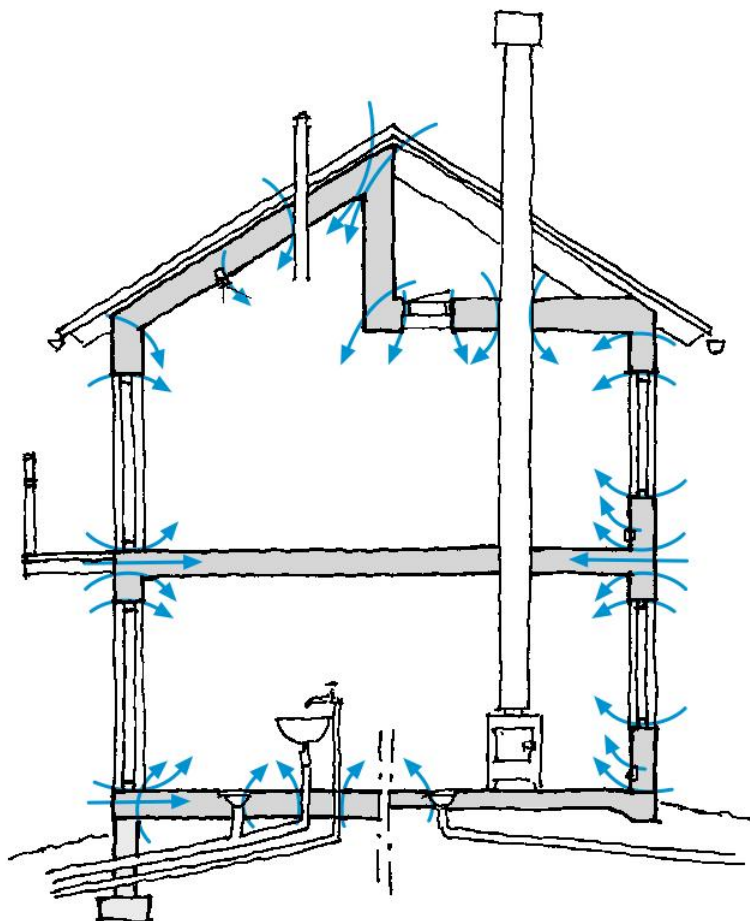


Alternativa metoder för utvärdering av byggnadsskalets lufttätethet

Eva Sikander, Paula Wahlgren



Alternativa metoder för utvärdering av byggnadsskalets lufttäthet

Eva Sikander, Paula Wahlgren

Abstract

Airtightness plays an important role when constructing energy efficient, sustainable and healthy buildings. In order to obtain airtight buildings, the airtightness needs to be evaluated during the construction phase. This enables improvements of the airtightness in an easy and cost-efficient way.

During the construction phase, it is difficult to quantify the airtightness. However, detecting and sealing air leakages are good measures to improve the airtightness of the building. Several methods to detect air leakages are presented. A methodology to search for air leakages in buildings during construction has been developed, together with contractors and experts, and the methodology has been used at two building sites.

The quantifiable airtightness of a building is determined by measuring the airflow that enters or exits the building at a certain pressure difference over the building envelope. In some cases it is not possible to measure airtightness according to standard. Therefore, a number of alternative methods have been evaluated. These methods include: extrapolation of measured data to a range used in standard measurements, using a buildings ventilation system fans to create a pressure difference over the building envelope, measuring the airtightness of a smaller part of the building (apartment, fire compartment or component) and tracer gas measurements.

Key words: airtightness, air leakage, air permeability, fan pressurization method

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2008:36
ISBN 978-91-85829-52-1
ISSN 0284-5172
Borås 2008

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord	6
Sammanfattning	7
1 Inledning	9
2 Syfte	11
3 Genomförande	12
4 Att säkra lufttäteten tidigt i byggprocessen	13
4.1 Hjälpmedel framtagna i Sverige – exempel	13
4.2 Erfarenheter från några byggherrar	13
4.3 Erfarenheter från andra länder	14
4.4 När i byggskedet kan läckagesökning respektive kvantifierande mätning ske?	15
5 Metoder för läckagesökning	17
5.1 Metoder för trycksättning	18
5.2 Trycksättning av hel eller del av byggnad	19
5.3 Läckagesökning med tryckskillnad över klimatskalet	19
5.4 Läckagesökning utan trycksättning	22
5.5 Utvärdering av tillvägagångssätt och metoder för läckagesökning	23
5.6 Instruktion för tidig läckagesökning	25
6 Metoder för täthetsprovning	30
6.1 Allmänt	30
6.2 Täthetsprovning enligt EN13829:2000	31
6.3 Täthetsprovning med hjälp av byggnadens ventilationssystem	33
6.4 Extrapolering av mätvärden	33
6.5 Täthetsprovning av en brandcell	34
6.6 Spårgasmätning	35
6.7 Enskild byggnadsdel	36
7 Slutsatser	38
7.1 Metod för läckagesökning i tidigt skede i byggprocessen	38
7.2 Metoder för att täthetsprova stora byggnader	38
8 Referenser	39
Bilaga 1. Checklista för projektering för lufttätet	41
Bilaga 2. Enkel checklista för entreprenörens egenkontroller/Exempel på kontrollplan för lufttätt byggande	43
Bilaga 3. Luftläckagerapport	44
Bilaga 4. Informationsblad ”Lufttätetens lov”	45

Bilaga 5.	Erfarenheter från entreprenörens egen läckagesökning, Byggarbetsplats 1	46
Bilaga 6.	Erfarenheter från entreprenörens egen läckagesökning, Byggarbetsplats 2	48
Bilaga 7.	Extrapolering av mätvärden	50
Bilaga 8.	Tryckprovning med hjälp av byggnadens ventilationssystem	54
Bilaga 9.	Provning av brandceller	55

Förord

Denna rapport vänder sig till aktörer i byggsektorn som arbetar med att mäta lufttäthet hos byggnadsskalet, som gör läckagesökningar och som arbetar med att förbättra lufttäteten hos byggnader. Projektet syftar till att ge byggsektorn en översikt över och en beskrivning av tillvägagångssätt och metoder som finns tillgängliga idag.

Eftersom värdefull kunskap och erfarenheter finns på många företag och hos många personer, har det inom detta projekt varit viktigt att engagera några av dessa. Vi vill därför rikta ett varmt tack för engagemang, kunskap, material, tid m m som man bidragit med.

Inom arbets- och expertgrupperna där projektet planerats, bearbetats och rapporten remitterats har följande personer och företag deltagit:

Pär Åhman, BI Väst
 Johan Alte, Veidekke
 Dick Jimar, AF Bygg
 Rolf Jonsson, Wäst-Bygg
 Claes Bankvall, Chalmers
 Carl-Eric Hagentoft, Chalmers
 Johan Claesson, Chalmers
 Angela Sasic Kalagasidis, Chalmers
 Anker Nielsen, SP/Chalmers
 Per Ingvar Sandberg, SP
 Ingemar Nilsson, SP
 Owe Svensson, SP

I referensgruppen har dessutom FoU-Väst deltagit.

Förutom ovanstående har följande personer bidragit med kunskap och sina värdefulla synpunkter, bl a i samband med intervjuer:

Fredrik Ståhl, CA-Consult
 Fredrik Gränne, NCC
 Krister Larsson, SP
 Willy Ociansson, Karlstads Bostads AB

Provobjekt och testpersonal där metoder utvärderats har tillhandahållits av AF-Bygg, Wäst-Bygg, Peab, Skanska och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Fastighetsavdelningen.

Flera företag har erbjudit mätningar och sammanställningar över mätresultat, bl a Boverket och Älvstranden Utvecklings AB.

Projektet har finansierats av Energimyndigheten. Därtill har ett flertal av de medverkande företagen bidragit med tid, provobjekt, mätningar, sammanställningar m m.

Borås i augusti 2008

Eva Sikander och Paula Wahlgren

Sammanfattning

En god lufttätethet är en förutsättning för energieffektiva och sunda byggnader, och för att få en god lufttätethet är det viktigt att kunna utvärdera lufttätetheten. Dessutom ställs det allt oftare krav på lufttätetheten. Det är angeläget att lufttätetheten utvärderas tidigt i byggprocessen eftersom det då är möjligt att på ett enkelt och effektivt sätt åtgärda problem med lufttätetheten. Ett antal metoder för att bedöma lufttätethet har föreslagits och utvärderats. För att kunna förbättra lufttätetheten rekommenderas en läckagesökning tidigt i byggprocessen. Senare bör även en kvantifierande täthetsprovning utföras för att följa upp att krav på lufttätethet uppfyllts.

Läckagesökningar som kräver trycksättning av byggnaden (5 st) och som inte kräver trycksättning (3 st) beskrivs. En instruktion för bedömning av luftläckage har skrivits och prövats på två byggarbetsplatser, varefter instruktionen har reviderats efter utförarnas erfarenheter. Den föreslagna metodiken för att söka luftläckage är:

- Välj byggnad eller del av byggnad som är tillräckligt färdigställd för att kunna trycksättas.
- Granska ritningar och gör en okulärbesiktning av byggnaden för att identifiera problemområden.
- Trycksätt byggnaden.
- Utför läckagesökning med en eller flera av följande metoder; den egna handen, lufthastighetsmätare, rök eller värmekamera.
- Identifiera läckageställen och täta dem.
- Skriv läckagerapport och för vidare erfarenheterna.
- Upprepa eventuellt i fler byggnader/lägenheter.

För att få ett mått på tätheten i en byggnad krävs en viss grad av färdigställande (att det lufttäta skiktet är tillräckligt komplett). I en del fall kan byggnaden täthetsprovas enligt standard men i många fall krävs speciella åtgärder. Orsaken kan vara att man inte kan bygga upp tillräckligt tryck i byggnaden, antingen för att byggnaden är för otät (möjligtvis inte färdigställd) eller för att byggnaden är för stor och flätkapaciteten inte är tillräcklig för att skapa en tryckskillnad på 50 Pa som krävs enligt standard.

De metoder som har undersökts för täthetsprovning, förutom standardmätning, är:

- Extrapolering av mätvärden. Tätheten mäts vid en lägre tryckskillnad över klimatskalet och mätvärdena extrapoleras till en täthet vid 50 Pa. Metoden har provats för en förhållandevis tät byggnad och fungerade väl.
- Täthetsprovning med hjälp av byggnadens ventilationssystem. För att skapa en tryckskillnad över klimatskalet används byggnadens eget ventilationssystem. Detta kan kombineras med en extern fläkt. Metoden har provats på ett flervånings kontorshus med lovande resultat.
- Täthetsprovning av en brandcell. Istället för att prova en hel byggnad provas en del av en byggnad. Det finns flera sätt att hantera de inre läckagen och metoden har varierande noggrannhet. Täthetsprovning av enstaka brandceller har mätts i två byggnader och i dessa fall var de inre läckagen betydande dvs det var inte möjligt att utvärdera hela byggnadens täthet med utgångspunkt från mätningar av enstaka brandceller. Det har också visats att det är en betydande spridning i täthet hos lägenheter inom samma byggnad.
- Spärgasmätning. Denna metod används oftast för att undersöka ventilationssystemets funktion men det är också möjligt att utvärdera lufttätethet. Metoden är något mer komplicerad och utrustningskrävande än ovanstående metoder.

- Provning av enstaka byggnadsdel. I vissa fall är det inte möjligt att trycksätta vare sig en hel byggnad eller en brandcell. Då kan det vara nödvändigt att mäta tätheten hos en byggnadskomponent eller del av sådan. Tre olika strategier beskrivs.

1 Inledning

Byggnadens lufttätethet har stor betydelse för dess energianvändning och därmed miljöpåverkan och driftkostnad. Detta visas bland annat i rapporterna Sandberg et al. (2007) samt Sandberg och Sikander (2004). Problemen som kan undvikas genom en god lufttätethet kan delas upp i sex grupper: ökad energianvändning, fuktskador, försämrad luftkvalitet, bristande termisk komfort, höga radonhalter (markradon) samt brand- och ljudspridning.

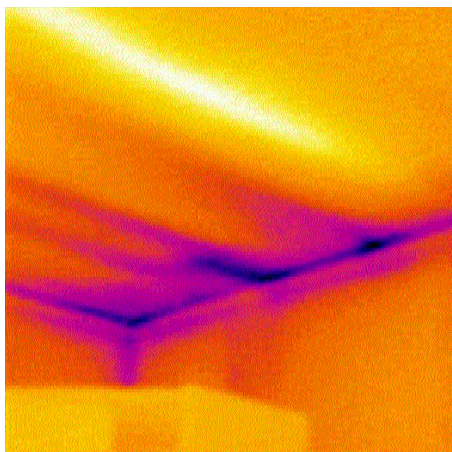
Energieffektiviteten hos en otät byggnad minskar dels för att man får ökad ofrivillig ventilation, dels för att isoleringsförmågan hos konstruktionen kan minska när det blåser, men även för att värmeväxling (värmeåtervinning av ventilationsluften) inte kan fungera tillfredsställande när luftläckaget genom klimatskalet är stort. I Boverkets byggregler ställs krav på maximal energianvändning i nya byggnader. Detta krav, som infördes i juli 2006, bidrar till byggsektorns ökade fokus på byggnadsskalets lufttätethet.

Fuktsäkerheten påverkas också av lufttätetheten. Exempelvis blir det ofta skador på vindar för att fuktig luft från bostad/kontor har läckt upp via otätheter i vindsbjälklaget.



Figur 1 Mögelpåväxt på insida yttertak på grund av fuktkonvektion.

Otätheter ökar även spridning av partiklar och gaser såsom radon, brandgaser, matos och röklukt från exempelvis en lägenhet till en annan. Det går heller inte att filtrera tilluften om luften tas genom klimatskalet istället för via filter i ventilationssystemet. För en god termisk komfort utan drag och nedkylda ytor krävs också en lufttät byggnad.



Figur 2 Bilden som är tagen med en termovisionskamera visar hur det drar in kall luft vid anslutning mellan innertak och yttervägg. Mörk färg är kall yta och vit färg är varm yta. Det skiljer mer än tio grader mellan varmaste och kallaste punkten.

Sedan 1 juli 2006 har Boverkets byggregler (BBR) inte längre något specifikt krav på lufttätethet, till skillnad från Norge, Danmark, Finland, Tyskland och Österrike m.fl. Lufttätethetskravet anses i BBR ingå i övriga krav, bl a energihushållning, och kvantifieras inte. Detta gör att det är viktigt för byggherren/beställaren att formulera och följa upp egna krav.

För att kunna verifiera att nya byggnader uppfyller byggherrens ställda krav avseende lufttätethet måste lufttätetheten följas upp med mätningar och luftläckagesökningar. Mätningar genomförs idag oftast då byggnadsskalet i sin helhet är färdigställt. Vid täthetsprovning påförs byggnaden ett övertryck respektive ett undertryck och läckaget/luftflödet mäts enligt EN13829:2000.

De brister som finns i dagens rutiner och metodik för att följa upp byggnadsskalets lufttätethet är bl a följande:

- Brister i byggnadsskalets lufttätethet upptäcks oftast vid täthetsprovningen som genomförs då hela byggnaden är färdigställd. I detta läge är det tekniskt svårt att åtgärda eventuella brister. Åtgärder kan innebära att monterat material behöver demonteras vilket ger kostnader både i form av material, arbetskraft och förskjuten tidplan i ett sent och känsligt läge i byggprocessen. Trots stora insatser är risken att tätheten ändå inte blir helt tillfredsställande. Alternativt blir läckagen inte åtgärdade alls.
- I stora byggnader kan det vara svårt/omöjligt att utföra en täthetsprovning på grund av begränsningar i fläktarnas kapacitet. Av denna anledning är det tyvärr sällan som tätheten kontrolleras i stora byggnader.
- I de fall provningen endast skall avse en del av byggnaden (ibland aktuellt i exempelvis radhus eller enskilda lägenheter) kan ett "mottryck" behöva upprättas i angränsande delar av byggnaden. Detta innebär ett mer omständigt och tidskrävande genomförande med högre kostnad för täthetsprovningen som följd.

