se 2.2).

Sannolikt ligger läckaget genom lägenhetens ytterväggar något under 1,6 l/(s·m²) då läckaget till trapphusen antagligen är större än det genom bjälklaget. Främst på grund av ytterdörr och rör genomföringar. Hur detta svarar mot övriga lägenheter är svårt att svara på utan att utföra ytterligare mätningar på läckagen inom bygganden.

4.4 Termografi

Under mätningarna utfördes även termografering vid normaltryck och vid ett undertryck av 50 Pa. Någon vidare analys av termografin kommer inte att göras i denna rapport men som ett exempel kan man i figur 14 se hur anslutningen mellan golv och vägg intill en balkongdörr släpper in kallluft som kyler ner väggytan i ett diagonalt flödesmönster vid -50Pa medan samma mönster saknas vid normaltryck. I bilden utan trycksättning kan man även notera en kallare yta som sträcker sig uppåt till vänster om eluttaget och som orsakas av en regel i utfackningsväggen. Genom att jämföra bilder tagna vid normal- och undertryck kan man på detta sätt skilja på köldbryggor och luftläckage.



Figur 14: Termografibilder av hörn vid 0 respektive -50 Pa. I bakgrunden syns en balkongdörrströskel.

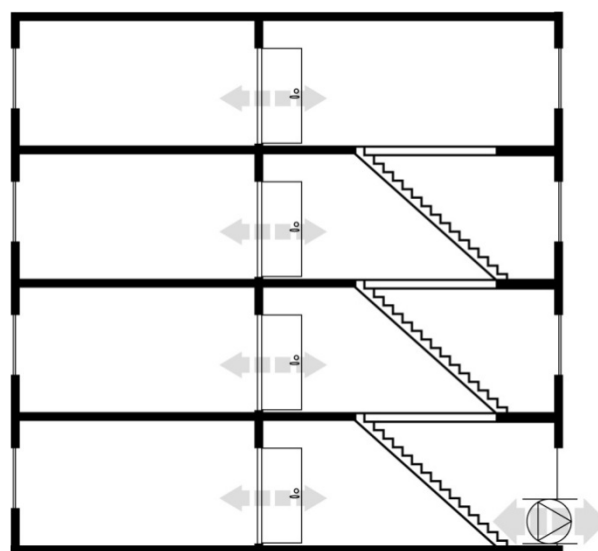
5 Diskussion

För att kunna jämföra lägenheter och hus mätta vid olika tillfällen och av olika utförare är det önskvärt att samma metodik används vid mätningarna för att möjliggöra jämförelser och reperterbarhet. Det går att beskriva lufttäthet på ett flertal olika sätt och med olika storheter. Ta till exempel de tre värdena 0,39 och 1,6 respektive 2,2 l/(s·m²) som beskriver lufttätheten i den mottrycksprovade lägenheten i kapitel 4.3 - utan en mer detaljerad beskrivning av vart och ett ger de ingen vidare förklaring av lägenhetens lufttäthet utan blir snarast förvirrande. För en beställare är det rimligen önskvärt att ett tydligt definierat värde används för att beskriva lufttätheten och därmed minskar risken för onödig förvirring. Det finns idag ingen standard för hur lufttäthet i flerbostadshus ska mätas och presenteras annat än vid mätning över hela klimatskalet. Däremot har det gjorts försök och det finns förslag på metoder och nedan följer några exempel på sätt att angripa problemet.

I bland annat de tidigare nämnda artiklarna av Modera och Herrlin (Sherman, 1990) samt Sebastiano och Paul (2005) finns exempel på mätmetoder som tar hänsyn till läckaget mellan lägenheter men ändå använder en måttlig mängd mätutrustning och resurser. Modera och Herrlin konstaterar dock att vindkänsligheten är ett problem och med tanke på erfarenheterna av den undersökta fastighetens utsatta läge vid havet är ytterligare vindkänslighet inte önskvärd.

