

Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen - Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler

Per Ingvar Sandberg
Eva Sikander
Paula Wahlgren
Bengt Larsson

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen - Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler

Per Ingvar Sandberg
Eva Sikander
Paula Wahlgren
Bengt Larsson

Abstract

Consideration of airtightness in the construction process – Stage B. Technical consequences and profitability assessments

Air movements in and through the building envelope affect the flows not only of heat, but also of moisture, gases and particles, in a building. They often play a decisive part in determining moisture conditions, and thus also in determining indoor environmental conditions and, ultimately, the durability of the structure. Air flows affect thermal comfort and ventilation, and so also air quality. In addition, they affect heat losses, both directly via ventilation and through their effect on the performance of what are intended to be high-insulation structures.

A previous joint project between SP Technical Research Institute of Sweden and Chalmers University of Technology investigated the importance of airtightness in the construction process, finding that:

- many types of damage and problems were caused by poor airtightness;
- airtightness is seldom given the proper consideration that it deserves by the various parties in the construction process, *and that*
- there is a major need for information on the effects of poor airtightness.

One of the conclusions was that it is important to get developers/clients to treat airtightness more seriously. The objective of the follow-on project that is reported here is therefore to make developers/clients aware of the potential damage that can be caused by poor airtightness and what this damage/problems 'costs' in a life-cycle perspective. Hopefully, developers/clients will then specify and monitor airtightness requirements more clearly, which would mean that designers, contractors and manufacturers of materials will be forced to improve their efforts for better airtightness.

The aim is therefore to develop materials and methods for informing developers/clients of the importance of good airtightness, and of the extra costs that paying insufficient attention to airtightness can result in.

The project has been carried out in the form of four sub-projects:

- The consequences of poor airtightness in terms of effects on energy, moisture, air quality, comfort, ventilation etc.
- Investigation of the 'cost' of a lack of airtightness.
- How should requirements be specified, and how should they be monitored?
- Putting together and presenting the informatory material.

Key words: Airtightness, Air leakage, Energy use, Moisture, Blower-door tests, Thermal comfort, Indoor air quality, Profitability assessment

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2007:23
ISBN 91-85533-53-X
ISSN 0284-5172
Borås 2007

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord	6
Sammanfattning	7
1 Introduktion	16
1.1 Bakgrund	16
1.2 Syfte	17
1.3 Genomförande	17
1.3.1 Delprojekt 1: Konsekvenser av bristande lufttätethet	17
1.3.2 Delprojekt 2: Lönsamhet och lufttätt byggande	18
1.3.3 Delprojekt 3: Hur ställer man krav och hur följer man upp kraven?	18
1.3.4 Delprojekt 4: Sammanställning av informationsmaterial	18
2 Konsekvenser av bristande lufttätethet - skador och olägenheter orsakade av luftströrelser	20
2.1 Översikt	20
2.2 Konsekvens: Ökad energianvändning	21
2.2.1 Ökad energianvändning pga. försämrade värmeisolering	21
2.2.2 Ökad energianvändning pga. ökad ventilation	23
2.2.3 Ökad energianvändning pga. minskad effektivitet hos värmeväxlaren	26
2.3 Konsekvens: Termisk komfort	27
2.3.1 Drag	28
2.3.2 Vertikal temperaturskillnad	28
2.3.3 Kalla golv/tak	28
2.3.4 Skillnader i strålningstemperatur	29
2.3.5 Klassindelning och krav på termisk inommiljö	29
2.3.6 Värdering av bristande termisk komfort	30
2.4 Konsekvens: Luftkvalitet	34
2.4.1 Spridning mellan lägenheter	34
2.4.2 Spridning av brandgaser	34
2.4.3 Spridning av markradon	34
2.4.4 Spridning utifrån	35
2.4.5 Ventilationssystemets funktion	35
2.5 Konsekvens: Fuktskador	37
3 Lönsamhet och lufttätt byggande	38
3.1 Beräkningsförutsättningar	38
3.1.1 Beslutsfattande	38
3.1.2 Särintäkter och särkostnader	39
3.1.3 En modell för beslutsfattande	39
3.1.4 Fastighetsägarens beslutssituation	40
3.2 Särintäkter och särkostnader	42
3.2.1 Särintäkter	42
3.2.2 Särkostnader	43
3.3 En kalkylmodell	44
3.4 Några kalkylexempel	45