Om bristerna i lufttätetheten kan åtgärdas tidigare i byggprocessen genom utveckling av alternativa provmetoder och rutiner kommer dessa att kunna bidra till att brister i byggnadens lufttätethet kan åtgärdas utan att stora resurser sätts in.

2 Syfte

Syftet med detta projekt är att kartlägga metoder och utveckla metoder för att utvärdera lufttätheten hos klimatskärmen (hela eller delar av den), vilket är en viktig förutsättning för effektiv energianvändning.

Projektets har två delmål:

1. Att utveckla metoder för att på ett praktiskt genomförbart sätt och tidigt i byggprocessen kunna kontrollera lufttätheten hos tekniska lösningar och arbetsutföranden. Det är önskvärt att metoderna är enkla att utföra och billiga.
2. Att utveckla metoder för att på ett enkelt sätt kontrollera representativa delar av en stor byggnad som alternativ till att täthetsprova en hel byggnad, exempelvis genom att använda byggnadens brandceller som utgångspunkt för provningen. Vid täthetsprovning trycksätts byggnaden vanligtvis med en extern fläkt, vilket kan vara svårt att göra på stora byggnader (stora luftförluster) så metoden att trycksätta byggnaden med hjälp av ventilationssystemet undersöks.

3 Genomförande

En översikt av läget med avseende på luftläckage och täthetsprovning har gjorts som ett första steg. Detta har omfattat litteratursökning samt inventering av standarder och tillgänglig utrustning för mätningar och luftläckagesökningar. Av det erhållna materialet har sedan en gallring gjorts med hjälp av personer med erfarenhet från täthetsprovningar, en expertgrupp och entreprenörer. Några av de då föreslagna metoderna för luftläckagesökning och täthetskontroll har provats i fält och erfarenheterna utvärderats.

4 Att säkra lufttätheten tidigt i byggprocessen

4.1 Hjälpmedel framtagna i Sverige – exempel

I Sandberg (2007) finns beskrivningar och hjälpmedel till byggherren för att få en lufttät byggnad. Byggherrens styrning sker genom att formulera tydliga krav på lufttätethet, att tydliggöra ansvarsfördelning för att de olika kraven skall uppfyllas, att kontrollera och säkerställa att de upphandlade aktörerna (projektörer och entreprenörer) har erforderlig kompetens och att följa upp att kraven uppfyllts.

Byggherrens krav för att säkerställa en lufttät byggnad är flera och sträcker sig över flera skeden i byggprocessen enligt följande:

- En ansvarig för lufttätetsfrågorna skall utses hos projektören.
- Projekteringen skall ge förutsättningar för att byggnaden uppfyller täthetskravet, som kan vara (beroende på ambitionsnivå och andra förutsättningar) 0,2 till 0,6 l/m²s vid 50 Pa tryckskillnad.
- Projekteringen skall ge goda förutsättningar för lufttätethet som är beständig.
- Projektering för lufttät byggnad skall tydligt redovisas på detaljnivå.
- En ansvarig för byggnadens lufttätethet under byggskedet utses av entreprenören.
- Arbetsplanering skall utföras och en plan för egenkontroller skall upprättas.
- Utbildning av personal på byggarbetsplats skall genomföras.
- Resultat från egenkontroller skall dokumenteras.
- Mätningar och läckagesökning skall genomföras i tidigt skede (detta projekt ger vägledning för arbetet).
- Verifierande mätning skall genomföras vid färdigställande av byggnadens klimatskal som visar om det ställda täthetskravet är uppfyllt.

Den metod som används för verifiering av en byggnads lufttätethet är i de flesta fall en standardiserad metod som beskrivs i EN 13829:2000. Denna metod kräver att byggnaden kan trycksättas dvs att den är tillräckligt färdigställd för att kunna trycksättas (färdig lufttätning). I samband med täthetsprovningen kan läckagesökning utföras, vilket oftast utförs med hjälp av värmekamera, lufthastighetsmätare eller rök.

En checklista för byggherrens uppföljning av projektering finns i Bilaga 1 och Exempel på kontrollplan för lufttätt byggande finns i Bilaga 2.

4.2 Erfarenheter från några byggherrar

Intervjuer har genomförts med några byggherrar som vid ett flertal genomförda byggprojekt satsat på god lufttätethet. Erfarenheterna från byggprojekten visar bland annat att det har varit framgångsrikt att färdigställa en del av en byggnad tidigt. I denna del, som kan vara en lägenhet eller en mindre byggnad, färdigställs klimatskalet och en fläkt bildar en tryckskillnad över klimatskalet. Läckage har sedan företrädesvis sökts med hjälp av värmekamera. Det viktigaste i förfarandet, enligt dessa byggherrar, har varit att de som har och kommer att arbeta med klimatskalets lufttätethet har varit aktivt närvarande vid utvärderingen. I samband med läckagesökningen har förbättringar utförts och utvärderats. Erfarenheterna har dessa personer sedan tagit med sig till täthetsutförandet av resterande del av byggprojektet.

De aktuella byggherrarna har också valt att regelbundet upprepa mätningarna och läckagesökningarna i olika delar av byggnaden eller i olika byggnader. Byggnadsarbetarna har deltagit som utförare. Läckagesökningarna har därmed givit de som deltagit förståelse för vikten av noggrant arbetsutförande och erfarenhet av hur god lufttätethet kan utföras.

4.3 Erfarenheter från andra länder

Även om detta arbete är inriktat på att uppskatta lufttätetheten under byggfasen så kan det vara nyttigt att få en inblick i hur lufttätetheten kan säkerställas genom hela byggprocessen. Ett ambitiöst arbete för kvalitetssäkring av lufttätetheten finns beskrivet i Knight et al. 2003. Där delas arbetet upp i Pre-Construction Phase, Construction-in-Progress Phase och Post-Construction Phase. I den inledande fasen, Pre-Construction Phase, möts byggherren, konstruktörer, entreprenörer samt konsulter, och går igenom ritningar och specifikationer. Därefter testas byggsystemet i laboriemiljö (ASTM E 2099¹ och ASTM E 283²). Till dessa laborietester väljs sektioner hos systemet där det ofta uppstår problem med otätheter, som t ex anslutningar. Testerna utförs av en oberoende part. I en del fall testas även lufttätetheten i fält, som en del av det färdiga systemet (ASTM E 783³).

Under byggtiden utförs tester av både arbetslagen och oberoende part. Man siktar i USA och Kanada på att den som utför arbetet med byggnadens tätskikt är utbildad på området. Tätskiktsutförare ansvarar också för mätningar av täthet, vilket även inkluderar skrivande av protokoll och daglig inspektion av arbetet med lufttätethet. I Nordamerika är tätskikten ofta självhäftande eller limmade. I ASTM E 1186⁴ finns ett flertal metoder för att testa lufttätetheten hos byggnadsdelar. En provarea som är representativ för byggnaden väljs. Metoderna i ASTM E 1186 ger en kvalitativ och visuell uppskattning av lufttätetheten, till skillnad från de tidigare nämnda mätmetoderna som ger ett kvantitativt mått på täthet. Även under byggskedet rekommenderas att mätningar och visuella inspektioner utförs av oberoende part (enligt ASTM E 783 och ASTM E 1186).

Efter att byggnaden färdigställts kan hela byggnadens eller delar av byggnadens lufttätethet uppskattas. Standarderna ASTM E 741⁵ och ASTM E 779⁶ ger kvantitativa mått på lufttätetheten medan ASTM E 1186 används för att undersöka var det finns läckage. En senare och kortare beskrivning av ovanstående kvalitetssäkringsarbete finns i Knight and Boyle (2007). Anis (2005) beskriver ett liknande kvalitetssäkringsarbete. En bra sammanställning av tillgängliga mätmetoder finns i Wray et al. 2002.

¹ ASTM E 2099 Practice for the Specification and Evaluation of Pre-Construction Laboratory Mockups of Exterior Wall Systems

² ASTM E 283 Test Method for Determining the Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen

³ ASTM E 783 Test Method for Field Measurement of Air Leakage Through Installed Exterior Windows and Doors

⁴ ASTM E 1186 Standard Practices for Air Leakage Site Detection in Building Envelopes and Air Barrier Systems

⁵ ASTM E 741 Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution

⁶ ASTM E 779 Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization

4.4 När i byggskedet kan läckagesökning respektive kvantifierande mätning ske?

4.4.1 Läckagesökning

Vid en läckagesökning identifieras ställen där luften kan läcka genom klimatskalet. För att kunna förbättra lufttätheten i byggnadsskalet så är det bättre ju tidigare man kan göra en läckagesökning. Ju längre fram i byggskedet, desto svårare är det att åtgärda läckagen. Den huvudsakliga lufttätheten i en konstruktion kan skapas dels av ett lufttätt skikt (exempelvis plastfolie i en träregelvägg) och dels av en homogen konstruktion (exempelvis en betongvägg). I båda fallen är det viktigt att genomföringar och anslutningar (t ex fönsteranslutningar) är täta.

En okulär bedömning kan utföras kontinuerligt, så fort det lufttäta skiktet är tillräckligt komplett och anslutningar och skarvar färdigställda. Om en läckagesökning skall göras som kräver en tryckskillnad över klimatskalet så måste det vara möjligt att upprätta en tryckskillnad. För att kunna åstadkomma detta måste byggnaden eller den del av byggnaden som skall studeras ha en klimatskärm där det lufttätande skiktet (oftast en plastfolie) är monterad och anslutningar/ genomföringar/skarvar är färdigställda. Däremot behöver t ex inte den invändiga skivan vara monterad, såvida den inte är en del i tätningssystemet. Öppningar för fönster och dörrar måste vara provisoriskt tätade om inte fönster och dörrar redan är monterade. Skall en mindre del av en byggnad läckagesökas måste utrymmet begränsas, t ex med mellanväggar som kan vara provisoriska. Rör och kanaler tätas provisoriskt liksom schakt, annars strömmar alltför stora mängder luft dessa vägar.



Figur 3 En tidig läckagesökning av fönsteranslutning kan utföras före den invändiga skivan är monterad. Då kan kompletterande åtgärder på ett enkelt sätt utföras.

4.4.2 Täthetsprovning – kvantifierande mätning

Vid en täthetsprovning mäts hur mycket luft som kan läcka genom klimatskalet, ofta för att kunna jämföra med det krav på lufttäthet som formulerats för klimatskalet. För att kunna utföra en rättvisande kvantifierande mätning måste hela klimatskärmen vara färdigställd. Ibland väljer man att göra den kvantifierande mätningen före den invändiga skivan är monterad och innan målnings- och spacklingsarbetet är slutfört. Det är oklart

hur mycket detta sista arbete bidrar till byggnadens totala lufttätethet. Mätningar som utförts i en byggnad före och efter det att den invändiga skivan monterats och målningsarbetet utförts visar att detta arbete har en viss positiv påverkan – se Tabell 1. Hur stor förbättringen av lufttätetheten blir varierar från fall till fall. Erfarenheter från en småhusproducent är att förbättringen kan motsvara cirka 0,1-0,15 l/m²s.

Tabell 1 Luftläckage över klimatskärmen före och efter det att den invändiga ytan färdigställts. Täthetsprovningen är utförd i flerfamiljshus i betong med utfackningsväggar. Inget mottryck i angränsande lägenheter har förekommit.

	Täthetsprovning före färdigställande av den invändiga ytan	Täthetsprovning efter målningsarbete och flytspackel på golv	Förbättring
Lägenhet 1	1,17 l/m ² s*	0,94 l/m ² s	0,23 l/m ² s
Lägenhet 2	1,14 l/m ² s**	0,76 l/m ² s	0,38 l/m ² s

* *invändig skiva ej monterad*

** *invändig skiva monterad men ej spacklad och målad*



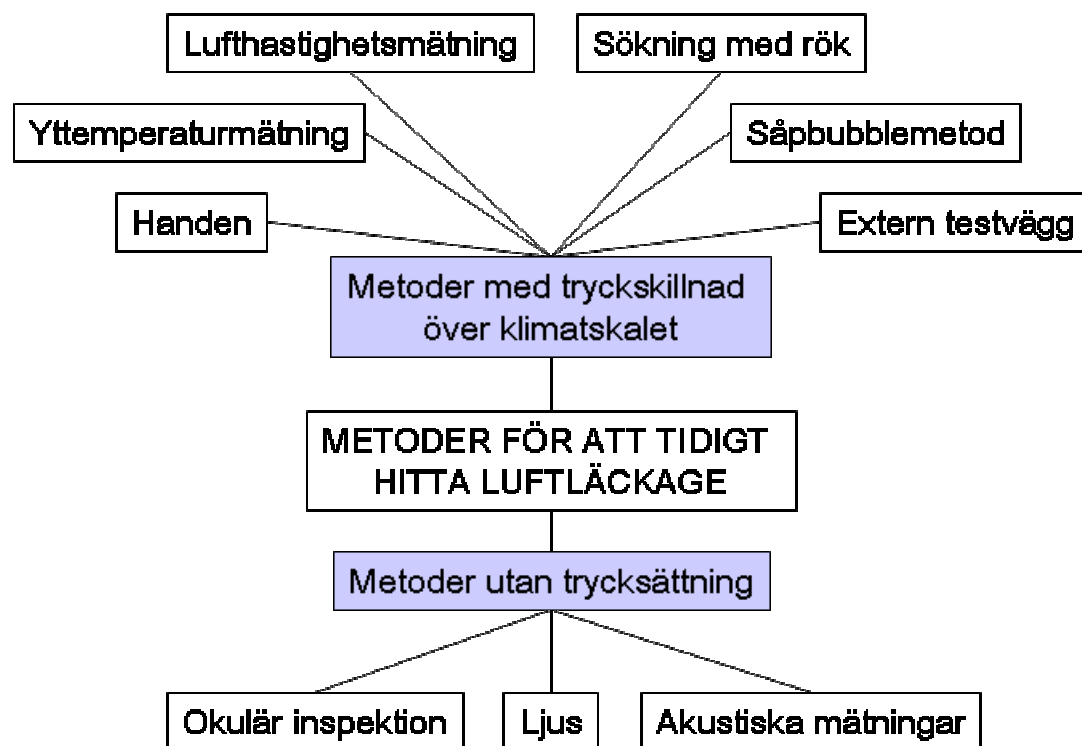
Figur 4 Täthetsprovning kan utföras före den invändiga gipsskivan är monterad.

5 Metoder för läckagesökning

För att så tidigt som möjligt under byggskedet kunna identifiera lösningar i klimatskalet som kan förbättra lufttätheten kan entreprenören själv med egen personal göra en enkel läckagesökning. Läckagesökningen syftar inte till att ge ett kvantifierat mått på hur tät konstruktionen är utan endast till att identifiera brister som därmed kan förbättras. En kvantifiering av byggnadens lufttätet kräver en annan utrustning samt annan kunskap (se vidare under Kapitel 6 nedan).

Metoderna som skall användas för läckagesökning tidigt i byggprocessen bör vara enkla att använda, billiga och inte kräva för mycket personal eller tid. Om metoden skall bli spridd och användbar för en större andel entreprenad- och konsultföretag bör det även vara lätt att införskaffa (köpa eller hyra) utrustning. Det krävs att metoden visar *var* det läcker och inte bara *att* det läcker. I Figur 5 beskrivs ett antal metoder för att upptäcka luftläckagen tidigt i byggprocessen.

