

# CHALMERS



## Luftläckage i bostäder

– litteraturstudier, modellering och mätningar

BJÖRN MATTSSON

*Institutionen för byggnadsteknologi*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, 2004

Luftläckage i Bostäder  
– litteraturstudier, modellering och mätningar  
BJÖRN MATTSSON  
Institutionen för byggnadsteknologi  
Chalmers tekniska högskola

## Sammanfattning

Detta arbete ingår som en del i ett större program "Luftförelser i och genom byggnadens klimatskal". Programmet är ett samarbetsprojekt mellan Chalmers tekniska högskola och SP, Statens forsknings- och provningsinstitut.

Luftförelser i en byggnads klimatskal, vare sig det gäller anblåsning eller genomblåsning, påverkar energi- och fuktflödet inom och genom olika konstruktionsdetaljer. Dessa flöden påverkar i sin tur byggnadens beständighet och dess inommiljö, samt energibalans och termisk komfort.

Energikriserna på 70-talet ledde till att därpå följande byggnormers krav på lufttätet och värmeisoleringsgrad skärptes för bostäder och lokaler. De hårdare kraven ledde i sin tur till att nyproducerade hus gjordes tätare och mer välisolerade. Denna utveckling fick även till följd att äldre byggnader tilläggsisolerades och tätades. Resultaten av dessa åtgärder var inte enbart positiva. Tätare hus medförde bland annat att ventilationsgraden blev otillräcklig utan mekanisk ventilation.

Problem med mögel och dålig ventilation fick till följd att material som plastfolie och mineralull började att ifrågasättas och sågs av vissa aktörer i byggbranschen som något konstgjort och olämpligt för människan att ha i sina bostäder. Begrepp som ventilation och lufttätet blandades ihop och likhetstecken sattes mellan en tät byggnad och dålig ventilation. I kölvattnet av detta följde krav på ekologiskt byggande.

Ett syfte med detta arbete är att sammanställa och analysera delar av den kunskap som finns redovisad i i huvudsak svensk och engelsk litteratur som behandlar frågor som direkt eller indirekt har betydelse för infiltration eller luftläckage samt andra luftförelser i en byggnads klimatskal. Ett annat syfte är att utveckla datormodeller för att förutsäga lufttäteten hos byggnader och tätetens inverkan på energi- och effektbehov, risk för fukt- och komfortproblem med mera. Dessutom undersöks potentialen hos ett CFD-program (Computational Fluid Dynamics) beträffande modellering av luftförelser och värmefflöden av olika slag inom och genom en byggnads klimatskal.

Litteraturstudierna visar att de krav på en byggnads lufttätet som ställts i olika normer har varierat genom åren med ömsom strängare ömsom mildare krav. Dagens norm, *BBR*, är den som har de lägsta kraven på lufttätet i småhus av samtliga normer sedan lufttätetskrav infördes i *SBN 1975*. Trots att en mängd studier av lufttätet i byggnader har gjorts sedan mitten av 70-talet är varken kravställandet i byggnormer eller branschgemensamma arbetsbeskrivningar tillräckliga för att säkerställa en god lufttätet.

Resultat från datorsimuleringar av luftomsättningen i ett småhus visar att energibalansen kan påverkas negativt på grund av infiltration om dess lufttätet är

sämre än 1 omsättning per timme vid en tryckprovning på 50 Pa. I vindutsatta lägen i byggnader som inte uppfyller normkraven på lufttäthet kan luftomsättningsgraden öka väsentligt och effektmässigt bli betydligt större än övriga värmeförluster.