3.4.1	Fastighetsföretag som äger och hyr ut bostäder i flerfamiljshus	45
3.4.2	Fastighetsföretag som äger lokaler och som själv använder sina lokaler	46
3.5	Kapitelsammanfattning	46
4	Byggherrens krav för lufttät byggnad	48
4.1	Inledning	48
4.2	Checklista för byggherrens arbete	48
4.3	Byggherrens ambitionsnivå	50
4.4	Byggherrens krav för lufttät byggnad	50
4.4.1	Projekteringsskede	50
4.4.2	Byggskede	51
4.5	Exempel på mätmetoder och metoder för läckagesökning	53
4.6	Goda exempel på lufttäta byggnader	54
5	Sammanställning av informationsmaterial	55
	Referenser	56
	Bilaga 1. Projektorganisation	59
	Bilaga 2. Försämrade värmeisolering pga luftrörelser	60
	Bilaga 3. Bristande lufttäthet i småhus	65
	Bilaga 4. Fuktkonvektion i simhall	66
	Bilaga 5. Exempel på krav i andra länder	67
	Bilaga 6. Goda exempel på lufttäta byggnader	68
	Bilaga 7. Enkel checklista för byggherrens uppföljning av projektering	76
	Bilaga 8. Enkel checklista för byggherrens kontroll av entreprenörens egenkontroller/Exempel på kontrollplan för lufttätt byggande	78
	Bilaga 9. Sammanställning av luftläckage vid olika utföranden	79

Förord

Under 2005 beviljades medel för detta projekt av SBUF och Byggkostnadsforum. Rolf Jonsson, Väst Bygg AB resp Bertil Rignäs, Egnahemsbolaget Göteborg, har stått som sökande. Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier, BI Väst har varit projektsamordnare.

Projektet har haft en aktiv styrgrupp med medlemmar från bl a FoU Väst, Lokala byggherregruppen i Göteborg, Chalmers och SP (se Bilaga 1).

Ansvariga för delprojekt och författare till motsvarande kapitel i rapporten har varit:

Konsekvenser	Per Ingvar Sandberg och Paula Wahlgren
Lönsamhet	Bengt Larsson
Byggherrens krav	Eva Sikander

Eric Werner, Tecknaren AB, har utformat ett heltäckande informationsmaterial baserat på de olika projektresultaten. Delar av detta informationsmaterial har redan använts med stor framgång.

Den omfattande sammanställningen av läckagedata i Bilaga 9 har gjorts av prof Anker Nielsen, Chalmers/SP.

På alla författarnas vägnar framförs härmed ett varmt tack till alla som på olika sätt stött och deltagit i projektarbetet. Det är vår förhoppning att detta projekt skall leda till större uppmärksamhet på lufttäthetsfrågorna och att lufttätheten nu äntligen betraktas som den kärnegenskap för byggnaden som den faktiskt är.

Borås i april 2007
Per Ingvar Sandberg

Sammanfattning

Bakgrund

Rapporten ”Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning”, Sandberg, P.I. och Sikander, Eva (2004) visade bl a att

- en rad skador och olägenheter orsakas av bristande lufttäthet
- lufttäthetsfrågorna sällan tas på riktigt allvar av de olika aktörerna i byggprocessen
- det finns ett stort behov av information om konsekvenserna av bristande lufttäthet

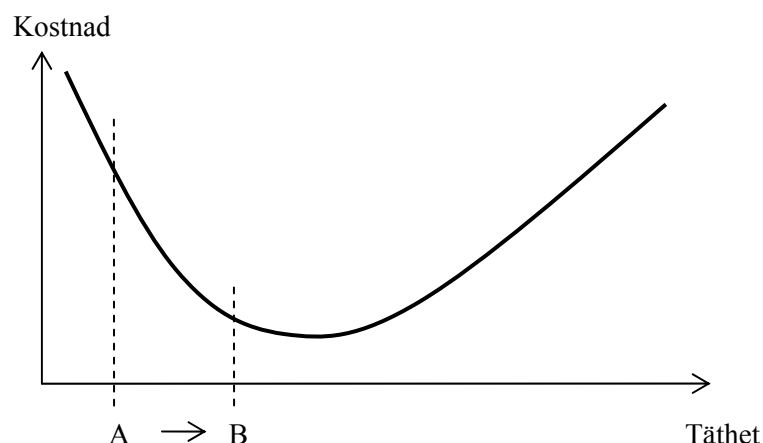
Vid ett möte med FoU-Väst våren 2004 diskuterades dessa frågor och en av slutsatserna blev att det är viktigt att få byggherre/beställare att ta lufttäthetsfrågorna på större allvar. Detta skulle kunna ske genom att denna grupp informeras om skadliga konsekvenser av lufttäthet och vad dessa skador/olägenheter ”kostar” i ett livscykelperspektiv.