Flera av metoderna för läckagesökning kräver olika grad av trycksättning av byggnaden. Ett fåtal kräver ingen tryckskillnad alls över klimatskalet.



Figur 5 Beskrivning av metoder för att söka luftläckage tidigt i byggprocessen

5.1 Metoder för trycksättning

När en byggnad skall trycksättas inför en läckagesökning krävs att ej färdiga konstruktioner och installationer tätas (exempelvis schakt), att tillufts- och frånluftsventiler tätas (ifall inte ventilationssystemet skall användas för trycksättning), att vatten- och avloppsrör tätas osv. Ifall en stor del av byggnaden inte är färdig kan det vara omöjligt att trycksätta byggnaden.

När metoder med trycksättning används krävs att konstruktionen och materialen tål den aktuella tryckskillnaden. Vid för höga tryckskillnader kan exempelvis plastfolien rivas sönder där den är spikad/häftad eller tejp lossna. I vissa fall är det därför bättre att ha övertryck än undertryck ur hållfasthetssynpunkt. I de intervall där täthetsprovning oftast genomförs (upp till cirka 55 Pa tryckskillnad) är det sällan problem med att klimatskalet påverkas negativt. Det kan dock vara motiverat att vara extra observant då tryckskillnad påförs när plastfolien är monterad men inte den invändiga skivan eller invändiga spikreglar. Om plastfolien endast hålls fast med glest placerade klamrar och tejp finns stor risk att plastfolien rivs loss vid invändigt undertryck.

En tryckskillnad över klimatskalet kan åstadkommas på något av följande sätt:

- En extern fläkt (eller flera), som oftast monteras i en ytterdörr (Se Figur 6), skapar ett under- eller övertryck i byggnaden (ofta kallat Blower Door metod).



Figur 6 Fläkt monterad i ytterdörr för att skapa tryckskillnad över klimatskalet.

- Byggnadens ventilationssystem används för att skapa en tryckskillnad över klimatskalet. Ventilationssystemet behöver vara i drift vilket oftast sker i slutet av byggskedet och metoden är därför sällan användbar i byggprocessens tidiga skeden. Se vidare i kapitel 6.3.
- En tryckskillnad över klimatskalet skapas av skorstenseffekten. Detta sker främst i höga byggnader när det är kallt ute. Den varma inomhusluften stiger då uppåt och ger ett övertryck i de övre delarna av byggnaden och ett undertryck i de lägre delarna av byggnaden. En tryckskillnad kan också skapas av vindtryck på byggnaden. Liksom för skorstenseffekten är det till stor del vädret som avgör tryckskillnaden. Vindtrycket är dessutom mycket varierande i tiden samt olika på byggnadens olika sidor. Inte desto mindre kan både skorstenseffekt och vindtryck i vissa fall användas för att spåra läckage med hjälp av exempelvis rök.

5.2 Trycksättning av hel eller del av byggnad

När det gäller större byggnader och byggnader som inte är helt färdigställda men där man ändå vill göra en läckagesökning av en begränsad del av byggnaden används ofta något av följande alternativ:

- Trycksätt ett rum.
- Trycksätt en brandcell eller lägenhet.
- Trycksätt en begränsad byggnadsdel. Bygg upp exempelvis en extravägg parallellt med ytterväggen. Utrymmet mellan ytterväggen och extraväggen kan sedan trycksättas. Utrymmet kan vara förhållandevis litet men skall rymma en person som kan utföra läckagesökningen.
- Trycksättning med hjälp av mätlåda. Mätlådan placeras mot ytan där man misstänker att otätheter finns. I lådan skapas ett undertryck eller övertryck med hjälp av en fläkt.

5.3 Läckagesökning med tryckskillnad över klimatskalet

Följande metoder för läckagesökning kräver en tryckskillnad över klimatskalet. Kvantitativa mätningar, dvs där ett värde erhålls på lufttätheten beskrivs under kapitel 6.



Figur 7 Läckagesökning med hjälp av lufthastighetsmätare. I fallet som bilden visar ville entreprenören utvärdera lufttätheten i anslutningen mellan yttervägg och tak. Ett rum i byggnaden sattes i undertryck och läckagesökningen kunde utföras.

5.3.1 Handen

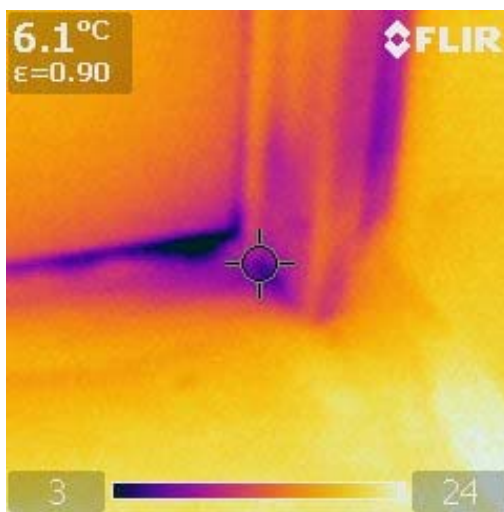
Det enklaste och snabbaste sättet att få en uppfattning om luftläckagens omfattning är att använda handen för att känna efter om det drar. Metoden fungerar ifall det är undertryck i byggnaden och ifall det är kallare ute än inne, och kan användas innan man börjar använda något instrument. Små läckage samt även större läckage där lufthastigheten är låg kan vara svåra att upptäcka med handen.

5.3.2 Yttemperaturmätning

Yttemperaturmätning kan göras med ytermometer eller med strålningsmätning (IR-mätning). Att undersöka klimatskärmen genom att mäta yttemperaturen i enstaka punkter är inte relevant eftersom det är stor risk att läckage missas. Med en IR-kamera kan däremot en stor yta undersökas snabbt. Yttemperaturmätningar utförs under uppvärmnings-säsongen och med undertryck i byggnaden. I vissa fall och för en ovan person kan det vara svårt att skilja inläckande luft från köldbryggor. Då kan man stänga av fläkten (ta bort tryckskillnaden) och i de ifall temperatursänkan kvarstår är det antagligen en köldbrygga. Det underlättar också ifall man kan studera ritningarna där det t ex ska framgå om det finns köldbryggor.

I de fall när temperaturskillnaden mellan ute och inne är liten kan man försöka värma upp utrymmet som skall undersökas en tid innan mätningarna startar. Ifall inte uppvärmningssystemet är i drift kan man använda en byggfläkt. Oftast behövs minst 5 graders (gärna 10 graders) temperaturskillnad för att man framgångsrikt skall kunna se luftläckage med IR-kamera.

IR kamerans utslag beror inte bara på ytans temperatur utan även på ytans emissivitet. Eftersom inga absolutvärden söks här räcker det med att man är medveten om detta. Exempelvis har blanka metaller låg emissivitet, vilket resulterar i låga temperaturutslag. Även en plastfolie har en förhållandevis blank yta. En IR-kamera är dyrare än de nedan beskrivna utrustningarna, däremot går de att hyra där man hyr mätinstrument och testutrustningar.



Figur 8 Om man inte har erfarenhet från termografering kan det vara svårt att tolka bilder från värmekameran. Vissa mörka ytor kan bero på köldbryggor, medan andra kan bero på luftrörelser. Det är därför ofta lämpligt att använda värmekameran för att hitta områden med misstänkta luftläckage och att därefter kontrollera med rök eller lufthastighetsmätare att det verkligen är fråga om ett luftläckage.

5.3.3 Lufthastighetsmätning

Principen för instrument som mäter lufthastighet (typ anemometer) är att luftströmmen får passera förbi en givare. Lufthastigheten mäts helst vid invändigt undertryck i byggnaden, men om det är nödvändigt går det även att mäta lufthastighet vid invändigt övertryck, vilket dock kan vara något svårare. Ifall instrumentet rörs alltför snabbt registreras en lufthastighet (d v s ett luftläckage som inte finns) och ifall instrumentet vinklas fel mot luftströmmen registreras inget luftläckage. Handhavandet lär man sig dock relativt snabbt och lufthastighetsmätning har fördelen att det inte krävs någon temperaturskillnad över klimatskalet. Lufthastigheten är proportionerlig mot otäthetens storlek så en viss kvantifiering ges av läckaget. Nackdelen med lufthastighetsmätning är att man undersöker en liten yta i taget, så det underlättar om man har en uppfattning om var man skall leta efter läckagen.



Figur 9 Läckagesökning med lufthastighetsmätare.

Ytterligare en svårighet med metoden om man inte har erfarenhet från läckagesökningar är att kunna värdera låga och höga lufthastigheter. En låg lufthastighet över lång sträcka eller över stor yta kan vara helt oacceptabelt, medan en hög lufthastighet på mycket liten yta inte har så stor inverkan på klimatskalets totala lufttäthet. För att kunna bedöma luftläckagets orsak och konsekvens krävs erfarenhet av lufthastighetsmätningar och av att tolka resultaten. Därför är vår rekommendation att försöka täta där man detekterar luft rörelser.

5.3.4 Sökning med rök

Med hjälp av rök kan läckagen på insidan av klimatskärmen spåras. Det kan ibland vara lättare att spåra läckage med övertryck i byggnaden vid samtidig rökspridning inne i byggnaden. Då trycks röken ut genom otätheten.



Figur 10 Spridning av rök från rökflaska vid undertryck i byggnaden.

Rök kan produceras med rökflaska, rökpenna, rökpistol eller rökmaskin. En del rök är olämplig att andas in och kan lukta illa. Leverantören av dessa behållare ska kunna ge uppgifter om röken är farlig att andas in.

I vissa fall är det möjligt att trycksätta exempelvis ett dörrparti med hjälp av en mätlåda och sedan läckagesöka med rök. Läckageställen kan då noteras på den sida av dörrpartiet där mätlådan inte är monterad. Metoden testades i ett dörrparti för en offentlig byggnad. Vid mättillfället utförde två provningar, varav den andra utfördes efter det att förbättringar av lufttätheten utförts. I det fallet mer än halverades luftläckaget till följd av de förbättringar som identifierades.

Att söka läckage med rök är relativt snabbt och kostnadseffektivt, även om det naturligtvis underlättar om man vet var läckagen kan finnas. För vissa konstruktioner fungerar det att trycka in rök inuti konstruktionen och sedan studera var röken kommer ut, på utsidan eller insidan. Detta lämpar sig exempelvis för låglutande tak där ventilationsöppningarna har tätats. En fördel med rök är att det är visuellt och man ser vilken riktning som luften rör sig.

5.3.5 Såpbubblemetod

Såpbubblemetoden innebär att en såplösning (eller annan bubbelbildande vätska såsom läckagespray) appliceras på tätskiktet. Om man vill läckagesöka endast en liten del av klimatskalet kan exempelvis en kåpa eller en mätlåda tryckas mot tätskiktet och luften sugas från kåpan. Om trycket minskar, dvs det finns ett läckage, bildas det bubblor på tätskiktet. I exempelvis Anis (2005) används en så kallad Bubble gun där kåpan är i form av en halvsfär i badbollsstorlek och i Gränne (2001) används plexiglasboxar av olika storlekar. Det är också möjligt att använda såplösning på tätskiktet och sedan skapa ett undertryck i hela rummet. Det krävs att bubbellösningen inte skadar tätskiktets beständighet och det kan eventuellt bli svårt att exempelvis tejpa där det funnits såplösning. För små hål krävs en förhållandevis stor tryckskillnad vilket gör att metoden lämpar sig för starka material såsom plåt och betongelement, men inte för exempelvis plastfolie. Fördelen med metoden är att det syns tydligt var läckaget är. Vid stora läckage kan såpan försvinna direkt och läckagestället missas.

5.4 Läckagesökning utan trycksättning

Metoder utan trycksättning har fördelen att man slipper införskaffa fläkt o dyl. och att det krävs mindre förarbete i form av tätning. De metoder som är tillgängliga helt utan trycksättning är okulär inspektion, ljus och akustiska mätningar.

5.4.1 Okulär inspektion

Metoden innebär att en person med kunskap och erfarenhet av lufttäta konstruktioner granskar byggnaden och kritiska detaljer. Den okulära inspektionen kombineras med ritningsgranskning. Ofta är detta inledningen på fortsatt undersökning, t ex i form av lufthastighetsmätning eller ytemperaturmätning.

5.4.2 Akustiska mätningar

Akustiska mätningar kan användas för att uppskatta lufttäthet. Utrustningen består av en sändare, en mottagare (mikrofon) och en analysator. Vid användande av infraljud ges en bild av hela byggnadens täthet.

Hörbart ljud kan användas för att studera enstaka byggnadsdelars täthet och med ultraljud är det möjligt att detektera enstaka springor. För att kunna dra slutsatser om en byggnadsdelars täthet med användande av hörbart ljud krävs att man har ett referensvärde att jämföra med, eller att man kan prova att täta och sedan studera eventuell förbättring.

Ultraljud används kommersiellt för att undersöka tätheten hos rör. När det gäller byggnader blir förfarandet lite mer komplicerat. En sändare placeras inne i byggnaden, eller utanför, mottagaren sveps över motsatt sida och ljudet registreras. För att springor skall upptäckas krävs att de är genomgående, som t ex ett dåligt tätat genomgående tilluftsdon i yttervägg. Bristande överlapp i plastfolien är svårt att upptäcka med denna metod. Det krävs en viss erfarenhet av var läckorna kan finnas eftersom det är tidskrävande att svepa över hela klimatskalet. Om stora ytor skall undersökas behöver även sändaren (eller mottagaren) på utsidan flyttas, vilket kan vara svårt på flervåningshus. Ultraljudsundersökning har fördelen att den inte kräver att byggnaden trycksätts eller att man tätar innan mätning. Nackdelarna är att inte alla sorters läckagevägar kan upptäckas, att det krävs dyr specialutrustning för att utföra mätningarna samt goda kunskaper i akustisk mätteknik och tolkning av mätresultat.

5.4.3 Ljus

Både vitt ljus och ultraviolett ljus används ibland för läckagesökning i kanaler. Det är även möjligt att använda ljus vid läckagesökning i byggnader men för att metoden skall fungera med vitt ljus behöver omgivningen vara mörklagd. I Sverige är det rimligt att anta att en sådan läckagesökning då får äga rum under kvällstid (eller vintertid), när det är mörkt ute. Att mörklägga inne i byggnaden är möjligt ifall byggnaden är tillräckligt färdigställd och ifall det är möjligt att täcka fönstren.

Framförallt kan genomgående otätheter identifieras med denna metod. Däremot kan inte otätheter som döljs av ett vindskydd eller färdig fasad upptäckas med metoden.

5.5 Utvärdering av tillvägagångssätt och metoder för läckagesökning

Med utgångspunkt i de erfarenheter som erhållits vid intervjuer med byggherrar, täthetskonsulter och entreprenörer så har följande moment i en tidig läckagesökning identifierats:

- Information om varför det är viktigt med lufttäta byggnader och hur detta åstadkoms. Informationsmaterial finns bl a tillgängligt på www.sp.se (sök på lufttäthet).

- Ritningsgranskning för att identifiera ”risk”-lösningar. Ofta är det lösningar vid skarvar, anslutningar och genomföringar som studeras.
- Okulär kontroll av lösningar på byggarbetsplatsen. Den okulära kontrollen genomförs bl a med ledning av ritningsgranskningen.
- Om inte hela byggnaden kan läckagesökas vid ett tidigt skede väljs en del av byggnaden. Delen som läckagesöks kan vara en brandcell, ett rum eller en begränsad byggnadsdel.
- Val av läckagesökningsmetod/er (se nedan).
- Utför läckagesökningen.
- Identifiera konstruktionslösningar som kan förbättra lufttätheten.
- Genomför förbättringar och utvärdera förbättringen.
- Erfarenhetsåterföring så att förbättringarna genomförs generellt inom byggprojektet och kommande byggprojekt. Information till de på byggarbetsplatsen som berörs (bygg-, el-, VVS-entreprenörer m fl).