När det gäller datorberäkningar med hjälp av CFD-programmet *Fluent* ger dessa vid handen att modeller för naturlig konvektion i porösa isolermaterial samt anblåsning av isoleringen ger god överensstämmelse med mätningar. Att ta fram modeller för simuleringar av infiltration genom olika konstruktionsdelar är betydligt svårare. Anledningen är att det råder stor osäkerhet kring de indata som är nödvändiga för att simuleringarna skall spegla en verklig konstruktion så bra som möjligt. För att kunna modellera luftläckage krävs kännedom om storlek och strömningskaraktistik på luftflöden genom olika konstruktionsdetaljer. Dessa läckage är dessutom starkt beroende av arbetsutförande, varför samma typ av detalj kan ge avsevärda skillnader i uppmätta luftflöden.

När detta arbete initierades var tanken med CFD-modelleringen att utifrån elementarläckage, (med elementarläckage avses uppmätta luftläckage genom väl definierade skarvar och anslutningar av skivmaterial och folier av olika slag som bidrar till att göra en byggnad lufttät), bygga upp kompletta konstruktionsdelar med alla ingående material, för att beräkna lufttätheten i en hel byggnad. Ganska snart visade det sig dock att luftläckage modellerade på detta vis blir ganska så små och kan inte förklara de luftläckage som är vanligt förekommande vid tryckprovningar av hela byggnader.

De luftläckage som mäts upp i byggnader är ofiast inte summan av ett antal väl utförda detaljer som skall säkerställa byggnadens lufttäthet, utan ett resultat av några detaljer där arbetsutförandet är undermåligt eller där konstruktionen är sådan att det är mycket svårt att uppnå ett gott resultat. Det är troligtvis endast i byggnader med en mycket god lufttäthet som den totala tätheten motsvaras av tätheten hos enskilda, väl utförda, detaljer i de skikt som skall säkerställa en byggnads lufttäthet.

För övrigt saknas mätdata för verkligt komplicerade konstruktionsdetaljer som kryppgrundsbjälklag, stödbensväggar och anslutningar mellan bjälklag och ytterväggar. Trots att mycket arbete lagts ned på området lufttäthet har lufttätheten hos dessa detaljer inte mätts. För att kunna gå vidare med en analys av lufttätheten i en hel byggnad är det därför nödvändigt att genomföra laboratoriemätningar av dessa detaljer.

När det gäller säkerställande av lufttätheten i byggnader krävs, förutom att byggbranschens aktörer tar frågan på allvar, att normkraven skärps och att man i branschgemensamma handböcker ger korrekta och väl beskrivna arbetsanvisningar för utförandet av ett klimatskals lufttäta skikt.

Nyckelord: luftläckage, infiltration, lufttäthet, luftomsättning, dynamiska isoleringseffekter, värmeåtervinning

Luftläckage i Bostäder  
– litteraturstudier, modellering och mätningar  
BJÖRN MATTSSON  
Institutionen för byggnadsteknologi  
Chalmers tekniska högskola

## **Abstract**

This work forms part of a larger program "Air transport in and through the building envelope". The program is carried out in collaboration between Chalmers University of Technology and SP, Swedish National Testing and Research Institute.

Air movements in a building envelope, whether due to wind washing or infiltration, have an impact on energy and moisture transport within and through different construction members. The air movements thus influence the durability of the building, the indoor environment, the energy balance and the thermal comfort.

The energy crises during the 70's resulted in more stringent regulations in the building codes of air tightness and energy use in domestic and commercial buildings. The stricter rules led to constructions of better insulated and more airtight buildings in the production of new houses. This development brought in its wake air tightening and additional insulation in already existing buildings as well. The outcomes of these measures were not only positive. Tighter houses made in many cases natural ventilation insufficient to assure an adequate level of air change for hygienic reasons.

Problems with mould growth and inferior ventilation resulted in questioning of the appropriateness of using plastic foil and mineral wool in building envelopes. Some participants in the building industry started to regard these materials as something artificial and not suitable for use in buildings. There was also, and still is, some confusion over the differences between airtightness and ventilation. All this led to demands for ecological buildings.