Striktare krav från byggherren/beställaren på förbättrad lufttäthet skulle på sikt innebära att även projektör, entreprenör och materialtillverkare stimuleras till ökade ansträngningar för bättre lufttäthet. Under 2005 beviljades medel för detta projekt av SBUF och Byggekostnadsforum.

Grundtanken med projektet är att en förbättrad lufttäthet är ”lönsam” genom att den ger en bättre inomhusmiljö och minskade förvaltningskostnader. Vidare finns föreställningen att byggherrar/beställare har ett avgörande inflytande över hur lufttätheten blir genom de krav som ställs. Denna grupp involveras därför i arbetet med att analysera konsekvenserna av dålig lufttäthet och vad den kostar.

Syfte

Utgångspunkten för projektet är alltså att vi idag ofta befinner oss vid A i figuren nedan och att det skulle vara lönsamt att öka tätheten t ex till B. Den ökade kostnad en bättre täthet skulle medföra (utbildning, kontroll, dyrare lösningar etc) skulle mer än väl uppvägas av minskade kostnader för otätheter.



Figur 0.1 Kostnaderna (summan av kostnader för att skapa täthet + kostnader för bristande täthet) som funktion av tätheten.

Syftet är att utveckla material och metoder för att informera byggherrar/beställare om olika aspekter på lufttäthet. De aspekter som behöver behandlas är:

- Konsekvenser av bristande lufttäthet (energi, fukt, komfort, ventilation mm)
- Vad kostar otätheterna?

- Hur ställer man krav och hur följer man upp kraven?

Konsekvenser av bristande lufttätethet

Enligt kartläggningen i Sandberg & Sikander (2004) är de viktigaste negativa konsekvenserna av bristande lufttätethet:

	Konsekvens
Energi	Ökad energianvändning, transmissionsförluster
	Ökad energianvändning, ventilationsförluster
Komfort	Drag
	Kalla golv
Fukt	Skador av fuktkonvektion
	Skador av inläckande regnvatten
Luftkvalitet	Funktion hos ventilationssystem
	Spridning av lukter, partiklar, gaser inkl radon
Annat	Frysrisk hos installationer
	Försämrade ljudisolering

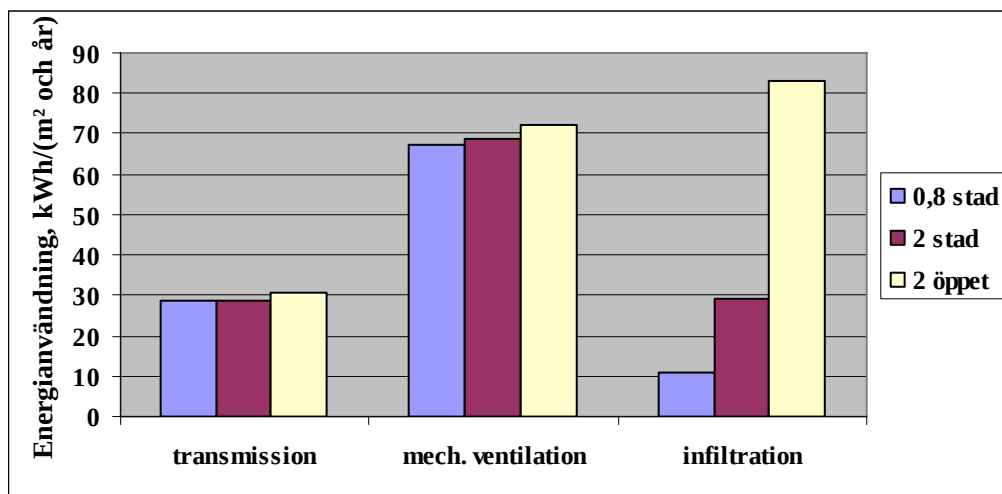
Ökad energianvändning

En otät byggnad får ökad energianvändning av flera anledningar. Om luften tillåts att blåsa in i isoleringen ger detta upphov till ett **minskat värmemotstånd** hos isoleringen och, med andra ord, ett ökat värmeflöde genom byggnadsdelen

Dålig lufttätethet ger ökad energianvändning eftersom **ventilationsflödet** i de flesta fall **ökar**. Vid kall och blåsig väderlek kan det vara en ansevärd mängd extra luftflöde in i byggnaden som måste värmas.

En beräkning har gjorts av hur mycket energianvändningen i en otät byggnad ökar pga. att ventilationen ökar, se Figur 0.2. Byggnaden är ett flerbostadshus från miljonprogrammet med luftläckage 0,8 l/m²s (enl BBR-kravet) och 2,0 l/m²s, vilket motsvarar värden som SP ofta mäter upp i befintliga hus från 1970-80-talet.

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



Figur 0.2.. Energiförluster för flerbostadshus, två otäthetsgrader i stadsmiljö otätt i öppet landskap.