De tillvägagångssätt och metoder för läckagesökning som utvärderats och tagits fram med ledning av de erfarenheter som erhållits vid intervjuer med byggherrar och täthetskonsulter är:

- Skapande av tryckskillnad med enkel utrustning.
- Läckagesökning med värmekamera.
- Läckagesökning med ytemperaturmätare.
- Läckagesökning med rökflaska.
- Läckagesökning med lufthastighetsmätare.
- Läckagesökning med handen.

Metoder och metodik har valts med utgångspunkt från utrustning som är enkla att tillgå, bedömning av kostnad och tidsåtgång för metoden liksom enkelheten så att entreprenörer själva kan använda metoden även om detta inte sker regelbundet. Metoder som beskrivits ovan har tillämpats av byggnadsarbetare för att tidigt i byggskedet söka luftläckage i klimatskalet. Metoderna har använts av två företag. Mellan de två tillfällena gjordes förbättringar/ändringar av instruktionerna. Den utvecklade checklistan framgår nedan.

5.5.1 Erfarenheter från tillämpning

Metodiken har tillämpats och utvecklats i två byggprojekt – se vidare i bilagorna 5 och 6.

Bland erfarenheterna kan nämnas:

- Den tidiga utvärderingen har bidragit till att förbättringsmöjligheter har identifierats.
- Metoden har bedömts vara genomförbar av dem som använt instruktionen nedan.
- Behovet av tips om var den erforderliga utrustningen kan införskaffas (köpas eller hyras).
- Det är viktigt att användarna inte ges intrycket av att läckagesökningen ger svar på om konstruktionen är tillräckligt tät. För det behövs en kvantifierande mätning.
- Inledningsvis bedömdes det vara enklast att känna efter läckageställen med handen.

- Lufthastighetsmätare bedömdes som enkel och tydlig vid identifiering av läckageställen som lokaliserats med hjälp av handen. Ett problem som dock uppstod var hur olika lufthastigheter skulle tolkas, och de som använde lufthastighetsmätaren efterfrågade ”gränsvärden” för vad som kan accepteras. (Kommentar: se vidare kapitel 5.3.3)
- Rök som läckageidentifieringsmetod tyckte ingen av de personer som provade var en framkomlig väg.
- Värmeamera bedömdes i vissa lägen som svårtolkad eftersom personerna inte har vana av att tolka termograferingsbilder. Dessutom har en byggarbetsplats under tidiga skeden sällan uppvärmning. Därför behövs oftast en extra tillfällig uppvärmning inomhus med hjälp av byggfläktar.

5.6 Instruktion för tidig läckagesökning

5.6.1 Syfte med läckagesökningen

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

5.6.2 Metod

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

5.6.3 Val av testutrymme

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

5.6.4 Utrustning

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

*En eller flera metoder för läckagesökning väljs

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

5.6.5 Tidsåtgång

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

5.6.6 Förberedelser

(Kryssa i efter hand)

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



Figur 11 Hål kring genomföring i bjälklag, tätning med mineralull kring rör samt ventilationsrör tätat med ballong.

5.6.7 Skapa undertryck

- ☐ En plastfolie (alternativt en skiva som är något större än öppningen) monteras i en dörröppning och ansluts med tejp mot karm eller vägg. Finns en öppning för ytterdörr väljs denna i första hand. Om det inte finns tillgång till en ytterdörr kan en dörröppning mot exempelvis trapphus väljas. I det fallet skall trapphusets ytterdörr stå öppen. Observera att möjligheterna att gå ut ur lägenheten/utrymmet kan vara begränsad efter det att plasten monterats.
- ☐ Ett hål tas i plastfolien, diameter 1-2 cm mindre än fläktens diameter

- ☐ Fläkten placeras i öppningen så att luften kan sugas ut ur utrymmet. Fläkten pressas genom hålet i plastfolien, anslutningen mellan plastfolien och fläkten tejpas vid behov.
- ☐ Tryckskillnaden mellan utrymmet och ute kontrolleras med en manometer. Manometern placeras i utrymmet så att den inte påverkas av fläktens luftflöde. En plastslang ansluten till manometern placeras ute, även den en bit ifrån fläkten. Plastslangen förs genom ett litet hål i plastfolien där fläkten är monterad. Är plastfolien och fläkten monterad i en dörr mot trapphus så förs plastslangen ut genom en glipa i ett fönster, varefter glipan tejpas.
- ☐ Fläkten startas och varvtalet ökas tills en tryckskillnad om 20-30 Pa (allra minst 10 Pa) uppnåts. (Ifall det inte går att uppnå 10 Pa kan det finnas ett större läckage att tätta.)
- ☐ Kontrollera att tryckskillnaden och luftriktning är korrekt genom att öppna en dörr eller ett fönster på glänt. Det skall dra in genom glipan. Stäng fönstret/dörren efter kontrollen.



Figur 12 Fläkt och manometer monterade i dörr mot trapphus, tätning kring dörr.

5.6.8 Identifiera läckageställen/förbättringsmöjligheter

Det är ofta problem med lufttätheten vid fönster- och dörranslutningar, skarvar, anslutningar mot golv, tak och mellanväggar samt genomföringar av kanaler och rör. Svaga punkter framgår av Figur 14.

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

Värmekamera

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

Lufthastighetsmätare

Placera lufthastighetsmätaren försiktigt vid ställen där luftläckage noterats med handen och/eller där man misstänker att läckage kan förekomma. Observera att lufthastighetsmätaren måste vara vänd så att eventuella luftrörelser passerar genom givaren. För tolkning av läckage – se vidare kapitel 5.3.3.

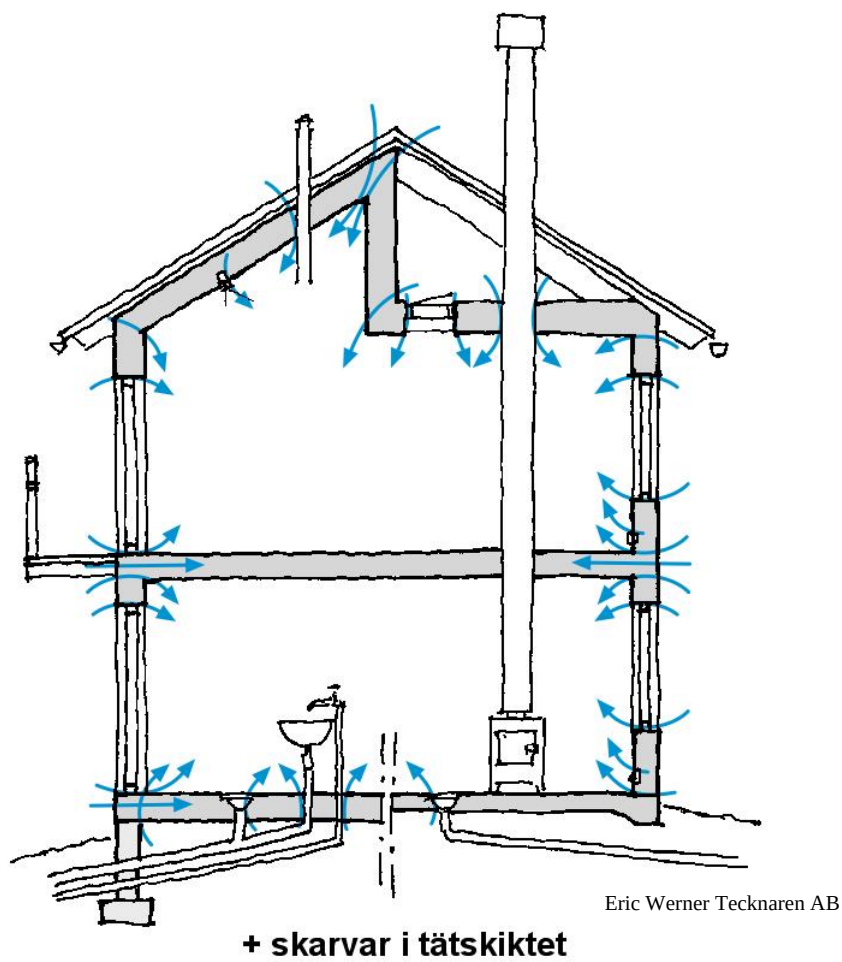
Rökgas

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



Figur 13 Läckagesökning med värmekamera, lufthastighetsmätare och rökgas.

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



Figur 14 Vanliga läckagevägar finns vid genomföringar och anslutningar.

6 Metoder för täthetsprovning

6.1 Allmänt

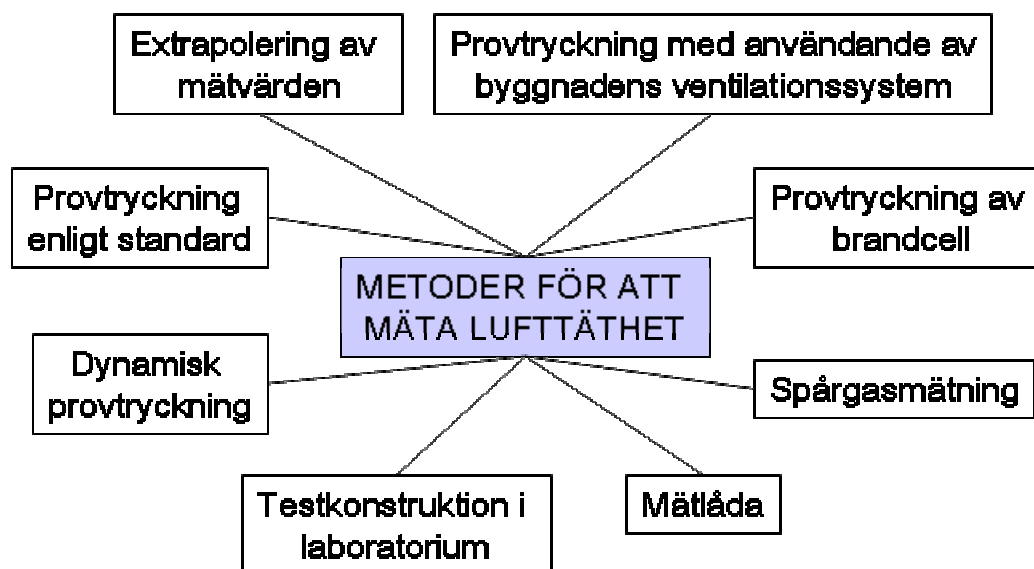
Till skillnad från läckagesökning så ger täthetsprovning ett värde på lufttätheten hos byggnaden. Täthetsprovning ger alltså ett kvantitativt mått på lufttätheten som oftast behövs för att kunna verifiera att en byggnad uppfyller de krav som byggherren har ställt.

När en hel byggnad (eller del av en byggnad) provas uttrycks oftast lufttätheten som antal liter som läcker genom byggnadsskalets klimatskärm, per kvadratmeter omslutningsyta och per sekund. Värdet uppmäts vid en tryckskillnad på 50 Pa över klimatskärmen. Lufttätheten kan vara några få tiondels liter/m²s (mycket bra) till ett par liter/m²s (mycket dålig) vid 50 Pa. Täthetsprovningen utförs enligt EN13829:2000.

När byggnaden skall täthetsprovas kan två tillvägagångssätt användas. Det vanligaste är att använda en extern fläkt, ibland flera, som monteras i en ytterdörr och som trycksätter hela byggnaden. Vid stora och/eller otäta byggnader händer det ibland att fläkten inte har tillräcklig kapacitet för att trycksätta byggnaden till önskat tryck. Då finns ibland möjligheten att använda sig av byggnadens eget ventilationssystem för trycksättning. Detta förfarande finns beskrivet i kapitel 6.3.

Om fläkten inte kan åstadkomma 50 Pa tryckskillnad över byggnadsskalet kan läckaget mätas vid lägre tryckskillnad. Med hjälp av extrapolering kan man sedan få en uppfattning om läckaget vid 50 Pa, se vidare kapitel 6.4.

I vissa fall provas endast en del av byggnaden. Det kan vara för att man inte kan trycksätta hela byggnaden, eller för att man vill veta lufttätheten hos en brandcell eller lägenhet. Det kan också vara så att inte hela byggnaden är färdigställd. Ett specialfall av tryckprovning är dynamisk eller icke-stationär provtryckning av en byggnad eller del av byggnad. Metoden finns beskriven i Carey et al. (2001) och Mattsson (2007). Den går ut på att man trycksätter en volym och sedan stänger av lufttillförseln, varpå trycket sjunker på ett sätt som är karaktäristiskt för graden av otäthet. Det går även att använda sig av en tryckpuls. Det finns både goda och mindre goda erfarenheter av metoden. Bland de positiva omdömena finns att metoden ger många mätvärden på kort tid. Bland de negativa omdömena finns att trögheten hos luftflödena är en källa till osäkerhet. Metoden är förhållandevis lite använd och beskrivs inte ytterligare.



Figur 15 Olika metoder för kvantifierande mätning.

6.2 Täthetsprovning enligt EN13829:2000

Det är oftast möjligt att täthetsprova små hus enligt EN13829:2000 och med hjälp av en extern fläkt. I vissa fall kan samma tillvägagångssätt användas vid stora byggnader beroende av byggnadens täthet och fläktens kapacitet. Idag kan flera fläktar ibland användas för att åstadkomma tillräckligt stort luftflöde. Mätutrustningen måste vara kalibrerad för att få tillförlitliga mätresultat. Oftast måste en konsult/entreprenör som regelbundet utför denna typ av täthetsprovningar och har kalibrerad utrustning anlitas.

6.2.1 Utrustning

Utrustning som behövs för själva mätningen är en fläkt med mätrör för luftflöde, reglerutrustning för fläktens varvtal, manometrar för mätning av tryckskillnad inne-ute, samt vid mätröret för luftflöde, barometer för mätning av atmosfärstrycket, anemometer för mätning av vindtryck samt instrument för mätning av temperatur ute och inne. Fläkten för mätning av byggnadens lufttäthet monteras i en tät skiva som ofta sätts i en ytterdörr, Figur 16.

Fläktar som regelbundet används idag har en flödeskapacitet om drygt 2000 l/s (ca 8000 m³/h). Om kravet på lufttäthet för byggnadens lufttäthet är 0,8 l/sm² innebär det att en sådan fläkt klarar en omslutningsyta på ungefär 3000 m².



Figur 16 Fläkten placeras i en skiva i ytterdörren vid täthetsprovning.

6.2.2 Förberedelse i huset

Inför täthetsprovningen skall vissa tätningar/kontroller/åtgärder göras:

- Ventilationsfläktar stängs av.
- Kanaler avsedda för ventilation (gäller även luftkanaler samt rökrör till eldstäder) tätas. Ofta måste uteluftsventiler (spaltventiler o dyl) tejpas eftersom de är otäta även i stängt tillstånd.
- Golvbrunnar tätas (t ex vara vattenfyllda).
- Kontrollera att eventuella takluckor har tätningslister monterade.
- Kontrollera att samtliga fönster och dörrar är stängda.
- m m

6.2.3 Mätförfarande

Standarden för mätning av lufttäthet anger att man ska mäta luftflödet vid minst fem trycksteg över byggnaden vid både under- och övertryck (det är dock tillåtet att mäta vid antingen eller) och att ± 50 Pa befinner sig inom mätområdet eftersom lufttätheten anges vid denna tryckskillnad. Var försiktig då högre tryckskillnader (större än 60-70 Pa) påförs byggnadsskalet, speciellt vid invändigt undertryck och om mätningen utförs i ett så tidigt skede att tätskikten inte är inklädda (se kapitel 5.1). Det går även att utföra en förenklad provning vid enbart ± 50 Pa (vilket innebär en avvikelse från standarden). I samband med täthetsprovningen skall även temperaturer inne och ute, vindhastigheter samt atmosfärstrycket mätas. För att kunna utföra en täthetsprovning med mätnoggrannhet enligt standarden skall vindhastigheten inte överskrida 6 m/s. Utförs mätningar vid högre vindhastigheter innebär det att mätosäkerheten blir större.