The purpose of this work is to survey the literature regarding airtightness and compile some of the findings, to better understand different aspects behind air leakage in buildings. Further more simulations of air change rates in a detached one storey single family house has been performed in order to investigate the impact of ventilation system, wind speed, temperature differences, sheltering and topography on the infiltration rate and heating demand. Also CFD-modelling (Computational Fluid Dynamics) of air movements in different construction details in building envelopes have been performed in order to evaluate the potential of this kind of program regarding building physics simulations.

The literature survey shows that regulations of airtightness have changed from building code to building code. The demand in the present code, *BBR*, regarding airtightness in detached single family houses is the least strict one since a specified demand for airtightness was introduced in 1975. Despite the comprehensive research done in the field of airtightness since the later part of the 70's there is still neither sufficiently strict rules in the building codes, nor adequate instructions in standardised handbooks of building practise to ensure the construction of airtight buildings.

The results from computer simulations of air change rate in a detached single family house show that the heating demand can be negatively influenced in a building with an airtightness corresponding to less than 1 air change per hour at 50 Pa. Buildings, in a wind exposed surrounding, that do not comply with the demand of airtightness according to the building code, can experience a considerable increase in air change rate. This excessive air change rate can in terms of heating demand be considerably larger than all other heat losses from the building.

When it comes to CFD-simulations these show that models of wind washing and natural convection in porous insulation materials give good agreement with measurements. Due to uncertainties regarding input data it is more difficult to assemble models for simulation of air infiltration. In order to be able to model this measurement data of infiltration rates and flow characteristics for different construction details have to be known in advance.

When the work with modelling envelope leakage started, the idea was to use measurement data of air leakage through well defined details of joints of foils and boards that are supposed to ensure the airtightness of the building envelope. With these details as a basis complete construction parts should be assembled. However, this strategy of modelling complete parts of a building envelope from so called elementary leakage paths, give unreasonably tight results for the whole building envelope leakage, compared to the airtightness usually found in buildings.

The envelope leakages that are measured for complete buildings are mostly not the sum of the leakage through different well defined joints of foils and boards and penetrations through these. Instead it is the result of a few details which are either difficult to make airtight or where the workmanship is of inferior quality. Only in buildings with very good airtightness this is possibly a result of leakages through the above mentioned details.

When it comes to leakages through more complex construction details such as knee walls, crawl space flooring and connections between intermediate floors and exterior walls, measurement data is lacking. Despite the fact that a lot of effort has been spent on investigating airtightness no measurements of these details have been performed. In order to advance the knowledge of air infiltration paths and over all envelope leakage it is necessary to perform measurements of these and other details.

To obtain of a better airtightness of building envelopes, in order to control heating demand, durability and indoor comfort, it is vital that the building industry take this issue seriously. It is probably also necessary to make the regulation on airtightness in the building code tighter.