När den otäta ($2,0 \text{ l/m}^2\text{s}$) byggnaden simuleras i staden står den ofrivilliga ventilationen för 23 % av den totala energiförlusten och är lika stor som 43 % av den mekaniska ventilationen. När byggnaden har en normenlig täthet ($0,8 \text{ l/m}^2\text{s}$) är den ofrivilliga ventilationen 10 % av de totala energiförlusterna.

När byggnaden flyttas från staden till ett mer öppet och vindutsatt landskap så ökar betydelsen av lufttätheten. För det otäta huset är nu energiförlusterna genom ofrivillig ventilation 14 % större än de genom det mekaniska ventilationssystemet och står för 45 % av den totala energianvändningen.

I de fall byggnaden är utrustad med **värmeåtervinning** och det är dålig lufttäthet innebär detta att luftflödena inte går igenom värmeväxlaren som tänkt. Tilluften blir inte förvärmad och frånluftens energiinnehåll tas inte tillvara när luften istället tas in och ut genom klimatskalet.

Bristande termisk komfort

En människa utbyter värme med omgivningen genom konvektion (luft som rör sig), strålning till omgivande ytor, ledning till omgivande luft och genom andning och avdunstning. För att beskriva hur man upplever den termiska komforten finns begreppet PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) som anger hur många i en större grupp personer som är missnöjda med komforten. De faktorer som påverkar den termiska komforten och som kan relateras till lufttäthet är i första hand lufthastigheter och kalla ytor.

Fastighetsägaren kan alltid välja mellan att åtgärda problem med den termiska komforten eller att ha dem kvar och ta de löpande kostnader som detta innebär. I det förra fallet handlar det om byggnads- eller installationstekniska åtgärder och i det senare fallet huvudsakligen om dolda kostnader och/eller förlorade intäkter. Dessa kostnader är mycket svårare att uppskatta. Några direkta samband mellan dålig komfort och ökade kostnader för fastighetsägaren finns inte tillgängliga. För att få en uppfattning om olika typer av kostnader redovisas nedan några exempel.

Oförändrad operativ temperatur. Lokal nedkylning medför att den operativa temperaturen (medelvärde av lufttemperatur och omgivande ytors temperatur) minskar. Denna minskning kan kompenseras av ökad lufttemperatur. En ökad lufttemperatur medför dock ökade transmissions- och ventilationsförluster, vilket ger ökade uppvärmningskostnader. Ett sätt att värdera den lokala nedkylningen är alltså att beräkna vilka ökade energikostnader som blir följden av att den operativa temperaturen hålls oförändrad.

Kostnader för produktivetsminskningar vid kontorsarbete. Omfattande studier visar att produktiviteten i t ex kontorsarbete minskar vid brister i den termiska komforten. Flera undersökningar visar att en ökning av antalet missnöjda med den termiska komforten med 10 % i runda tal minskar produktiviteten med 1 %. Intressant att nämna här är att andra undersökningar visat att en ökning av antalet missnöjda med luftkvaliteten med 10 % också medfört en minskning av produktiviteten med 1%. Dessa produktivetsminskningar kan ha stor betydelse för lokaler med höga personalkostnader, t ex kontor.

Kostnader för bad will, klagomål etc. Hyresgäster som upplever dålig termisk komfort klagar troligen hos fastighetsägaren och/eller talar illa om honom och fastigheten. Eventuellt går det så långt att han flyttar. Detta innebär direkta kostnader i form av tid för t ex telefonsamtal, besiktning och administration och indirekta kostnader för bad will som kan orsaka intäktsbortfall eller betalningsovillighet.

Försämrade luftkvalitet

Luftflöde genom otätheter i byggnadsskalet för med sig sitt innehåll av gaser och partiklar. Otätheter kan då utgöra en oönskad spridningsväg för olika typer av ämnen som påverkar luftkvaliteten negativt.

Spridning mellan lägenheter. Otätheter i lägenhetsskiljande väggar medför risker för att för att matos, tobaksrök mm sprids mellan lägenheter. Beroende på vindförhållanden och injustering av ventilationssystemet finns ofta tryckskillnader mellan lägenheter som skapar luft rörelser och spridning av oönskade ämnen. En annan vanlig spridningsväg är via entrédörrar till trapphuset, där man på grund av de termiska drivkrafterna får en lufttransport från lägenhet till trapphus i de nedre våningsplanen, och från trapphus till lägenhet i de övre våningsplanen.

Spridning av brandgaser. Lägenheter är normalt egna brandceller och lägenhetsskiljande väggar alltså brandcellsavskiljande. Enligt Boverkets byggregler (BBR) gäller att "Brandcellsskiljande byggnadsdelar skall vara täta mot genomsläpp av flammor och gaser ...".