6.2.4 Beräkning av omslutande yta

Oftast uttrycks kraven på lufttäthet i Sverige med ett krav på maximalt läckage genom klimatskärm mellan ute och inne och ytor som vetter mot mark. Vanligtvis beräknas lufttätheten med den invändiga omslutningsytan som begränsande area, men andra alternativ är möjliga beroende på hur kraven ställs. Med invändig omslutningsyta avses yta som begränsar uppvärmd lägenhet, kontor etc mot det fria dvs ytterväggar och vindsbjälklag, mot mark eller mot delvis uppvärmda utrymmen.

Normalt räknas inte lägenhetsskiljande väggar in i omslutningsytan eftersom väggen inte begränsar byggnaden mot det fria. I stora byggnader kan i vissa fall täthetsprovningen vara utförd i enstaka lägenhet/brandcell. Om den lägenhetsskiljande väggens yta tas med i omslutningsytan så ska detta tydligt anges i mätrapporten. I detta fall bör dessutom även lufttätheten anges med enbart klimatskärmen som omslutningsyta, eftersom detta tal är det väsentligaste ur energisynpunkt samt kan användas för att jämföra olika byggnader. Se vidare kapitel 6.5.

6.3 Täthetsprovning med hjälp av byggnadens ventilationssystem

Tryckprovning med hjälp av byggnadens eget ventilationssystem finns beskrivet i den kanadensiska standarden CAN/CGSB-149.15-96⁷. För att testa hur praktiskt det är att använda byggnadens eget ventilationssystem gjordes mätningar på ett kontorshus på SP. För genomförandet av mätningarna krävdes två personer för att handha ventilationssystemet och flödesmätningarna, samt två personer för förberedelser, tryckmätning och efterarbete. Byggnaden har ett nytt, balanserat ventilationssystem med värmeväxlare.

Erfarenheterna från mätningen var positiva. De tryck som önskades kunde skapas av ventilationssystemet som är ett nytt system med goda möjligheter till stängning av spjäll, styrning av luftflöden och mätning av flöden.

Byggnaden provades endast med undertryck och de olika trycknivåerna skapades dels genom att använda enbart frånluften (höga tryckskillnader) och dels genom att använda frånluft och tilluft samtidigt (låga tryckskillnader). Tryckskillnader från 8 till 86 Pa användes. Mätvärdena finns presenterade i Bilaga 8.

Tyvärr var det blåsigt med byig vind vid provningstillfället vilket ger något osäkra värden även om en grov korrigering har gjorts för vinden. Förfarandet med att använda byggnadens egna ventilationssystem för trycksättning fungerade dock och var tidseffektivt eftersom man slapp rigga upp en Blower Door. Det krävs dock att någon som behärskar styrningen av ventilationssystemet kan delta vid mätningen.

Allmänt sett finns både fördelar och nackdelar med att använda byggnadens egna ventilationssystem. En fördel är att man kan korta ned förberedelsetiden inför mätningarna eftersom man inte behöver täta alla frånluftsventiler (alternativt tilluft). En nackdel är att det kan vara svårt att mäta luftflödet till byggnaden. Man mäter luftflödet i tilluften och det är inte säkert att det går att mäta med tillräckligt bra noggrannhet, t ex på grund av brister i tillgänglighet. I vissa fall finns luftflödesmätare med god noggrannhet inbyggda i ventilationsaggregatet. Det är dock inte säkert att de kalibreras regelbundet. Det går ibland att kombinera extern fläkt och byggnadens egna ventilationssystem ifall det krävs för att uppnå tillräcklig tryckskillnad över klimatskärmen.

6.4 Extrapolering av mätvärden

I vissa fall är det inte möjligt att åstadkomma de tryckskillnader som krävs enligt EN13829:2000. Detta kan bero på att det är en mycket stor byggnad, dvs. att fläktkapaciteten inte är tillräcklig, eller att byggnaden är mycket otät. För att undersöka om

⁷ CAN/CGSB-149.15-96, Determination of the Overall Envelope Airtightness of Buildings by the Fan Pressurization Method Using the Building's Air Handling System, Canadian General Standards Board, Ottawa, Canada, 1996

det är möjligt att tryckprova en byggnad vid lägre tryck och sedan extrapolera värdena till en tryckskillnad på 50 Pa gjordes följande mätningar.

En skola provtrycktes med en mätserie med låga tryck och en mätserie med höga tryck, både övertryck och undertryck. Lufttätheten beräknades för en tryckskillnad av 50 Pa. Det låga tryckområdet var 9,0 till 28,5 Pa och det höga tryckområdet var 25,5 till 78,7 Pa. I den aktuella byggnaden gav båda tryckområdena i stort sett samma lufttäthet vid 50 Pa, vilket var 0,22 respektive 0,21 l/sm². Detta är en mycket tät byggnad och det är möjligt att lufttätheten har betydelse för den goda överensstämmelsen. Vidare undersökning föreslås där extrapolering provas på mindre täta byggnader. Den aktuella mätningen finns beskriven i detalj i Bilaga 7.

6.5 Täthetsprovning av en brandcell

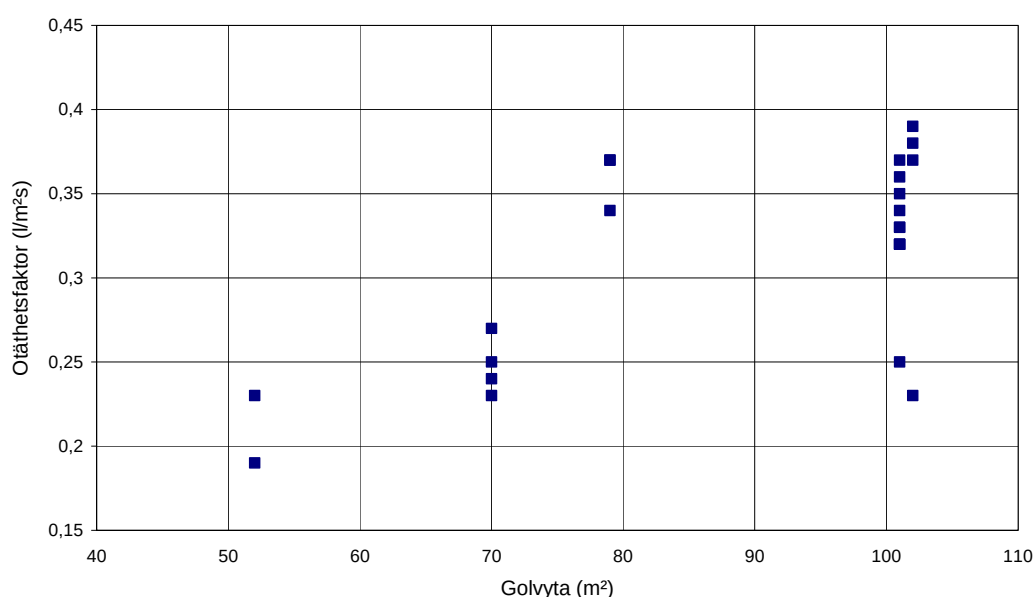
I stora byggnader kan en praktiskt framkomlig väg vara att täthetsprova brandceller vilka i bostadshus kan utgöras av en lägenhet, eller i kontorsbyggnader av ett våningsplan eller del av ett våningsplan. När man provar en brandcell kan olika strategier användas. Vilken som används beror ofta på hur kravet på lufttäthet är formulerat av byggherren. Följande alternativ kan förekomma:

- Täthetskravet är uttryckt som en viss täthet på klimatskalets yta. I det fallet skall ett mottryck upprättas i intilliggande invändiga utrymmen för att helt säkerställa att inget läckage sker via mellanväggar, mellanbjälklag osv. Då sker allt läckage genom klimatskalet och dess täthet kan uppskattas. Förfarandet är dock omständigt och kräver många fläktar.
- Täthetskravet är uttryckt som en viss täthet på klimatskalets yta men mottryck upprättas ej i intilliggande delar. Då är det oftast inte möjligt att säkerställa att ingen luft läcker internt, via t ex mellanväggar och mellanbjälklag, men man gör ett antagande om att de interna läckagen är noll. Detta är ett förenklat förfarande i jämförelse med fallet ovan. Det läckage som uppmäts fördelas endast på klimatskärmen. Detta innebär att eventuella invändiga läckage kommer att "belasta" klimatskärmen. Erfarenheter från en studie utförd av Boverket visar att det invändiga läckaget kan vara betydande. Det vore önskvärt med studier som visar för vilka konstruktioner detta förfarande är lämpligt (möjligtvis tunga konstruktioner med få interna genomföringar). Se vidare i bilaga 9, mätningar utförda för Boverket.
- Täthetskravet är uttryckt som en viss täthet på brandcellens totala omslutande yta, dvs både på klimatskärm och på invändiga väggar och bjälklag. Det läckage som mäts upp fördelas således på brandcellens samtliga ytor. Detta innebär att innerväggar kan vara tätare och klimatskärmen mer otät, dvs man vet inte hur fördelningen är. Se vidare i bilaga 9.

Erfarenheter från några stora byggherrar som provar lufttätheten i samtliga lägenheter i flerbostadshus visar att tätheten kan variera inom en och samma huskropp. För att få en bra bild över en byggnads lufttäthet kan det därför vara bra att inte prova alltför få lägenheter.

I diagrammet nedan visas täthetsprovningens resultat från ett tjugotal lägenheter i ett flervåningshus. Lägenheterna är täthetsprovade utan mottryck i omgivande lägenheter och luftläckaget är fördelat på hela lägenhetens omslutande yta. Från provtryckningarna framkommer att de större lägenheterna i detta fall är otätare än de mindre lägenheterna. Detta beror sannolikt på att de har fler ytterväggar, med exempelvis balkongdörrar. De största lägenheterna (102 m²) är otätare än de som bara är 1 m² mindre. Orsaken är antag-

ligen att de har en balkongdörr extra och en längre balkong. Lägenheten på 101 m² har en något mer komplicerad geometri men detta har inte märkbart påverkat tätheten. Lägenheterna på 79 m² och 70 m² har en betydande skillnad i täthet som inte har kunnat förklaras eftersom de är lika till konstruktion och geometri. De minsta lägenheterna har, till skillnad från övriga lägenheter, enbart en yttervägg och är tätast. Spridningen i täthet hos lägenheterna är stor mellan de största och de minsta lägenheterna (skillnad 0.2 l/m²s). När lägenheter av samma storlek jämförs blir spridningen mindre (de flesta ligger inom ett område på ca 0.05 l/m²). De två tätaste stora lägenheterna är taklägenheter. Det är möjligt att de har något färre genomföringar än övriga lägenheter, och därför är tätare än de andra stora lägenheterna.



Figur 17 Uppmätt otäthetsfaktor i lägenheter av olika storlek inom ett flerfamiljshus.

En erfarenhet från de stora byggherrarna som tillämpar täthetsprovning av brandceller är att olika schakt kan innebära invändiga läckageproblem och ge stora invändiga läckage. Lösningarna för schakten och deras placering är viktiga ut täthetssynpunkt och hänsyn måste tas till lufttätheten redan under tidiga planeringsskeden.

I bilaga 9 beskrivs mätningar på ett flervånings kontorshus där både hela byggnadens täthet och enskilda brandcellers täthet har mätts. Mätningarna visar att det är dålig överensstämmelse mellan brandcellernas och hela byggnadens täthet ifall man fördelar luftflödet enbart på klimatskärmen, såsom anges i standarden. Om luftflödet som uppmäts brandcellen istället fördelas på hela brandcellens omslutande yta blir överensstämmelsen god. Detta innebär att de interna läckagen har samma storlek som de externa läckagen. Det är möjligt att det går att mäta på enstaka brandceller utan mottryck ifall man är säker på att de interna läckagen är små.

Metoden att mäta på enstaka brandceller är relativt utbredd och blir allt vanligare i takt med att kraven på lufttäthet och energieffektivitet ökar. Därför är det önskvärt att undersöka metodens möjligheter och framför allt begränsningar mer.

6.6 Spårgasmätning

Spårgasmätning kan användas för att kontrollera en byggnads täthet, även om metoden inte är så vanlig och bedöms som mindre lämplig. Spårgasmätning används framförallt till att undersöka ventilationssystem och ventilationsgrad. Om byggnadens täthet skall

kontrolleras kan detta ske vid en bestämd tryckskillnad över klimatskalet eller vid normala klimat- och vindförhållanden.

Tillvägagångssättet för spårgasmätning är att en gas släpps ut i det aktuella utrymmet, varpå koncentrationen av gasen mäts medan den avklingar. Gaser som används till spårgasmätning är exempelvis N_2O , CO_2 , och SF_6 (svavelhexafluorid). Det är viktigt att gasen blir väl omblandad innan mätningen startar så att de uppmätta koncentrationerna blir representativa. Detta kan vara en svårighet i större lokaler (Saïd, 1997).

Ett annat sätt att använda spårgas i samband med undersökning av täthet är att släppa ut gasen i ett utrymme för att sedan se om gasen registreras i ett annat utrymme. Detta har utnyttjats t ex för att registrera om det finns läckage mellan inomhusmiljö och vindsutrymme. I detta fall har spårgasmätning använts kontinuerligt under en längre tid.

En nackdel med spårgasmätning är att det krävs mycket utrustning.

6.7 Enskild byggnadsdel

Ibland är inte byggnaden tillräckligt färdigställd för att man skall kunna kvantifiera tätheten på vare sig hela byggnaden, eller på en brandcell eller lägenhet. Då blir det aktuellt att undersöka en enskild byggnadsdel såsom en yttervägg eller ett fönsterparti. Detta görs lämpligen på ett av följande sätt.

6.7.1 Extravägg

En provisorisk lufttät extravägg byggs inne i byggnaden så att det är möjligt att trycksätta över en bestämd byggnadsdel, ofta en yttervägg. Det krävs att den extra väggen och dess anslutningar är helt täta, alternativt måste ett stödtryck upprättas på andra sidan extraväggen. I övrigt se kapitel 5.1 om trycksättning.

6.7.2 Mätlåda

I kapitel 5.2. beskrivs hur en mätlåda används för trycksättning av en byggnadsdel så att man kan läckagesöka denna. På liknande sätt kan en mätlåda användas för kvantifiering av en byggnadsdels täthet men då krävs det att det inte sker något luftläckage längs lådans omkrets. Mätlådan monteras mot en byggnadsdel, t ex ett fönster med dess anslutning i väggkonstruktionen. För att minimera luftläckaget vid lådans anslutning mot provytan så bör omgivningen, om möjligt, hålla samma tryck som lådan. Detta går att åstadkomma genom att placera ytterligare en låda utanför mätlådan, en s.k. guard. Luftflödet som krävs för att hålla en viss tryckskillnad är större ju mer otätheter det finns i klimatskalet. Även vid en tät byggnadsdel kommer det att kunna skapas ett litet luftflöde. Det krävs bara att tryckskillnaden är tillräckligt stor. Därför måste luftflödet kunna relateras till ett "bra" luftflöde eller lufttäthet. Sådana värden finns endast framtagna för ett fåtal konstruktionslösningar.