The report is written in Swedish

Keywords: air leakage, infiltration, airtightness, air change rate, dynamic heat recovery.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Problembeskrivning.....	1
1.3	Syfte.....	2
1.4	Frågeställningar.....	3
1.5	Metod.....	3
1.6	Avgränsningar.....	4
<b>2</b>	<b>Litteraturstudier</b>	<b>7</b>
2.1	Lufttätet i byggnormer från BABS 67 fram till dagens BBR.....	7
2.2	Lufttätet hos hela byggnader.....	15
2.3	Strömningsteori och läckagekaraktistik.....	18
2.4	Värmeväxlingseffekter vid infiltration av ett klimatskal.....	22
2.5	Modellering av luftläckage.....	28
2.6	Vindtryck.....	32
2.7	Läckagedetaljer.....	44
<b>3</b>	<b>Praktiskt utförande av lufttäteten i bostäder</b>	<b>53</b>
3.1	Studieobjekt 1.....	53
3.2	Studieobjekt 2.....	58
3.3	Studieobjekt 3.....	60
3.4	Val av detaljer att täthetsprova i laboratorium.....	61
3.5	Slutsatser från arbetsplatsbesöken.....	61
<b>4</b>	<b>Konstruktionsdetaljers luftläckage uppmätta i laboratorium</b>	<b>63</b>
4.1	Genomföring av eldosa.....	63
4.2	Överlappsskarvar av plastfolie.....	65
4.3	Anslutning av plastfolien vid en fönsteröppning.....	69
4.4	Anslutning mellan syll och ett betongbjälklag eller en platta på mark.....	74
4.5	Generella kommentarer till laboratoriemätningarna.....	78
<b>5</b>	<b>Modellering och datorsimuleringar av luftläckage</b>	<b>79</b>
5.1	Modelleringsverktygen.....	79
5.2	Datormodeller uppbyggda i Fluent.....	80
5.3	Datormodeller uppbyggda i Simulink.....	100
<b>6</b>	<b>Sammanfattning och diskussion</b>	<b>115</b>
6.1	Studiens huvudsakliga resultat.....	115
6.2	Förslag på åtgärder för att förbättra tätheten i byggnader.....	118
6.3	Det fortsatta arbetet.....	118
	<b>Referenser</b> .....	<b>123</b>
	Appendix A Simuleringsresultat	
	Appendix B Definition av transmissionsförluster	

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Luftrörelser i en byggnads klimatskal<sup>1</sup> vare sig det gäller naturlig konvektion, anblåsning<sup>2</sup> eller genomblåsning<sup>3</sup>, påverkar energi- och fuktflödet inom och genom olika konstruktionsdetaljer. Dessa flöden påverkar i sin tur byggnadens beständighet och dess inomhusmiljö, samt energibehov och termisk komfort.

En byggnads beständighet kan äventyras om varm fuktig inneluft strömmar ut genom klimatskalet. Ett exempel är luftläckage genom isolerade vindsbjälklag. Fuktkonvektion kan medföra att den relativa fuktigheten i vindsluften blir förhöjd och når kritiska nivåer för mögelpåväxt, eller att vattenånga kondenserar och ger fuktskador på vindsbjälklagets eller yttertakets undertak. Förutom att riskera en byggnads beständighet kan mögelpåväxt till följd av fuktkonvektion ge en ohälsosam inomhusmiljö. Detta kan resultera i att det inte går att vistas i byggnaden, även om konstruktionen hållfasthetsmässigt inte är allvarligt skadad.

En byggnads energibehov kan påverkas vid anblåsning genom att effektiv isolertjocklek reduceras till följd av att kall luft tränger in i oskyddade porösa värmeisoleringsmaterial. Om klimatskalet är otät kan dessutom luft läcka genom det och påverka byggnadens luftomsättning. Beroende på tryckskillnad, ventilations-system och byggnadens täthet varierar luftläckaget och dess inverkan på energibehovet. Ju tätare en byggnad är desto lättare är det för ett mekaniskt ventilationssystem att upprätthålla avsedd luftomsättning. Därmed upprätthålls också uppskattat energibehov för ventilationen. Om en byggnad är mycket otät och placerad i ett vindutsatt läge kan luftomsättningen bli betydligt större än den projekterade, med följd att även energibehovet ökar.

Komfortproblem kan uppstå till följd av konvektion genom otätheter. Infiltration<sup>4</sup> av kall uteluft kan kyla ned ytor eller orsaka drag på grund av höga lufthastigheter. Dessutom kan ett otät klimatskal påverka en byggnads ventilation. Istället för att ventilationsluften kommer in genom de avsedda tilluftsventilerna läcker den okontrollerat genom olika springor och öppningar.