En väg att gå är naturligtvis att mäta samtliga lägenheter på en gång via till exempel trapphusen och på detta sätt mäta klimatskalets lufttäthet vid ett tillfälle (se figur 15). Detta kan naturligtvis bli svårt att utföra i bebodda lägenheter och även vid mätningar innan inflyttning skett krävs det god planering och stora mängder tätningsmaterial, men är utan tvekan genomförbart om det är avtalat och planerat för. Problem uppstår dock om byggnaden är utförd med loftgångslösning och skulle enstaka lägenheter ha stora läckage upptäcks inte dessa.

Ytterligare en lösning är att ställa kravet på lufttäthet baserat på lägenhetens omslutande yta istället för klimatskalet. Detta gränsvärde borde rimligen bli mindre än det som idag anges för klimatskalet för att undvika en dålig funktion i fasaden och om det provade huset är representativt är



Figur 15: Mätning av läckage genom klimatskalet via trapphus.

mellanbjälklag avsevärt lufttätare än ytterväggar. Denna typ av krav borde även minska risken för spridning av lukter, ljud och brandgaser i likhet med metod A hos Sandberg et al (2007) (se kapitel 2.2) och bör också vara fördelaktigt i byggnader med individuell energimätning. Det finns naturligtvis all anledning att fundera på om ett sådant lägre gränsvärden skulle öka de totala kostnaderna vid byggnationen.

Även den av Sandberg et al (2007) beskrivna metoden att åstadkomma ett motsvarande tryck i grannutrymmen är naturligtvis fullt möjlig, men liksom några av förslagen ovan kan det i situationer som loftgångshus innebära att en större mängd tid och utrustning och tillgänglighet är nödvändig. Förutom att fler utrustningar ger fler felkällor skulle detta leda till högre kostnader för att utföra mätningarna.

Hos de studerade lägenheterna finns det som man kan se i tabell 2 (s 17) stora skillnader i lufttäthet mellan lägenheterna även om hänsyn tas till skillnader i areor och volym. Tabellen redovisar för varje storhet medelvärdet av de tre lägenheter som har högst respektive lägst värden. Med skillnader på nästan en faktor tre mellan de högsta och lägsta medelvärdena är det uppenbart att valet av lägenheter vid en stickprovsmätning kommer att påverka resultatet dramatiskt. Statistiska metoder kräver ofta att urvalet görs slumpmässigt men det är sannolikt att valet av lägenheter vid en mätning kan påverkas av tillgängligheten och därmed orsaka systematiska fel med eller utan avsikt.

Luftläckaget igenom de uppmätta lägenheternas omslutande area varierar mellan 0,20 och 0,69 l/(s·m²) och de tre uppmätta taklägenheterna ligger alla i överkant. Man kan spekulera i om det finns en koppling mellan taklägenheternas mer komplicerade geometri med fler möten mellan ytor och material (se figur 4) och deras större läckage. Trots det större läckaget ligger lufttätheten taklägenheternas klimatskal under 0,95 l/(s·m²) (se $q_{50,ext}$ i tabell 1) medan det i överslagsberäkningen för den centralt placerade lägenheten ligger i närheten av 1,6 l/(s·m²) vilket inte alls är uppenbart då taklägenheternas uppmätta läckage ligger kring 300 l/s och den centralt placerade lägenhetens på ungefär 130 l/s. Detta samt den stora spridning som finns i mätdata gör att det hade varit intressant att veta hur stor variationen är i en byggnad med en mer uniform lägenhetsutformning.

För att bestämma läckaget genom klimatskalet i det undersökta huset med den tillgängliga utrustningen hade det behövts ytterligare mätningar av läckaget genom bjälklag och till trapphus, inte minst med tanke på variationen i luftläckage mellan lägenheterna. Man kan konstatera att enbart stickprovsmätningar på enstaka lägenheter utförda enligt SS-EN 13829 inte ger en bild av luftläckaget genom klimatskalet i en byggnad. Detta kräver att hänsyn

tas till luftläckaget mellan lägenheterna vilket innebär att detta måste bestämmas genom utökade mätningar.