Mätlådor kan tillverkas i olika storlekar. På SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut har mätlådor för användning i fält upp till 2.5×2 m använts. Mätlådorna har främst använts vid provning av lufttäthet hos fönster med anslutningar, samt för tak- och golvinklar. Eftersom de flesta mätningarna utfördes på färdigställda byggnader var det svårt att få tätt runt mätlådan på grund av lister, fönsterbänkar, sladdragningar och dylikt. Mätlådan kan ge information om att det finns ett luftläckage genom byggnadsdelen och hur stort det är men inte var inom mätområdet det läcker. I Nilsson och Lundin (1983) finns laboratorie- och fältförsök med mätlådor beskrivna.

6.7.3 Testkonstruktion för utvärdering på laboratorium



Figur 18 En stor port täthetsprovas på laboratorium. Många gånger provas hela fasadelement med fönsterinfästningar, genomföringar, skarvar m m.

I vissa fall kan det vara lämpligt att testa lufttäteten för en byggnadsdel innan bygget startas. I sådana fall är det lämpligt att bygga en extern fristående testkonstruktion som kan utvärderas på laboratorium. Där kan särskilda anslutningar, material eller system utvärderas. Testkonstruktionen bör byggas av ordinarie personal på bygget så att arbetsutförandet blir representativt. Konstruktionen kan sedan testas både kvalitativt (exempelvis med rök) och kvantitativt (tryckprovning) beroende på behov och vilka mätvärden man har att jämföra med. Det går också att jämföra olika lösningar. Genom att tejpa eller på annat sätt maskera läckagevägar kan flera detaljer testas på samma vägg. En fördel med metoden är att det är möjligt att belasta väggen och kontrollera hållfasthet, rörelser och andra egenskaper.

7 Slutsatser

7.1 Metod för läckagesökning i tidigt skede i byggprocessen

Det finns ett flertal metoder som är lämpliga att använda vid läckagesökning. Metoder som inom bedöms som mest lämpliga att användas i tidiga skeden i byggprocessen, även av entreprenörer, är metoder som bygger på att utrymmet där läckaget skall sökas trycksätts. Efter trycksättningen är en eller oftast flera av följande metoder lämpliga att användas för att hitta läckageställen:

- Handen
- Lufthastighetsmätare
- Rökgas
- Värmeamera

En instruktion med checklista har tagits fram som i korthet beskriver en metodik för läckagesökning som entreprenören själv kan använda.

7.2 Metoder för att täthetsprova stora byggnader

Om en stor byggnad skall täthetsprovas för att få ett kvantifierat mått på luftläckaget genom klimatskärmen kan flera metoder användas. För att åstadkomma en trycksättning av byggnaden används exempelvis

- Externa fläktar, eventuellt flera stycken, som monteras i öppning/öppningar i klimatskärmen
- Byggnadens egna ventilationssystem

Om externa fläktar eller byggnadens egna ventilationssystem inte kan åstadkomma en tryckskillnad över klimatskalet på 50 Pa kan följande metoder användas

- Täthetsprova en enskild brandcell/lägenhet och ha mottryck i angränsande utrymmen för att säkerställa att uppmätta läckage är läckage via klimatskärmen.
- Täthetsprova en enskild brandcell/lägenhet utan att ha ett mottryck i angränsande utrymmen. Det finns en uppenbar risk att det finns läckage mellan brandceller/lägenheter som kommer med i det uppmätta läckaget. Hur stora dessa invändiga läckage är kan variera från en byggnad till en annan. Det kommer således att finnas en osäkerhet i det uppmätta läckaget genom klimatskärmen.
- En mätserie kan genomföras för lägre tryckskillnad över klimatskalet än 50 Pa. Genom extrapolering kan ett värde vid 50 Pa uppskattas. Fördjupade undersökningar erfordras för att klarlägga hur noggranna resultat en extrapolering kan ge för olika typer av byggnader.

8 Referenser

- Anis W, 2005, Commissioning the Air Barrier System, **ASHRAE Journal**, Vol. 47, No.3, March 2005
- Carey P.S, 2001, Leakage measurements using unsteady techniques with particular reference to large buildings, **Building Services Engineering Research and Technology**, Vol. 22, No. 2, 2001
- Gränne F, 2001, **Air and Water Tightness in Building Envelopes- Evaluation of Methods for quality Assurance**, Byggnadsteknologi, Doktorsavhandling, Kungliga Tekniska Högskolan, 2001
- Knight K.D., Boyle B.J., 2007, Commissioning the Building Envelope- for Compliance with Part 5 of the National Building Code of Canada, **Building Envelope Forum** (www.buildingenvelopeforum.com)
- Knight K.D., Boyle B.J, Phillips B.G., 2003, A New Protocol for the Inspection and Testing of Building Envelope Air Barrier Systems, Performance of Exterior Walls, **ASTM STP 1442**
- Mattsson B, 2007, **Studies on building air leakage: a transient pressurisation method, measurements and modelling**, Doktorsavhandling, Byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola, 2007
- Nilsson I, Lundin L, 1983, **Lokala luftläckage**, Arbetsrapport SP-A 1983:07, SP, Statens provningsanstalt
- Säid M.N.A, 1997, Measurements of air change rates and air flow patterns in large single-cell buildings, **Energy and Buildings 26**, 1997
- Sandberg PI, Sikander E, Wahlgren P, Larsson B, 2007, **Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen - Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler**, SP Rapport 2007:23, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
- Sandberg PI, Sikander E, 2004, **Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen - Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning**, SP Rapport 2004:22, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
- Wray C, Walker I, Siegel J, Sherman M, 2002, **Practical Diagnostics for Evaluating Residential Commissioning Metrics**, LBNL-45959, Indoor Environment Department, Lawrence Berkley National Laboratory, California, USA

Standarder

- ASTM E 2099 Practice for the Specification and Evaluation of Pre-Construction Laboratory Mockups of Exterior Wall Systems, American Society for Testing and Material, Philadelphia, USA
- ASTM E 283 Test Method for Determining the Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen, American Society for Testing and Material, Philadelphia, USA

ASTM E 783 Test Method for Field Measurement of Air Leakage Through Installed Exterior Windows and Doors, American Society for Testing and Material, Philadelphia, USA

ASTM E 1186 Standard Practices for Air Leakage Site Detection in Building Envelopes and Air Barrier Systems, American Society for Testing and Material, Philadelphia, USA

ASTM E 741 Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution, American Society for Testing and Material, Philadelphia, USA

ASTM E 779 Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization, American Society for Testing and Material, Philadelphia, USA

CAN/CGSB-149.15-96, Determination of the Overall Envelope Airtightness of Buildings by the Fan Pressurization Method Using the Building's Air Handling System, Canadian General Standards Board, Ottawa, Canada, 1996

EN 13829:2000, Byggnaders termiska egenskaper - Bestämning av byggnaders lufttätet – Tryckprovningmetod (Thermal performance of buildings- Determination of air permeability of buildings- Fan pressurization method), European standard, European Committee for Standardization, CEN

Bilaga 1. Checklista för projektering för lufttätthet

Checklistan är hämtad ur Sandberg et al. 2007

Lufttätthetsdetalj	Punkter som bör finnas med i projektörens egenkontrollplan/redovisat i ritning/beskrivning
Skarvar i lufttätande skiktet	Planera för så få skarvar som möjligt, exempelvis för ett lufttätande material med stor bredd.
	Val av skarvutförande med ledning av tillverkarens anvisningar för det lufttätande materialet. Några vanliga skarvutföranden är • Omlottläggning och klämning mellan reglar eller mellan gips och reglar • Skarvning med tejp eller dubbelhäftande band där beständigheten är säkerställd vid användning tillsammans med det lufttätande skiktet
	Vid omlottläggning och klämning är skarvens orientering i relation till reglars orientering viktig för att uppnå klämningseffekt.
	Finns alla konstruktioner där skarvar förekommer redovisade? Även de sällan förekommande är viktiga t ex burspråk, terrasser.
Anslutningar vid fönster, dörrar och takluckor	Val av anslutningsutförande mellan karm och väggkonstruktion/väggregel. Några vanliga anslutningsutföranden är • Fogmassa • Tätremsa • Svällband Kontrollera att lösningarna är beständiga.
	Val av anslutningsutförande mot konstruktionens lufttätande skikt. Några vanliga anslutningsutföranden är • Tätskiktet dras ej in till fönsterkarm. I detta fall är det viktigt att skarvar mellan väggreglar som fönstret sitter i är täta i fönstersmygen • Tätskiktet dras in i fönstersmyg och ansluts lufttätt mot fönsterkarm. I hörnen kompletteras och tätas det lufttätande skiktet.
Anslutning av mellanbjälklag	Anslutning av mellanbjälklag mot yttervägg konstrueras så att den kan göras lufttätt. En princip är att dra det lufttätande skiktet helt förbi bjälklagsanslutningen, på den varma sidan.
Anslutning mellan yttervägg/vindsbjälklag eller hanbjälklag/snedtak etc	Anslutningen mellan tätskiktet i väggen och tätskiktet i yttertaket kan utföras med • Omlottläggning och klämning mellan reglar, mellan gips och reglar. • Skarvning med tejp eller dubbelhäftande band där beständigheten är säkerställd vid användning tillsammans med det lufttätande skiktet
Anslutningar mot betongkonstruktioner	Val av tätningsmaterial/tätremsa mellan regel/syll/hammarband och betong. Tätningsmaterial som kan ta upp ojämnheter i betongytan ger en tätare lösning. Observera att lösningen i ytter- och innerhörn måste beaktas så att inte läckage uppstår i vinkeln.
	Infästningen av syll/hammarband har betydelse på så sätt att ju hårdare regeln monteras mot betongen desto tätare blir lösningen.
	Val av anslutning mellan tätskikt och regel/syll/hammarband. Några vanliga anslutningsutföranden är klämning av tätskiktet mellan två reglar, mellan regel och skiva eller mellan skivor.

Lufttäthetsdetalj	Punkter som bör finnas med i projektörens egenkontrollplan/redovisat i ritning/beskrivning
Genomföringar	Luftläckage vid genomföringar, t ex vid eldragningar, kan minimeras/undvikas om det lufttätande skiktet placeras indraget i väggen. I annat fall planeras elinstallationer så att håltagningar minimeras.
	Antalet genomföringar pga ventilationskanaler och VVS-rör minimeras genom god planering.
	Genomföringar som inte kan undvikas skall utföras lufttäta. Vanliga lösningar är exempelvis • manschetter och kragar som kan köpas i detaljhandeln eller hos olika leverantörer för att kunna göra lufttäta genomföringar. Kontrollera manschettens anslutning mot det lufttätande skiktet. • Specialtillverkade kragar • Anpassad håltagning genom att hålet i tätskiktet görs några centimeter mindre än kanalen/röret
Anvisningar till byggskedet	Förutom redovisning på ritningar om hur skarvar, anslutningar och genomföringar skall utföras samlas information om kritiska arbetsmoment som överlämnas till byggskedet. Det kan exempelvis handla om ordningsföljd för montering av byggnadskomponenter och material, rengöring av underlaget före tejping osv.

Bilaga 2. Enkel checklista för entreprenörens egenkontroller/Exempel på kontrollplan för lufttätt byggande

Checklistan är hämtad ur Sandberg et al. 2007

Lufttäthetsdetalj	Punkter som bör finnas med i entreprenörens egenkontrollplan för byggskedet
Skarvar, anslutningar och genomföringar i lufttätande skiktet	Upprätta kontrollpunkter för utförandet av skarvar, anslutningar och genomföringar enligt ritningar och beskrivningar som upprättats av projektör.
	Planera för så få skarvar som möjligt, exempelvis för ett lufttätande material med stor bredd.
	Vid användning av tätningsmetodik som bygger på vidhäftning skall det lufttätande materialet vara rent och torrt.
	Det lufttätande skiktet skall vara monterat så att inga veck eller bubblor uppstår. Detta kan medföra att skarven blir otät.
	Vid omlottläggning och klämning är skarvens orientering i relation till reglars orientering viktig för att uppnå klämningseffekt. Skarvens riktning skall vara samma som regeln som skarven skall klämmas mot.
	Finns alla konstruktioner där anslutningar förekommer redovisade? Även de sällan förekommande är viktiga, t ex burspråk, terrasser. För en dialog med projektör om inte alla detaljer finns redovisade/om utförandet är oklart.
Tidiga provningar	En del av byggnaden färdigställs så snart som möjligt för att utvärdera om lösningar är tillräckligt lufttäta. Lokalisering av läckage sker med värmekamera, rök eller lufthastighetsmätare. Provningen görs innan den invändiga skivan monteras och ytskikten färdigställs. Förbättringar och åtgärder vidtas så att lösningar blir lufttäta. De lufttäta lösningarna tillämpas i resten av byggprojektet.
Täthetsprovning med läckagesökning	X antal täthetsprovningar genomförs och dokumenteras under projektets gång. Olika etapper skall vara representerade. Möjlighet till förbättringar identifieras.
Allmänt	Försiktighet vidtas så att inte hål och revor i det lufttätande skiktet uppstår. Skulle sådan uppstå skall omsorgsfull tätning ske.
	Före inbyggnad av det lufttätande skiktet skall en kontroll göras av att ingen skada eller otäthet uppstår.

Bilaga 3. Luftläckagerapport

RAPPORT FRÅN LÄCKAGESÖKNING

Datum:

Utförare:

Testutrymme:
(Område, byggnad eller lägenhet)

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

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

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

Bilaga 4. Informationsblad ”Lufttätthetens lov”

Lufttätthetens lov är en tidning som handlar om lufttätthetsfrågor i byggprocessen. I tidningen finns ett antal exempel som visar varför lufttätthet hos en byggnad är viktig, t ex för att få en byggnad med bra inneklimat, låg energianvändning och ett beständigt klimatskal. Tidningen finns att ladda hem från SPs hemsida.

<http://www.sp.se/sv/units/energy/eti/Documents/Lufttat%20Tidning7.pdf>

Alternativt, på SPs hemsida söker man på lufttätthet och går sedan in på projektet ”Lufttätthetsfrågor i byggprocessen”.

LUFTTÄTHETENS LOV

om lufttätthetsfrågor i byggprocessen

Nr 1
feb 07



LUFTTÄTTA HUS ÄR GÄRNI-
SPÄKLA!

ENERGISPAR-
SAG TRÖDES
DÄR INSLÄPP

– Lufttätt? Inte bra! Det blir mögelskador!
– Nej, det möglar för att det är otätt!

Lufttätt möglar inte!

Mögelskador på grund av av fjockare isolering och andra energisparande åtgärder uppstår inte på grund av lufttätthet utan på grund av otäthet.

Otättheter i luftspärren ger fuktavdrift med utfällning av fukt i väggar och tak som följd. Fuktiga och våta byggmaterial, trä, betong som byggs in utan

att få torka ut orsakar också stora problem.

Täta diffusions/luftspärvar (och mekanisk ventilation, gärna med återvinning på frånluften) och torra material ger inga mögelskador.

Hus ska andas med sitt ventilationssystem!

Dyra luftläckor

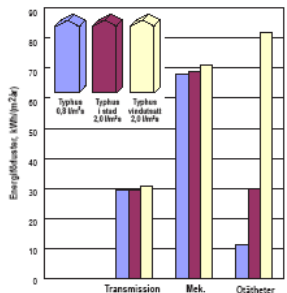
Otätta hus kan ha extra värmekostnader på 50–70 kronor per kvadratmeter och år.
Otätt hyreshus på 1000 kvm kostar 70 000 extra!

En sexvåningsbyggnad på 1050 m² med mekaniskt ventilationssystem har simulerats som en byggnad med lufttätthet enligt BBRs krav på 0.8 l/m²s samt med lufttättheten, 2.0 l/m²s.

Byggnaderna är placerade i två olika lägen i landskapet – ett vindutsatt läge på landsbygden och ett mindre vindutsatt läge i staden.