## 1.2 Problembeskrivning

Energikriserna på 70-talet ledde till att därpå följande byggnormers krav på lufttäthet och värmeisoleringsgrad skärptes för bostäder och lokaler. De hårdare kraven ledde i sin tur till att nyproducerade hus gjordes tätare och mer välisolerade. Denna utveckling fick även till följd att äldre byggnader tilläggsisolerades och tätades. Resultaten av dessa åtgärder var inte enbart positiva. Tätare hus medförde bland annat att luftomsättningen blev otillräcklig utan mekanisk ventilation. Många byggnader var vid den här tiden självdragsventilerade och en hel del av ventilationsluften strömmade

<sup>1</sup> Med klimatskal avses de konstruktionsdelar, till exempel väggar och bjälklag med mera, som skiljer utomhusklimatet från det klimat som råder inomhus.

<sup>2</sup> Med anblåsning avses att utomhusluft tränger in en konstruktionsdel, genomströmmar en del av denna och fortsätter sedan ut till utomhusluften igen.

<sup>3</sup> Med genomblåsning avses att luft strömmar från utomhusluften, genom en konstruktionsdel och in till inomhusluften, eller vice versa.

<sup>4</sup> Se genomblåsning.

inte bara genom frånluftskanaler och tilluftsventiler, utan också i hög grad genom otätheter i klimatskalet. När byggnaderna blev tätare räckte inte de klimatologiska drivkrafterna till för att säkerställa en tillräckligt god luftväxling. Andra olägenheter som uppstod var fuktproblem i tilläggsisolerade vindar. Den förbättrade värmeisoleringen av vindsbjälklaget gjorde att temperaturen i vindsutrymmet sänktes. Om fuktig inomhusluft då strömmade upp till vinden genom otätheter i bjälklaget medförde den lägre temperaturen att luftens relativa fuktighet blev högre än tidigare. Därmed kunde en vind som klarat sig i många år utan fuktskador drabbas av sådana kort tid efter att den tilläggsisolerats.

Problem med mögel och dålig ventilation ledde till att material som plastfolie och mineralull började att ifrågasättas. En del aktörer i byggbranschen såg dessa material som något konstgjort och ej lämpligt för människan att ha i sina bostäder. Problem med låg luftomsättning i tätare hus utan mekanisk ventilation gjorde även att man blandade samman begrepp som täthet och ventilation. Många förknippar därför en tät byggnad med dålig ventilation, men det är betydligt lättare att upprätthålla avsedd ventilationsgrad i en tät byggnad med ett mekaniskt ventilationssystem jämfört med ett självdragssystem i ett otätt hus. I kölvattnet av problem med fukt och låga ventilationsnivåer följde krav på ekologiskt byggande.

I början av 80-talet introducerades i Sverige ett nytt isolermaterial, cellulosafiber. Detta material sades kunna buffra fukt i likhet med äldre tiders timmerhus. Därmed skulle plastfolien göras överflödigt. Många arkitekter sveptes med av den ekologiska trenden och uttryck som "hus som andas" och "vem vill bo i en plastpåse" myntades. Ännu idag råder en viss förvirring bland byggbranschens aktörer och en större allmänhet. Många tror att en byggnad med cellulosa baserad värmeisolering inte behöver någon plastfolie. Dock finns det både fältundersökningar<sup>5</sup> och simuleringar<sup>6,7</sup> som visar att fuktproblem kan uppstå på grund av både fuktkonvektion och fuktdiffusion i cellulosa isolerade klimatskal utan plastfolie eller motsvarande.

### 1.3 Syfte

Arbetet med denna licentiatuppsats ingår i ett större program "Luftförelser i och genom byggnadens klimatskal" Programmet består av tre delar:

1. Modellering av konvektiva processer i olika konstruktionsdelar i en byggnads klimatskal
2. Modellering och analys av lufttransport inom och genom ett klimatskal i en hel byggnad<sup>8</sup>
3. Lufttäthetsfrågor i byggprocessen<sup>9,10</sup>

<sup>5</sup> Sikander, Eva, (1996), *Fuktsäkerhet hos några typer av byggnadskonstruktioner*, (SP Rapport 1996:34), SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

<sup>6</sup> Rodhe Karsten, (1998), *Organic Insulation Materials: Effekt on Indoor Humidity and nNecessity of a Vapor Barrier*, Conference: Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII, Clear Water Beach, Florida, USA, ISBN 1-883413-70-2.