Spridning av markradon. Radon (kemisk beteckning Rn) är en radioaktiv ädelgas, som bildas när radium sönderfaller. Radonet sönderfaller sedan vidare i radondöttrar, som lätt fastnar på dammkorn och följer med inandningsluften in i lungorna. Vid det fortsatta sönderfallet av radondöttrarna avges olika typer av strålning, som kan ge upphov till lungcancer. Radon från marken är den vanligaste orsaken till radon i byggnader. Radonet transporteras in i byggnaden med jordluft som sugas in genom otätheter i grundkonstruktionen. Det enda säkra sättet att undvika inträngning av markradon är att göra byggnadsdelarna mot marken täta.

Spridning utifrån. Den strategi man tillämpar för att skapa god luftkvalitet inomhus är att reducera föroreningskällor och att genom ventilationen späda ut de föroreningar som inte kan undvikas. Detta förutsätter att uteluften har lägre föroreningshalter än inneluften. Så är inte alltid fallet. I många fall har uteluften större föroreningshalter än vad som är acceptabelt och det är då nödvändigt att uteluften filtreras och/eller att luftintagen placeras där luftkvaliteten är bättre. I områden med dålig luftkvalitet utomhus är det alltså av stor vikt att ventilationen sker genom ventilationssystemet och inte genom okontrollerad infiltration genom otätheter i byggnadsskalet. God lufttäthet är också för övrigt en förutsättning för god ljudisolering i fasader.

Ventilationssystemets funktion. Brister i lufttätheten kan också medföra att ventilationssystemets funktion äventyras så att vissa volymer får för låg luftväxling. Detta kan i sin tur medföra att föroreningar från verksamhet eller personer inte kan föras bort i nödvändig utsträckning och luftkvaliteten blir då lidande. Konsekvenserna i bostäder kan bli missnöje, klagomål etc, men de viktigaste följderna av dålig luftkvalitet har man i arbetslokaler, t ex kontor och skolor eftersom produktiviteten påverkas negativt av dålig luftkvalitet. En annan konsekvens av låg luftväxling är en ökad sjukfrånvaro, framför allt korttidsfrånvaro.

Fuktskador

Inneluft som läcker ut genom otätheter i byggnadsskalet kyls av. Om temperaturen sjunker till daggpunkten kondenserar vattenånga ur luften och fukt ansamlas i byggnadskonstruktionen. Denna mekanism brukar kallas fuktkonvektion och kan ge allvarliga fuktskador eftersom ganska stora mängder fukt kan kondensera under kort tid. Den viktigaste förutsättningen för att undvika skador av fuktkonvektion är att undvika otätheter och luftläckage. Riskkostnaden för konsekvensen fuktkonvektion är mycket svår att bedöma

eftersom tillförlitlig statistik saknas. Sannolikheten för skada är ganska låg, men å andra sidan är konsekvenserna vid skada mycket kostsamma.

En annan skadetyper som uppmärksammas under senaste tiden är fuktproblem i putsade, odränerade fasader. Vid otätheter i fasaden har i denna väggtyp regnvatten trängt in i konstruktionen och orsakat skador. Problemet här är att dessa väggar bygger på principen med enstegstätning, dvs regntätningen och (delar av) lufttätningen ligger i fasadytan. Den tryckskillnad som alltid uppkommer över lufttätningen pressar regnvatten in i väggen.

Lönsamhet och lufttätt byggande

Att bygga lufttätt innebär extra kostnader i produktionsskedet, kostnader som i lönsamhetskalkylen betalas tillbaka under kommande år genom t ex energibesparingar och ökade hyresintäkter. Här beskrivs en enkel modell som kan ligga till grund för beslut om fastighetsägaren skall välja att bygga lufttätt eller att göra som vanligt. Modellen har två inbyggda problem. För det första är det svårt att renodla de effekter som härrör från lufttätningen och för det andra är det svårt att i kronor värdera många av de fördelar som man får då byggnaden är lufttät.

Beräkningsförutsättningar

Att fatta beslut om att bygga lufttätt eller att bygga om för att göra lufttätt är en uppgift i första hand för fastighetsägaren. Perspektivet är alltså fastighetsägarens och kostnader och intäkter som beräknas är relaterade till fastighetsföretaget.

Särintäkter och särkostnader. Kalkylerna bygger på ett särkostnads-/särintäktsperspektiv. Med begreppen särintäkt/-kostnad menas sådana intäkter/kostnader som uppkommer på grund av att beslutsalternativet genomförs och som inte skulle ha uppkommit om inte alternativet genomförts.