Resultaten från simuleringarna beskrivs i form av energiförluster per kvadratmeter och år och är uppdelade på förluster genom transmission (fönster, väggar, tak och golv), genom mekanisk ventilation och genom ofrivillig ventilation på grund av otätheter. Figuren visar att det kan gå åt 50–70 kilowattimmar mer per kvadratmeter och år i ett otätt hus jämfört med ett tättare.

Med ett energipris på 1 kr/kWh kan otätheter ge en merkostnad på mer än 50–70 000 kr per år för dessa hus.



Byggnadstyp	Transmission	Mek. ventilation	Otätheter
Typiskt 0.8 l/m²s	~30	~30	~10
Typiskt 1.0 l/m²s	~30	~30	~15
Typiskt 2.0 l/m²s	~30	~30	~30

Lufttättheten enligt BBR

Sedan 1 juli 2006 har Boverkets byggregler (BBR) inte längre något kvantifierat krav på lufttätthet. Lufttätthetskravet anses ingå i övriga krav, bl a energihushållning. Detta gör det ännu viktigare att byggherren/beställaren uppmärksammar behovet av lufttätthet samt formulerar och följer upp egna krav.

Fuktskador av luftläckage

Nybyggd villa fick fuktskador på grund av otät luftspärr mellan tak och vägg.

Sidan 2

Minskad produktivitet

Dålig termisk komfort leder till sänkt produktivitet! 10 % fler missnöjda ger 1 % lägre produktivitet.

Förbättrad värmekomfort kan ge en ökad produktivitet värderad till 125 kronor per kvm och år!

Sidan 3

Kalla tak ökar värmekostnaden!

Otätthet vid mellanbjälklag gav kallt tak och en ökad värmekostnad med fem procent.

Sidan 2

Bilagefigur 1. Tidningen Lufttätthetens lov som finns att hämta på SPs hemsida.

Bilaga 5. Erfarenheter från entreprenörens egen läckagesökning, Byggarbetsplats 1

Syfte

Genom att låta två representanter för byggarbetsplatsen tillämpa ett förslag till metodbeskrivning för entreprenörens egna läckagesökning kunde entreprenörens synpunkter och förslag till förbättringar tas omhand.

Förutsättningar

Entreprenörens representanter eller ”försökspersoner” fick tillgång till en skriftlig beskrivning av den läckagesökning som skulle utföras. SP tillhandahöll dessutom all den utrustning som behövdes enligt utrustningslistan. En viss muntlig instruktion var nödvändig för manometern som tillhandahölls för mätning av tryckskillnad. Det finns dock enkla manometrar att hyra.

Entreprenörens ”försökspersoner”

Två personer som är anställda hos byggnadsentreprenören utsågs för att tillämpa de instruktioner för läckagesökning som SP tagit fram. En var anställd som arbetsledare och den andre som snickare.

Beskrivning av byggnaden

Byggnaden var under uppförande och byggs med betongstomme med utfackningsväggar med regler och isolering. I den aktuella lägenheten var plastfolien monterad och anslutningar och tätningar utförda. Dock var inte den inre gipsskivan monterad. Ingen uppvärmning fanns i byggnaden och temperaturskillnaden mellan ute och inne uppgick till 4°C (ute 10,5 och inne 14,5).

Tillämpade läckagesökningsmetoder

De metoder som försökspersonerna använde för läckagesökning efter det att en tryckskillnad skapats över klimatskärmen var:

- Termografering
- Lufthastighetsmätare
- Rök
- Yttemperaturmätare
- Den egna handen – en metod som påtalades av försökspersonerna själva och som vi kompletterade metodbeskrivningen med.

Försökspersonernas kommentarer till läckagesökningsmetoderna

Av de tillämpade metoderna för läckagesökning gjorde försökspersonerna följande rangordning under de förutsättningar som rådde vid tillfället:

1. En enkel metod för att få en översiktlig uppfattning över var luftläckage förekom var att använda den egna handen. Metoden bedömdes av försökspersonerna vara bra för att sedan komplettera med ytterligare någon metod.
2. Lufthastighetsmätare.

Uppskattad tid

Tiden för själva läckagesökningen uppskattades till 1-2 h. Därtill kommer förberedelser och tid för avslutning.

Bilaga 6. Erfarenheter från entreprenörens egen läckagesökning, Byggarbetsplats 2

Syfte

Genom att låta en representant för byggarbetsplatsen tillämpa ett förslag till metodbeskrivning för entreprenörens egna läckagesökning kunde entreprenörens synpunkter och förslag till förbättringar tas omhand.

Förutsättningar

Entreprenörens representant fick tillgång till en skriftlig beskrivning av den läckagesökning som skulle utföras. SP tillhandahöll dessutom all den utrustning som behövdes enligt utrustningslistan. En viss muntlig instruktion var nödvändig för manometern som tillhandahölls för mätning av tryckskillnad, likaså för användandet av lufthastighetsgivare och värmekamera.

Entreprenörens ”försökspersoner”

En person anställd som Kvalitets- och miljöingenjör hos byggnadsentreprenören tillämpade de instruktioner för läckagesökning som SP tagit fram och kom med förslag på förbättringar.

Beskrivning av byggnaden

Byggnaden var under uppförande och byggs med betongstomme med utfackningsväggar med regler och isolering. I den aktuella lägenheten var plastfolien monterad men ej färdigställd i anslutning till fönster. Inre gipsskiva var ej monterad. Ingen uppvärmning fanns i byggnaden och temperaturskillnaden mellan ute och inne var relativt obefintlig. En fasad var dessutom solbelyst.

Tillämpade läckagesökningsmetoder

De metoder som försökspersonerna använde för läckagesökning efter det att en tryckskillnad skapats över klimatskärmen var:

- Termografering
- Lufthastighetsmätare
- Den egna handen.

Försökspersonens kommentarer till läckagesökningsmetoderna

Av de tillämpade metoderna för läckagesökning gjorde försökspersonen följande rangordning under de förutsättningar som rådde vid tillfället:

- Att använda den egna handen var den bästa metoden, kompletterad med lufthastighetsgivare.
- Värmekamera kräver förberedelser, exempelvis att värma lägenheten för att uppnå tillräcklig temperaturskillnad mellan inne och ute. Dessutom är utbildning nödvändig för att tolka bilden i värmekameran på rätt sätt.

Nyttan med metoden

Försökspersonen såg en läckagesökning som, om det utförs, skall vara inordnat i det systematiska kvalitetsarbetet. Det skall omfattas av tydliga och detaljerade arbetsanvisningar. Det uttrycktes dessutom önskemål om tydliga kravnivåer för vad som är bra och dålig lufttäthet utifrån de lufthastigheter som avläses på lufthastighetsgivaren och därmed när förbättringar måste utföras. Även en mall för dokumentation av utförd luftläckagesökning önskades.

Uppmätta lufthastigheter och dess utbredning skall ritas in på ritning, utvärderas och protokollföras.

Försökspersonen trodde att de kommer att utföra sådana luftläckagesökningar. En stor fråga var dock var de kan få tag på utrustning, och vilken utrustning de ska ha. Lämplig utrustning borde specificeras.

Uppskattad tid

Läckagesökning av en lägenhet (en person):

2 timmar etablering/avetablering, 1 timma spårning av luftläckage, 1 timma utvärdering, således ca 4 timmar. Tid för tätning av upptäckta läckage tillkommer.

Försökspersonens kommentarer till instruktionerna

Det bör tydliggöras att fläkt och manometer ska placeras på lägenhetens insida.

Att sätta en plastfolie i dörröppningen förefaller vara den bästa metoden, det går fort.

Mer detaljerade anvisningar om vad som skall tätas efterfrågades.

Det skulle finnas någon typ av mall som anger hur och var man ska mäta, exempelvis vid golvinkel, takinkel, runt fönster osv. Eventuellt skulle man ej heller behöva mäta överallt utan enbart vid en viss andel av t ex golvvinklar och utifrån det bedöma även de övriga golvvinklarna.

Det bör vara noggranna personer som utför denna uppgift. Vem som helst kan troligen inte utföra detta. Det beror på den person som mäter om mätningen blir rätt utförd och om resultatet tolkas rätt. Det var t ex svårt att veta hur lufthastighetsgivaren ska hanteras, därför är det viktigt att ha dokumenterad rutin som beskriver tillvägagångssättet.

Bilaga 7. Extrapolering av mätvärden

Täthetsmätning av skolbyggnad vid höga och låga tryck

Täthetsmätningen utfördes den 11 juni 2008 av Owe Svensson och Kristoffer Lagerholm från SP.

Objekt

Byggnaden är ett nybyggt skolhus i ett plan med en kulvert för ventilationsluft (tilluft). Hela byggnaden inklusive ventilationskulverten har ingått i täthetsmätningen. Kulvertplanet stod i förbindelse med entréplanet via ett par öppna ventilationskanaler med Ø 500 mm samt via ett par mindre öppningar vid genomföringar i bjälklag.

Byggnadens invändiga omslutningsyta var 5 180 m². För den provade byggnaden består invändig omslutningsyta av tak, ytterväggar mot det fria och mark samt golv mot mark.

Golv och väggar mot mark utgörs av tunga konstruktioner. Tak och ytterväggar mot det fria utgörs av lätta konstruktioner.

Byggnaden var ej helt färdigställd vid provningen. Invändig skivbeklädning var påförd på ytterväggar och de flesta takytor. Samtliga fönster samt de flesta dörrpartier var monterade. Ett par ytterdörrar/partier saknades dock helt, dessa öppningar var tätade med plastfolie under mätningen.

Mätmetod, utrustning för täthetsmätning samt utförande

Provningen av byggnadens klimatskärm utfördes utgående från europastandard EN 13829:2000. Öppningar avsedda för ventilation (inklusive ventilationskulvertens inlopp till byggnaden), avlopp och ej monterade ytterdörrar tätades.

I öppning för en ytterdörr monterades Minneapolis fläktutrustning Blower Door med tillhörande tryckmätare för mätning av samhörande tryckskillnad mellan inne och ute samt över mätrör till fläkt. Utrustningen kopplades till dator med till utrustningen tillhörande mätprogram för registrering av mätdata.

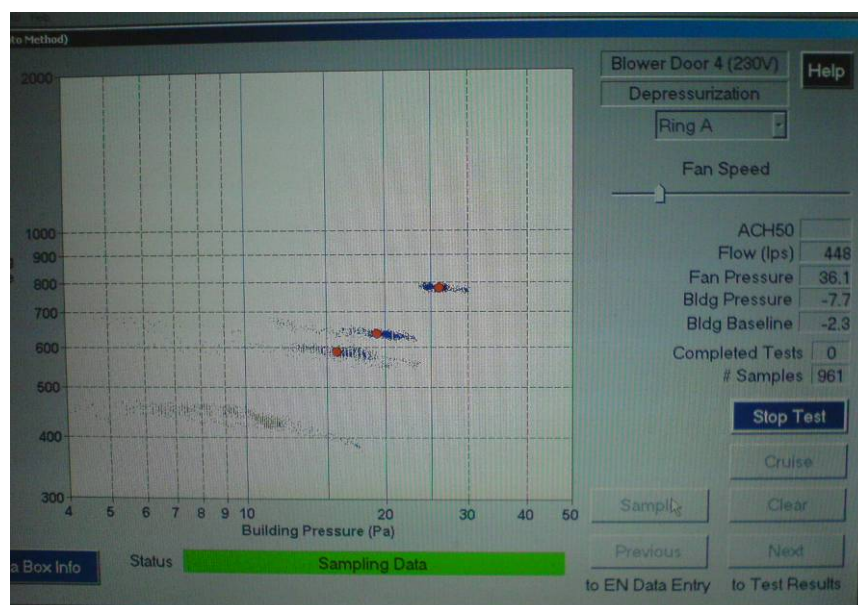
Först utfördes provning av byggnadens lufttäthet med fem trycksteg på undertryck respektive övertryck, vid 70, 60, 50, 40 och 30 Pa. Därefter utfördes en ny provning med fyra trycksteg på undertryck respektive övertryck vid 25, 20, 15 och 10 Pa. Provningen vid de låga tryckskillnaderna avviker från EN 13829:2000 på så sätt att alla valda tryckskillnaderna är lägre än 50 Pa och att provningen endast utförts vid fyra olika tryckskillnader istället för minst fem. I EN 13829:2000 anges att det högsta värdet av 10 Pa eller 5 gånger tryckdifferensen mellan inne och ute vid tätad byggnad är minimum tryckskillnad vid mätning. För stora byggnader, där kravet på att 50 Pa skall ingå i mätområdet inte går att uppfylla, anges att den största tryckskillnaden som luftflödet mäts vid ej får vara mindre än 25 Pa men att detta innebär ett avsteg från standarden.

Vid varje trycksteg programmerades utrustningen att göra 1000 avläsningar på luftflödet. Resultatet som redovisas vid 50 Pa är ett beräknat värde från kurvpassningen av luftflödena från de olika tryckstegen som dataprogrammet för utrustningen utför.

Mätning av atmosfärstryck, vindhastighet utomhus samt lufttemperatur inomhus och utomhus har utförts. Kontroll har skett av att uppmätt tryckskillnad (-50 Pa) över klimat-

skalet på entréplanet även erhöles över tätningen för ytterdörr till kulvertplan, dvs. att ingen tryckskillnad förekom mellan kulvertplan och ovanliggande plan.

Relativt kraftig vind förekom vid mättillfället vilket försvårade mätningarna. Lufthastighet på ca 5 m/s uppmättes vid marknivå, men vinden var byig och var därför tidvis kraftigare än det uppmätta värdet, uppskattningsvis 8-10 m/s vid marknivå. Emellertid satt fläkten förhållandevis skyddad från direkt anblåsning. Vinden medförde en minskad noggrannhet i mätningarna, främst vid låga tryckskillnader över klimatskalet, samt en avvikelse ifrån standarden.



Bilagefigur 2 Vinden medförde fluktuationer i tryckskillnaden över klimatskalet.

Resultat

I tabell 1 nedan redovisas luftläckageflöde vid 50 Pa under- och övertryck samt framräknat medelvärde för ± 50 Pa. Ingen korrelationskoefficient för kurvorna understeg dock 0,99 (med två decimalers noggrannhet) vilket brukar anges som en gräns för om mätningen skall anses vara giltigt eller förkastas.

Bilagetabell 1 Sammanställning av resultat från täthetsmätning vid höga och låga tryckskillnader över klimatskalet.

Mätning	Trycknivåer Pa (okompenserade för nolltryck)	Antal tryck- steg	Luftflöde vid 50 Pa l/s	Lufttäthet vid 50 Pa l/sm ²	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/sm ²
Undertryck hög 70-30 Pa	68,5 – 25,5	5	1129	0,22	1101	0,21 (0,213)
Övertryck hög 70-30 Pa	78,7 – 28,4	5	1072	0,21		
Undertryck låg 25-10 Pa	28,5 – 11,9	4	1107	0,21	1115	0,22 (0,215)
Övertryck låg 25-10 Pa	21,0 – 9,0	4	1123	0,22		

Lufttätetstäl med tre decimaler har tagits med inom parantes för att visa hur nära mätresultaten ligger varandra vid mindre avrundning.

Störst skillnad förekom mellan mätning vid höga och låga tryck vid övertryck, där flödet blev större vid mätning vid låga tryck. Avvikelsen är dock inte större än knappt 5 %.