<sup>7</sup> Hagentoft Carl-Eric, (1996), *Moisture Conditions in a North Facing Wall with Cellulose Loose Fill Insulation: Constructions with and without Vapour Retarder and Air Leakage*, ASHRAE Transactions 1995, Volume 101, Part 1.

<sup>8</sup> Sasic Angela, (2004), *HAM-Tools, An integrated simulation toll for Heat, Air and Moisture transfer analyses in Building Physics*, Institutionen för byggnadsteknologi, Byggnadsfysik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.



Syftet med arbetet är:

- att sammanställa och analysera delar av den kunskap vilken finns redovisad i i huvudsak svensk och engelsk litteratur som behandlar frågor som direkt eller indirekt har betydelse för infiltration eller luftläckage samt andra luft rörelser i en byggnads klimatskal.
- att utveckla datormodeller för att förutsäga lufttätheten hos byggnader och täthetens inverkan på energi- och effektbehov, samt risk för fukt- och komfortproblem med mera.
- att simulera luftomsättning i ett mekaniskt ventilerat enfamiljshus i ett plan för att bedöma hur tät en byggnad bör vara för att projekterad luftomsättning ej skall påverkas av ett yttre klimat.
- att med ett CFD-verktyg (Computational Fluid Dynamics) bland annat analysera värmeväxlingseffekter och yttemperatur när luft infiltrerar en byggnadsdel.
- att utifrån tätheten hos enskilda detaljer, såsom skarvar och anslutningar av plastfolie tillsammans med porösa isolermaterial med mera, med hjälp av CFD-verktyget bygga upp modeller för beräkningar av lufttätheten i kompletta konstruktionsdelar. Dessa delar kan till exempel utgöras av ytterväggar, vindbjälklag eller fönsteröppningar i en yttervägg.

#### 1.4 Frågeställningar

Exempel på frågeställningar av intresse är bland annat:

- Är det nödvändigt att ur ett energiperspektiv bygga lufttätt?
- Kan i en otät byggnad luftläckaget dominera effektbehov om vädret är mycket ogynnsamt?
- Vid simuleringar av luftläckage, hur stor betydelse har val av ventilationssystem och terrängtyp för beräkningsresultatet?
- Ger klämning av skarvar i plastfolie en fullgod lufttäthet och är ett klimatskal med plastfolie automatiskt tätare än ett utan plastfolie? Är plastfolie nödvändig för god lufttäthet i en byggnad?
- Hur kommer det sig att hus med identisk konstruktion kan vara olika täta? Beror det endast på skillnader i arbetsutförande, eller kan två lika goda arbetsutföranden ge väsentligt olika resultat?

#### 1.5 Metod

De metoder som används i detta arbete är olika typer av datorsimuleringar, litteraturstudier, besök på byggarbetsplatser och mätningar i laboratorium. Tyngdpunkten i arbetet ligger på simuleringar och litteraturstudier.

##### 1.5.1 Modeller/modellverktyg

För att kunna modellera luftläckage genom skarvar i tätskikt och diverse anslutningar mellan olika konstruktionsdetaljer förbundna med porösa isolermaterial måste, åtminstone för tredimensionella beräkningar, någon typ av mer avancerad

---

<sup>9</sup> Sandberg P I, Sikander E, (2004), *Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen –Kunskapsinventering, laboriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning*, (SP-Rapport 2004:22), SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

<sup>10</sup> Johansson Mikael, (2004), *Byggnaders Lufttäthet - En studie av utformning och praktiskt utförande av konstruktionsdetaljer i klimatskärmens lufttäta skikt*, examensarbete vid Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

programvara användas. För detta arbete har *Fluent*, ett kommersiellt CFD-program (Computational Fluid Dynamics), valts. För dokumentation se [www.fluent.com](http://www.fluent.com). I *Fluent* utförs simuleringar av transmissionsförluster genom ett klimatskal när luft genomströmmar en konstruktionsdel. Dessutom modelleras och simuleras naturlig konvektion och anblåsning med tillhörande förändringar av värmetransport i porösa isolermaterial, samt spalter och springor.