En modell för beslutsfattande. Ett speciellt kalkylproblem är att intäkter och kostnader ofta inte är direkt mätbara i pengar. Vissa faktorer som reparationskostnader och kostnader för ökad energiförbrukning kan med reservation för osäkerheterna i siffrorna relativt lätt beräknas i kronor. Däremot är det svårare att i kronor värdera de positiva effekterna av att människor trivs bättre i sin lägenhet eller att anställda får en bättre arbetsmiljö då inneklimatet blir bättre. Vi bör alltså skilja på ”hårda faktorer” som vi enkelt kan mäta i kronor och ”mjuka faktorer” som påverkar förhållandena men som är svårare att mäta i kronor. Ett annat problem är att kostnader och intäkter inte alltid uppstår samtidigt. Man bör använda en beslutsmodell som strukturerar och gör alla faktorer synliga för de olika alternativen. Vi föreslår att man delar upp intäkter och kostnader i mjuka/hårda faktorer samt korta/långa faktorer enligt Figur 0.3 nedan.

Fastighetsägarens beslutssituation. Beslutssituationen för fastighetsägare som äger lokaler ser olika ut om företaget använder huset självt eller om det är uthyrt. I det första fallet får fastighetsföretaget direkt vinsten av förbättringen, i det andra fallet uppstår vinsten indirekt genom en värdestegring på huset samt genom en möjlig högre hyressättning.

Särintäkter och särkostnader

En bidragskalkyl baseras på att särintäkter respektive särkostnader skiljs ut och kalkyleras. I detta fall definieras särintäkter som de minskade kostnader som erhålls då man går från en otät till en tät byggnad. Särkostnaderna är de extra kostnader som uppstår för att bygga lufttätt.

Särintäkter. Förbättring av lufttätheten i en byggnad kommer att minska de negativa konsekvenserna och ge en särintäkt för fastighetsägaren.

Energianvändning. Minskning av energiförbrukningen då man gör byggnaden lufttät är den enskilt tydligaste särintäkten. Om man går från en otät byggnad till en normalt tät byggnad kommer energiförbrukningen exempelvis (enl avsnitt 2) att minska med 55 kWh/m²år. Energipriset kan idag sättas till ca 1 kr/kWh. Energivinsten kommer då att bli åtminstone 55 kr per m² och år.

m j u k a f a k t o r e r	Intäkter: Kostnader:	Intäkter: Bättre image Bättre trivsel bättre ljudisolering Kostnader: -
	Intäkter: Kostnader: Vid ny/ombyggnad: Extra arbetstid Kontroll Utbildning	Intäkter: Lägre energiförbrukning Ökad produktivitet Minskad sjukfrånvaro Kostnader:
h å r d a f a k t o r e r	k o r t s i k t i g a f a k t o r e r	L å n g s i k t i g a f a k t o r e r

Figur 0.3 Beslutsmodell med exempel på projektrelaterade särintäkter och särkostnader

Termisk komfort. Bristande termisk komfort gör att människor som vistas i byggnaden känner sig missnöjda. Med några rimliga antaganden finner man att intäkten då man går från en otät till tät byggnad kan bli mellan 62 och 125 kr per m² och år. För hyresgäster i bostadshus, som upplever dålig termisk komfort innebär detta att de klagat hos fastighetsägaren, att de talar illa om honom eller till och med att de flyttar till en annan lägenhet. För fastighetsägarens del innebär detta att direkta kostnader i form av tid för telefonsamtal, besiktningar och annan administration uppstår. Det är svårt att ange en konkret kostnad för detta men ett antagande om 0,5-1% lägre uthyrningsgrad i fastigheter med dålig lufttätthet kan vara rimligt. En bruksvärdesökning av fastigheten innebär några procent ökning av hyresnivån, säg 2-4%. Detta sammantaget innebär totalt en vinst på mellan 25 och 50 kr per m² och år.

Luftkvalitet och ljudisolering. Otätheter i byggnaden kan föra med sig innehåll av gaser och partiklar eller orsaka dålig ljudisolering. I kalkylerna kvantifierar vi inte detta men noterar att det kan vara en särintäkt då man väljer att bygga lufttätt.

Fuktskador. Dålig lufttätthet innebär ökad risk för fuktskador med mögel och skador på inredning som följd. Ett enkelt överslag visar att sådana skador förmodligen inte har någon större ekonomisk betydelse i ett större fastighetsbestånd.

Särkostnader. De huvudsakliga särkostnaderna består av de extra kostnader som uppkommer därför att man väljer att bygga lufttätt jämfört med kostnader som skulle uppstått om man byggt som vanligt.