Sammantaget finns det goda möjligheter för missförstånd och misstag när det ställs krav på lufttätethet i flerfamiljsbostäder och kraven sedan ska följas upp. Risk finns för misstag, missförstånd och dåliga val både när man definierar vad som eftersöks, gör urval, mäter och analyserar resultatet och till sist presenterar resultatet. Det hade varit önskvärt att undvika den risken för misstag och godtycke genom att tydligare definiera hur kraven ska kontrolleras. Ett tydligt definierat krav bör rimligen mötas av en tydligt definierad mätmetod för att kunna vara meningsfullt. Om det skulle visa sig vara så att det inte går att utforma en praktiskt användbar och kostnadseffektiv mätmetod bör man kanske överväga att omformulera kravet. Går det inte att kontrollera kravet enkelt och till en rimlig kostnad finns det en risk att kontrollen inte blir gjord.

Andra frågeställningar som framträtt under arbetets gång är till exempel hur lufttätetheten förändras över tiden. Dels vid mätningstillfället då det relativt kraftiga trycket kan tänkas öppna eller sluta läckagevägar men kanske framför allt hur lufttätetheten kommer att förändras under byggnadens livstid. Det verkar sannolikt att dimensionsförändringar orsakade av variation i temperatur och luftfuktighet tillsammans med materialens åldrande kan orsaka luftläckage och att slitage och normalt användandet av byggnader kommer att påverka lufttätetheten. Ett typiskt exempel på läckage orsakat av boende är såkallade molly-pluggar och infälld belysning. Naturligtvis uppstår problem om man en längre tid efter en byggnads färdigställande ska försöka skilja på läckage orsakat av de boende och effekter av långtidsegenskaperna hos konstruktionen och utförandet.

Till sist kan man naturligtvis argumentera för att vissa byggnader är ovanligt utsatta och svåra att mäta, men å andra sidan gör deras utsatta läge att de är extra beroende av god lufttätethet för sin funktion. Vindkänsligheten hos mätmetoden är utan tvekan ett problem och man kan fråga sig hur den ska hanteras. Det blir en moment 22-situation där utsatta hus med ett verkligt behov av kontroll kommer att vara svårast att mäta.

6 Slutsatser

Olika lägenheters uppmätta luftläckage varierar stort, med mer än en faktor tre, även då hänsyn tagits till skillnader i lägenheternas volym och areor. Om detta skulle vara representativt för lägenheter i flerbostadshus är stickprovsmätningar av enstaka lägenheter en osäker metod för att verifiera lufttätethet.

Då nu förekommande svenska krav på lufttätethet utgår från läckaget genom klimatskärmen medan mätstandard SS-EN 13829 mäter läckaget i sin helhet utan att kunna hänföra det till specifika ytor i en lokal, uppstår det problem om man önskar mäta läckaget i ett flerbostadshus genom stickprov. Eftersom det ändå hänvisas till SS-EN 13829 i kravspecifikationer finns det en risk att det ställs likhetstecken mellan läckaget genom klimatskalet och läckaget genom lägenhetens hela omslutande area medan det i själva verket kan vara stora skillnader dem emellan.

I en centralt placerad lägenhet går en stor del av läckaget mellan grannlägenheter och idag finns inga metoder som är praktiskt användbara för att mäta och ta hänsyn till läckaget om kontrollmätningar i fastighetsbeståndet ska utföras i större omfattning.

För att kunna åstadkomma verifierbart lufttäta flerbostadshus krävs ett entydigt krav som kopplas till entydiga mätmetoder. Att inte ha en tydligt definierad mätmetod ger utrymme för godtycke och gör att valen av mätmetoder, analysen av resultaten och inte minst valen av lägenheter att prova, enkelt kan anklagas för att vara gjorda med bristande objektivitet.