Luftflöde som funktion av tryckskillnad uppvisar ett exponentiellt förhållande enligt

$$q_{air} = \alpha \cdot \Delta p^{\beta}$$

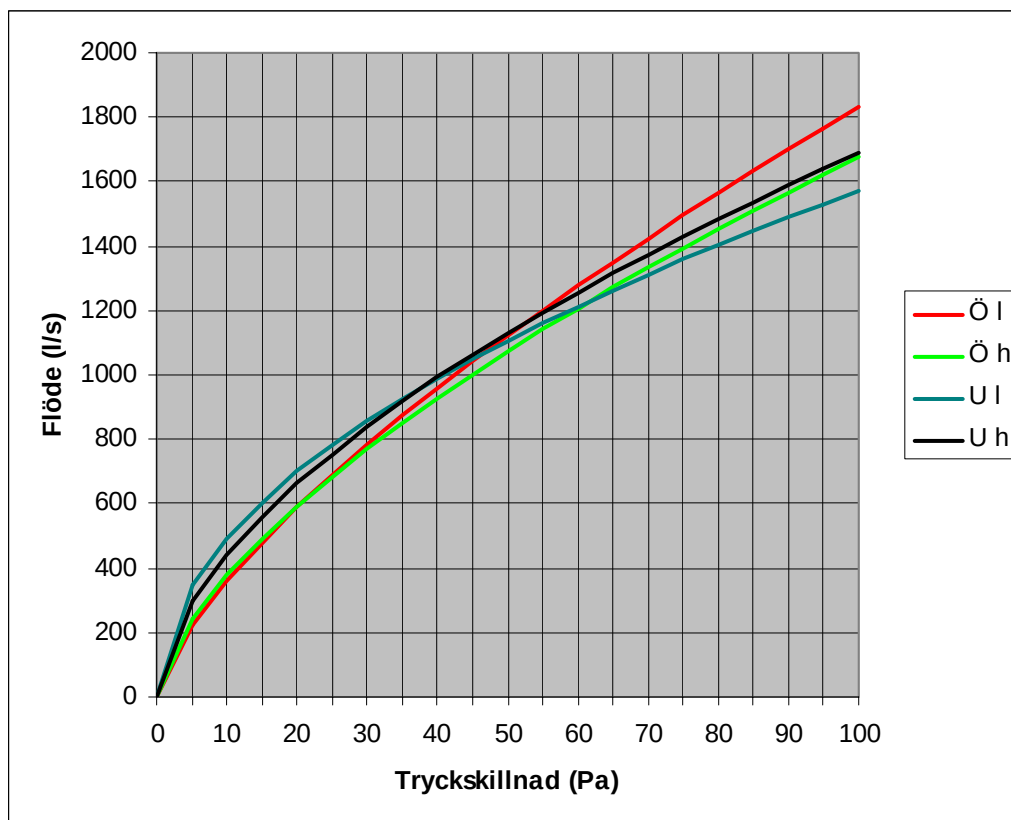
där q_{air} (m³/s) är luftflöde och Δp (Pa) är tryckskillnad över klimatskalet.

För att mätvärden tagna vid låga tryck skall kunna extrapoleras till höga tryck krävs att α och β inte ändrar sig när trycket ändras. Det finns fall när extrapolering inte är möjlig. Ifall läckagevägarnas geometriska form ändras, t ex att en skarv i plastfolien öppnar sig, vid högre tryck, innebär detta att både α och β påverkas. Ifall luftflödet ändras från laminärt till turbulent så påverkar detta β .

En närmare titt på koefficient, α , och exponent, β , för luftflödena visar på vissa olikheter, se tabell 2. I figur 2 har även grafer ritats upp i intervallet 0-100 Pa för dessa värden.

Bilagetabell 2 Sammanställning av koefficient och exponent för luftflödena vid under- respektive övertryck.

Mätning	Koefficient α	Exponent β
Undertryck hög	115,8	0,582
Undertryck låg	155,4	0,502
Övertryck hög	85,3	0,647
Övertryck låg	71,2	0,705



Bilagefigur 3 Kurvor för luftflöde som funktion av tryckskillnad, baserade på mätningar med övertryck och undertryck samt vid låga tryckskillnader och höga tryckskillnader.

Diskussion

Med tanke på de yttre omständigheterna blev överensstämmelsen väldigt bra mellan mätning vid höga och låga tryck. Vissa avvikelser förekommer, men det visar ändå preliminärt på att mätningar vid låga tryck kan vara en framkomlig väg vid mätning i stora byggnader. En brist i ovanstående försök är dock att mätserierna vid de låga trycken ej upprepades (på grund av att byggnadsarbeten pågick fanns ej möjlighet att utföra fler mätningar).

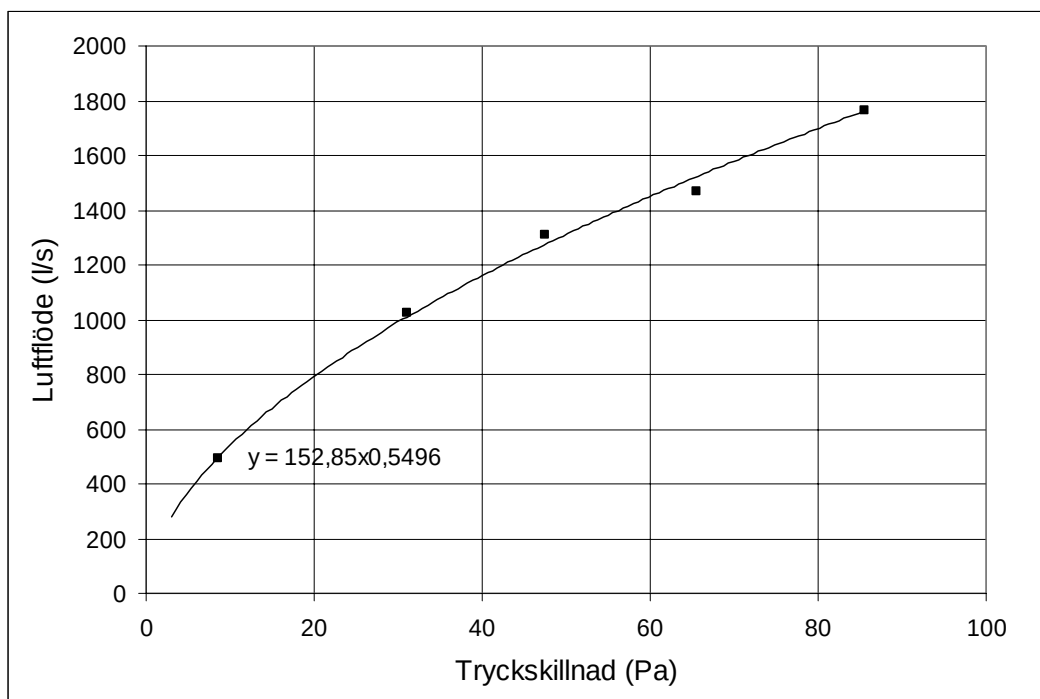
Mer försök måste göras. Den provade byggnaden var mycket tät. Vad händer om byggnaden istället är väldigt otät?

Mätning vid låga tryck bör utföras vid så många trycknivåer som möjligt (minimum antal enligt EN 13829:2000). Eventuellt skulle man kunna ha så små trycksteg som 3 Pa mellan tryckstegen om man bara mäter mellan 10 och 25 Pa?

I detta försök gjordes flödesmätningar vid en tryckskillnad över klimatskalet som var 25 Pa och lägre. Vår bedömning är att man vid extrapolering minst bör kunna uppnå 25 Pa tryckskillnad. Detta kan dock utvärderas ytterligare.

Bilaga 8. Tryckprovning med hjälp av byggnadens ventilationssystem

Vid provning av CE-huset, med användande av byggnadens ventilationssystem, erhöles en okorrigerad lufttäthet på 0.73 l/m²s för byggnaden. Tyvärr var det blåsigt och byigt vid mättillfället. Enligt mätdata från SPs klimatstation var medelvindhastigheten under mätperioden ca. 4 m/s (sydliga vindar), men den byiga vinden gav stundvis starkare vindar. Om en grov korrigering görs för vinden erhålls en lufttäthet på 0.71 l/m²s. Detta skall jämföras med de tidigare mätningarna från CE-huset (se bilaga 9), som utfördes enligt standard EN 13829:2000, och som gav en lufttäthet på 0.87 l/m²s för hela byggnaden. Erfarenheten från mätning av lufttäthet med hjälp av byggnadens eget ventilationssystem är att metoden är lovande. Det vore önskvärt att göra fler mätningar där man jämför tryckprovning enligt standard med tryckprovning med hjälp av byggnadens eget ventilationssystem.



Bilagefigur 4 Täthetsmätning på CE-huset med användande av byggnadens ventilationssystem. På grund av den starka vindpåverkan är mätningarna vid låga tryckskillnader borttagna eftersom de har en dålig noggrannhet. Tryckskillnaden är okorrigerad för vindpåverkan.

Bilaga 9. Provning av brandceller

Följande är täthetsprovningar som utförts på uppdrag av Boverket vintern 07/08. Utdraget utgör en del av en större rapport för Boverket.

Täthetsmätning av SP-hus 13 (CE-huset)

Täthetsmätning har 2008-01-18 utförts dels av två brandceller, dels av hela byggnaden. Mätningen utfördes av Owe Svensson och Ingemar Nilsson från SP samt Fredrik Ståhl från CA-konsult.

Beskrivning av byggnaden

Byggnaden är ursprungligen en gammal byggnad som genomgått en större renovering under år 2006. Byggnaden består av fyra plan samt en vind. På markplanet (delvis motfyllt) finns arkiv och förrådsutrymmen, teknik- och apparatrum, personalutrymmen, skyddsrum mm. På plan 2 finns kontor och personalrum och på plan 3 finns kontor. På plan 4 finns kontorsutrymmen och apparatrum (fläktrum). Över mer än halva byggnaden finns även ett vindsutrymme (plan 5) där ventilationskanaler är dragna. Vindsutrymmet är ouppvärmat och befinner sig utanför byggnadens inre tätskikt.

Byggnaden har två trapphus varav ett större med hiss. Det större trapphuset förbinder plan 1-4, det mindre trapphuset förbinder plan 1-5. Trapphusen och varje våningsplan utgör separata brandceller. Även installationsschakt genom våningsplanen, ett apparatrum på plan 1 och fläktrum på plan 4 utgör separat brandcell. Mellanbjälklagen består av betong.

Ventilationssystemet utgörs huvudsakligen av ett FTX-system med roterande värmewäxlare. Varje våningsplan har separata kanalsystem med brandspjäll. På plan 1 finns även friskluftsintag i ytterväggar samt en frånluftsfläkt i apparatrum. Separata köksfläktar finns i pentry/kök på plan 1 och 2. Ett helt separat ventilationssystem finns i skyddsrummet på plan 1. Ovanför hiss finns en separat frånluftsfläkt.

Täthetsmätning av brandceller

Mottryck har ej anlagts i angränsande brandceller vid täthetsmätning.

Plan 4

Ventilationsaggregatet stängdes av varvid brandspjällen löste ut. Fläkt för täthetsmätning placerades i dörr mot det mindre trapphuset. Fönster i trapphus öppnades för att på så sätt förbinda trapphuset med uteluften. Entrédörr till det större trapphuset samt dörr till fläktrum hölls stängda. Samtliga dörrar inom brandcellen hölls öppna.

I utrymme angränsande mot fläktrum förekom luftläckage vid anslutningar snedtak-hanbjälklag, snedtak-stödbensvägg och vid snedtaks/stödbensväggs anslutning mot yttervägg. I kontorsdelen förekom luftläckage genom undertak. Luftläckage förekom även genom både till- och frånluftsdon på hela våningsplanet.

Plan 3

Ventilationsaggregatet stängdes av varvid brandspjällen löste ut. Fläkt för täthetsmätning placerades i dörr mot det mindre trapphuset. Fönster i trapphus öppnades för att på så sätt

förbinda trapphuset med uteluften. Entrédörr till det större trapphuset hölls stängd. Samtliga dörrar inom brandcellen hölls öppna.

Luftläckage förekom dels genom både till- och frånluftsdon och dels genom undertak.

Täthetsmätning av hela byggnaden

Ventilationsaggregatet stängdes av varvid brandspjällen löste ut. Dessutom tätades ute-luftskanal och avluftskanal i fläkthuset, köksfläktar, övriga frånluftsfläktar samt frisk-luftsintag. Dörr mot skyddsrum hölls stängd (skyddsrummet ingick därmed ej i täthetsmätningen). I övrigt öppnades samtliga dörrar inom hela byggnaden varvid plan 1-4 blev förbundna via trapphusen. Fläkt för täthetsmätning placerades i en altandörr på ena gaveln på plan 2. Kontrollmätning av tryck över klimatskalet på motstående gavel på plan 4 visade ej på någon noterbar avvikelse i tryck gentemot vad som registrerades vid fläktutrustningen.

Resultat

Provning av lufttäthet utfördes med som minst fyra trycksteg på under- respektive övertryck (på grund av vindförhållandena utomhus kunde ej kravet på minst 5 trycksteg uppfyllas vid alla mätningar). Vid varje trycksteg programmerades utrustningen att göra 500 avläsningar på luftflödet. Resultatet som redovisas vid 50 Pa är ett beräknat värde från kurvpassningen av luftflödena från de olika tryckstegen som dataprogrammet för utrustningen utför.

I Bilagetabell 3 nedan redovisas för plan 4, plan 3 samt hela huset, omslutningsyta, luftläckageflöde vid 50 Pa under- och övertryck samt framräknat medelvärde för ± 50 Pa.

Bilagetabell 3 Sammanställning av resultat från täthetsmätningarna.

Byggnadsdel	Omslutningsyta m ²	Luftflöde vid 50 Pa under- tryck l/s	Luftflöde vid 50 Pa över- tryck l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/sm ²
Brandcell plan 4	425	643	689	666	1,57
Brandcell plan 3	197	743	809	776	3,94
Hela byggnaden	1807	1418	1719	1568,5	0,87

Mätosäkerheten i slutresultatet för det uppmätta luftflödet genom byggnadskonstruktionen uppskattas ligga inom ± 5 % ($k=2$). Uppmätta luftflöden har fördelats på invändig omslutningsyta. För brandcell på plan 4 består invändig omslutningsyta av ytterväggar mot det fria samt vindsbjälklag. För brandcell på plan 3 består invändig omslutningsyta av ytterväggar mot det fria. För hela byggnaden ingår all omslutningsyta förutom golv och yttervägg i skyddsrum. Invändiga omslutningsytor har beräknats från ritningar. Onoggrannheten i beräkningen av omslutningsytan har vi uppskattat till ± 2 %.

Resultaten visar på att byggnaden som helhet var relativt tät, men att stora läckage förekom mellan brandcellerna, både via ventilationssystemet och genom byggnadskonstruktionen.

Reflektion

Om golvbjälklagets area (376 m²) adderas till omslutningsytan för plan 4 och golv- och takbjälklagsarea (2x376m²) adderas till omslutningsytan för plan 3 erhålls ungefär nedanstående resultat.

(Area för fläktrumsgolv plan 4 samt area för lilla trapphuset plan 4 och 3 ej avräknat)

Byggnadsdel	Omslutningsyta m ²	Luftflöde vid 50 Pa under- tryck l/s	Luftflöde vid 50 Pa över- tryck l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/sm ²
Brandcell plan 4	801	643	689	666	0,83
Brandcell plan 3	949	743	809	776	0,82

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut utvecklar och förmedlar teknik för näringslivets utveckling och konkurrenskraft och för säkerhet, hållbar tillväxt och god miljö i samhället. Vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling. Vår forskning sker i nära samverkan med högskola, universitet och internationella kolleger. Vi är ca 870 medarbetare som bygger våra tjänster på kompetens, effektivitet, opartiskhet och internationell acceptans.



SP är organiserat i åtta tekniska enheter och fem dotterbolag.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Energiteknik

SP Rapport 2008:36

ISBN 91-7848- 978-91-85829-

52-1

ISSN 0284-5172