Arbetskostnader. Att bygga lufttätt innebär i första hand att vara noggrann vid byggandet.

Vid nybyggnad kommer täthetskravet att öka antalet arbetstimmar med 0,5-1 tim/m². Arbetskostnaden inklusive alla omkostnader och pålägg är cirka 400 kr/tim. Vid allt byggande där det ställs krav på lufttätt byggande är det nödvändigt att alla yrkeskategorier får en ordentlig utbildning om vad som förväntas av dem och hur de skall arbeta. För ett normalt projekt innebär detta en kostnad på 20-40 000 kr.

Kontrollkostnader. Krav på lufttätt byggande gör att kontroll av såväl projektering som byggande är nödvändig. Totalt innebär detta en arbetsinsats om ca 0,05 tim/m². Det är sannolikt att vissa genomföringar, speciella tejper och verktyg måste användas för att kunna bygga lufttätt. En rimlig uppskattning av denna kostnad är 20-40 kr/m².

En kalkylmodell med exempel

För att på ett enkelt sätt kunna avgöra om det är lönsamt eller ej att bygga lufttätt har vi byggt en modell i Excel. Modellen är uppdelad i två delar, den vänstra i vilken man lägger in sina ingångsdata och den högra där resultatet visas i form av särintäkter och särkostnader samt ett totalt projektresultat i kkr/år. Modellen bygger på att engångs investeringskostnader är omgjorda till annuiteter – årskostnader – enligt traditionell investeringskalkyl. I ett exempel används vår modell för att analysera vad det innebär att vid nybyggnad ställa krav på lufttätthet i stället för att göra ”som vanligt”. Särkostnaderna för byggandet är engångskostnader som uppstår i början av kalkylperioden och för att göra dem jämförbara annuitetsberäknas dem. Den ekonomiska livslängden är därvid satt till 10 år och kalkylräntan till 5%. I verkliga fall varierar dessa siffror från projekt till projekt och från företag till företag. För en hyresfastighet kommer den allt dominerande posten för särintäkter att vara den energi som man kan spara. I övrigt är det många mjuka faktorer som ökad trivsel, bättre ljudisolering som också kommer att finnas med i kalkylen. De ökade byggnadskostnaderna är förmodligen ganska minimala i detta sammanhang. Vi antar att beställaren i ett projekt bygger två liknande hus om vardera 2000 m². Vi använder de värden som är angivna i tidigare avsnitt och erhåller nedanstående beräkningskalkyl, Figur 0.4.

Indata	Enh (bruksarea)	Kalkyl	Engångs-kostnad	Årskostnad
Ökad arbetstid hus nr 1	0,5 tim/m ²	Kostnader		
Arbetskostnad	400 kr/tim	Extra arbetstid	190 kr/m ²	
Kontroll	0,05 tim/m ²	Ökad kontroll	25 kr/m ²	
Kontrollantkostnad	500 kr/tim	Utbildning av arbetare	5 kr/m ²	
Livslängd (LCC)	10 år	Övriga kostnader	20 kr/m ²	
Kalkylränta	5 %	Summa kostnad	240	31 kr/m² och år
Annuitetsfaktor	0,1295			
Utbildningskostnad	20000 kr/projekt	Intäkter		
Övriga kostnader	20 kr/m ²	Minskad energiåtgång		55 kr/m ² och år
Antal hus i projektet	2 st	Minskade åtgärder för fuktskador		3 kr/m ² och år
BRA per hus	2000 m ² BRA	Ökad uthyrningsgrad		5 kr/m ² och år
Inkörningstal	0,95	Ökad hyresnivå		20 kr/m ² och år
Inkörningsfaktor ack mvärde	0,95	Ökad trivsel och komfort		
		Minskad spridn av partiklar		
		Bättre ljudisolering		
		Summa intäkt		83 kr/m² och år
		Täckningsbidrag (TB)		51 kr/m² och år
		Totalt täckningsbidrag (TTB för projektet)		206 kkr/år

Figur 0.5. Lönsamhetskalkyl för projekt med två hyresfastigheter som byggs lufttäta.

Vi konstaterar att det med stor sannolikhet är lönsamt för fastighetsägaren att bygga sitt hus lufttätt - det är energibesparingen som är den mest konkreta vinsten. Emellertid kommer nog de mjuka faktorerna – ökad trivsel, minskad spridning av partiklar och bättre ljudisolering - att vara väl så betydelsefulla i det långa loppet, även om de inte har tilldelats några konkreta värden i ovanstående kalkyl.