7 Referenser

- BAGGE, H. (2007) Energy use in multi-family dwellings : measurements and methods of analysis. Lund, Building physics LTH, Lund University.
- BERGGREN, E. & STANDARDISERINGEN I SVERIGE (2004) *Byggstandard 2004. [D. 2], Utförande och kontroll*, Stockholm, SIS förlag
- BOVERKET (2008) *Regelsamling för byggande, BBR 2008*, Karlskrona, Boverket.
- BURSTRÖM, P. G. (2001) *Byggnadsmaterial : uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*, Lund, Studentlitteratur.
- CARLSSON, M. (2004) Inomhusklimatproblem i Sundshuset Västra Hamnen i Malmö. *Avdelningen för installationsteknik*. LTH, Lunds universitet.
- FORUM FÖR ENERGIEFFEKTIVA BYGGNADER (2007) *Kravspecifikation för passivhus i Sverige : energieffektiva bostäder : Energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus version 2007:1*, [Göteborg], Forum för Energieffektiva Byggnader.
- JOHANSSON, M. & IRMINGER STREET, C. (2003) *Termisk komfort, vindpåverkan och energianvändning för två lägenheter i Västra hamnen, Bo01*, Helsingborg, LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg, Lunds universitet.
- MALMÖ STAD, L. K., LUNDS UNIVERSITET (2008) Miljöbyggprogram SYD. Förslag 080201 ed.
- MATTSSON, B. (2007) Studies on building air leakage : a transient pressurisation method, measurements and modelling. *Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie, 0346-718X ; 2639*. Göteborg, Chalmers University of Technology.
- NILSSON, A. (2004) *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*, Lund, Univ.
- SANDBERG, P. I., SIKANDER, E., WAHLGREN, P. & LARSSON, B. (2007) Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen - Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler. Borås.
- SEBASTIANO, D. & PAUL, F. (2005) Airtightness Testing of Two- and Three-Unit Buildings with a Single Fan. *Journal of Architectural Engineering*, 11, 19-24.
- SHERMAN, M. H. (1990) *Air change rate and airtightness in buildings*, Philadelphia, ASTM.
- SHERMAN, M. H. & CHAN, R. (2004) Building Airtightness: Research and Practice LBNL-53356 ed., Lawrence Berkeley National Laboratory
- STATENS PLANVERK (1976) Svensk byggnorm : SBN 1975. Suppl. 1, Energihushållning mm = [Supplement no. 1 to 'Svensk byggnorm 1975']. Stockholm, LiberFörlag/Allmänna förlaget

8 Bilagor

Bilaga 1 - Exempel på rapport från TECTITE

Bilaga 2 - Matlabprogram

Bilaga 1- Exempel på rapport från TECTITE

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2008-03-20
 Test File: 13press

Technician: JS

Customer:

Building Address: Havshuset

Airflow at 50 Pascals: 137 lps (+/- 1.0 %)
 (50 Pa = 0.2 w.c.) 1.79 ACH (1/h)
 1.32 lps/m² Floor Area

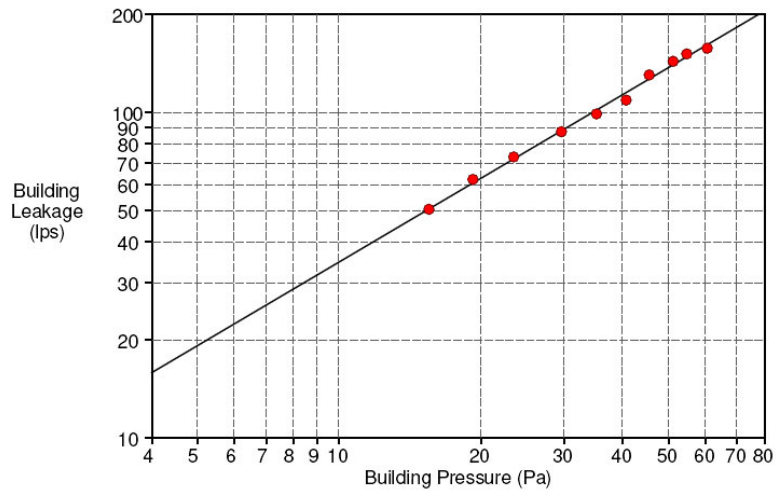
Leakage Areas: 139.6 cm² (+/- 4.6 %) Canadian EqLA @ 10 Pa
 61.6 cm² (+/- 7.4 %) LBL ELA @ 4 Pa