Vid simuleringar av luftomsättning med mera i en hel byggnad påverkad av vindtryck och termik, samt utrustad med ett mekaniskt ventilationssystem, används *Simulink*, ett programmeringsverktyg i *Matlab*. För dokumentation av programvaran se [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com). Detta verktyg är framför allt avsett för att modellera och simulera dynamiska förlopp. Här används det emellertid till simuleringar av stationära processer.

### 1.5.2 Litteraturstudier

För att få ett grepp om vad som påverkar lufttäthet och luftomsättning eller ventilation i en byggnad har ett flertal, nära relaterade, områden studerats. Dessa beskrivs närmare i kapitlet teoretisk bakgrund och är där grupperade enligt följande:

- Byggnormer och branschgemensamma arbetsanvisningar
- Lufttäthet hos hela byggnader
- Strömningsteori och läckagekaraktistik
- Dynamiska isoleringseffekter
- Modellering av luftläckage
- Vindtryck
- Läckagedetaljer

### 1.5.3 Inventering av utförandet av lufttäta skikt på byggarbetsplatser

Även om det finns en hel del läckagedata att tillgå i befintlig litteratur saknas många gånger uppgifter om storleken på luftläckage för ett antal tänkbara läckagevägar i en byggnads klimatskal. Dessutom behövs en aktuell inventering av byggarbetsplatser för att se hur man löser de konstruktionsdetaljer som skall säkerställa god lufttäthet i dagens bostadshus. För att undersöka hur lufttätheten säkerställs i dagens byggnader har ett antal byggarbetsplatser i Göteborgsregionen besökts. Bland annat studerades hur skarvar av plastfolie, anslutning av utfackningsväggar och bjälklag, samt diverse genomföringar av tekniska installationer genom en plastfolie utförs i praktiken. Dessa detaljer har dokumenterats med fotografier samt skisser och beskrivs i det följande arbetet.

### 1.5.4 Mätningar i laboratorium av luftläckage hos byggnadsdetaljer

Vid arbetsplatsbesöken har ett antal intressanta detaljer där luftläckage kan förekomma observerats. Lufttätheten hos dessa detaljer har inte lösts på samma sätt på alla byggarbetsplatser. För att utreda skillnader i lufttäthet vid olika alternativa lösningar har luftläckaget mätts för en och samma konstruktionsdetalj med olika arbetsutföranden eller materialval.

## 1.6 Avgränsningar

Detta arbete behandlar endast frågor som berör luftförelser i och genom ett klimatskal, ventilationsgrad, temperaturfält, förändringar av energiflöden och

uppvärmningsbehov. Fuktproblematik och komfortfrågor behandlas alltså inte, även om vissa kommentarer beträffande detta görs.

Simuleringar av luftläckage i en hel byggnad utförs endast för ett fristående enfamiljshus i ett plan. Datormodellen av byggnaden är en enzonmodell. Otätheter är jämnt fördelade till respektive fasad och placerade vid syll och hammarband. Dessa läckagevägar svarar för hela byggnadens otäthet och ger därför betydligt större läckage än vad motsvarande detalj i en verklig byggnad ger. Avsikten med simuleringarna av luftomsättning syftar dock främst till att jämföra hur luftomsättningen i byggnader med olika lufttäthet påverkas av ventilationssystem, vindtryck och termik. Tryckfallen i de modellerade ventilationssystemen är beräknade för turbulent strömning.