Minneapolis Leakage Ratio:

Building Leakage Curve: Flow Coefficient (C) = 4.9 (+/- 11.5 %)
 Exponent (n) = 0.854 (+/- 0.030)
 Correlation Coefficient = 0.99501

Test Standard:	EN 13829	Test Mode:	Pressurization
Type of Test Method:	B	Regulation complied with:	none
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature:	21 °C	Volume:	277 m ³
Outside Temperature:	2 °C	Surface Area:	0 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	104 m ²
Wind Class:	4 Moderate Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Exposed Building	Building Dimensions:	5 %
Type of Heating:	radiators	Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:	none		
Type of Ventilation:	None		



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 2008-03-20 Test File: 13press

Comments

Data Points:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (lps)	Temperature Adjusted Flow (lps)	% Error	Fan Configuration
2.9	n/a				
63.0	45.6	152	158	-2.5	Ring B
57.3	42.1	147	152	2.0	Ring B
53.7	37.9	139	144	2.5	Ring B
48.0	31.2	126	131	2.9	Ring B
43.2	321.7	106	109	-5.3	Ring C
37.7	265.4	96	99	-2.7	Ring C
32.1	207.5	85	88	-0.7	Ring C
25.9	145.9	71	73	1.4	Ring C
21.7	106.9	60	62	2.6	Ring C
17.9	70.4	49	51	-0.3	Ring C
1.9	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = 0.0 p01+ = 2.9 p02- = 0.0 p02+ = 1.9					

Bilaga 2 - Matlabprogram

```
% program leakage_search
clear; clc; close all; sfz='fontsize'; fz=12; tab=[];
q=[ 138 130 116 -112 -123 -135]';
dp1=[ 50 50 50 -50 -50 -50]';
dp12=[ 100 50 0 0 -50 -100]';
for n=[ 100:200 ]/200
    A=[ sign(dp1).*abs(dp1).^n sign(dp12).*abs(dp12).^n ];
    x=A\q; qm=A*x; e=qm-q;
    xs=A(:,1)\q; qms=A(:,1)*xs; es=qms-q;
    tab=[ tab; n x(1) x(2) x(2)/x(1) std(e) xs(1) std(es) ];
end;

% find best fit
[ smin imin ]=min(tab(:,5));
n=tab (imin,1);
A=[ sign(dp1).*abs(dp1).^n sign(dp12).*abs(dp12).^n ];
x=A\q; qm=A*x; e=qm-q;
x(3)=x(2)/x(1); xr=round(1000*x)/1000;

[ smin imins ]=min(tab(:,7));
ns=tab (imins,1);
A=[ sign(dp1).*abs(dp1).^ns ];
xs=tab(imins,6); qms=A*xs; es=qms-q;

figure(1); hold on; axis([ -200 200 -200 200 ], 'square');
xlabel(' Mätt flöde ',sfz,fz);
ylabel(' Beräknat flöde ',sfz,fz);
title([' n = ' num2str(n) ' x = ' num2str(xr) ],sfz,fz);
plot(q,qm, 'ok');
plot(q,qms, '+r');
plot([ -200 200 ], [ -200 200 ],'r');
plot([ -200 200 ], [ 0 0 ],'g');
plot([ 0 0 ], [ -200 200 ],'g');
```