Byggherrens krav för lufttät byggnad

I sitt programarbete formulerar byggherren en mängd olika krav för att få rätt kvalitet i byggnaden. Genom tydliga krav i programskedet undviks många onödiga frågor och utredningar under projekteringsskedet. Under byggskedet begränsas oplanerade ändringar genom sen upptäckt av fel. När det sedan är dags för överlämnande av den färdiga byggnaden har man genom ett väl utfört programarbete skapat förutsättningar för överensstämmelse mellan förväntat och uppnått resultat. Avsnittet om byggherrens krav är avsedda att ge byggherrar uppslag inför det egna arbetet med att ställa krav och följa upp dessa så att byggnaderna får god lufttätethet.

Checklistan nedan är avsedd att användas av byggherren eller dennes representant för att styra byggprocessen så att byggnadens lufttätethet blir den önskade. Byggherrens styrning sker genom att:

- formulera tydliga krav avseende lufttätethet
- tydliggöra ansvarsfördelning
- kontrollera/säkerställa att de upphandlade aktörerna har erforderlig kompetens
- följa upp att kraven uppfylls

Byggherrens ambitionsnivå ligger till grund för de krav som formuleras för den lufttäta byggnaden. Ambitionsnivå återspeglas framförallt i

- eget engagemang
- kravformulering
- vilken kompetens som handlas upp.
- utbildning/information från byggherrens sida det egna arbetet med att följa upp att kraven uppfylls.
- de konsekvenser som kan formuleras om krav ej uppfylls.
- eventuella gratifikationer om kraven uppfylls eller vissa angivna nivåer nås.

Byggherrens krav för lufttät byggnad är flera och sträcker sig över flera skeden i byggprocessen

- En ansvarig för lufttätetsfrågorna skall anges 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 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
- Verifierande mätning skall genomföras vid färdigställande av byggnadens klimatskal och skall uppfylla det aktuella täthetskravet

Den metod som används för verifiering av en byggnads lufttätethet är i de flesta fall en standardiserad metod som beskrivs i EN 13829:2000. Metoden innebär att ventilationsdon tätas och en fläkt monteras i en öppning, oftast en dörr. Med hjälp av fläkten påförs ett över- respektive undertryck i byggnaden. Flödet som behövs för att åstadkomma en viss tryckskillnad över klimatskalet mäts. I samband med täthetsprovningen kan läckagesökning utföras, vilket bäst utförs med hjälp av värmekamera.

Sammanställning av informationsmaterial

Eftersom kunskapen om konsekvenserna av brister i lufttättheten är svag krävs speciell omtanke om hur resultaten från projektet skall redovisas för att på ett pedagogiskt bra sätt kunna nå berörda aktörer. Speciellt behöver resultatspridningen utformas för att motivera och uppmärksamma byggherrar på vikten av att ställa tydliga krav. Baserat på de projektresultat som redovisats i rapporten har Eric Werner, Tecknaren AB, arbetat fram ett informationsmaterial om lufttätt byggande.

- ”Tidningen” *Lufttäthetens Lov* på fyra sidor innehåller de viktigaste projektresultaten och är avsedd att spridas i hela byggsektorn.
- Affischen ”*Täta tätt!*” i A3-format eller större är avsedd att hängas upp i byggbodrar och korridorer för att göra olika aktörer inom byggsektorn uppmärksamma på behovet av bättre lufttätthet.
- PowerPoint-presentationen ”*Otättheten suger*” innehåller ca 50 bilder med kommentarer om konsekvenser och kostnader av bristande lufttätthet.
- Slutligen har en populärversion av projektets slutrapport, ”*Lufttäthetens Handbok*”, tagits fram med de viktigaste resultaten och deras bakgrund.

Allt informationsmaterial kommer att finnas tillgängligt på bl a SPs hemsida för att laddas ner utan kostnad.

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

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

Programmet **”Luft rörelser i och kring konstruktion”**, som utvecklas på Byggnadsfysik, Chalmers, omfattar tre delar:

1. Modellutveckling för konvektiva processer i byggandskomponenter
2. Systemanalyser av luft rörelser mellan delkomponenter i hel byggnad
3. Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen

Del 3. med inriktning på tillämpning och byggprocessen är indelad i två etapper A och B, av vilka etapp A med finansiering från SBUF under 2005 avslutats med rapporten *”Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratiemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning”*, Sandberg, P.I. och Sikander, Eva (2004). Denna rapport har bl a visat att

- en rad skador och olägenheter orsakas av bristande lufttäthet
- lufttäthetsfrågorna sällan tas på riktigt allvar av de olika aktörerna i byggprocessen
- det finns ett stort behov av information om konsekvenserna av bristande lufttäthet

Det viktigast skälet till att god lufttäthet inte prioriteras i tillräcklig utsträckning är säkerligen att kunskaperna om skador/olägenheter orsakade av otätheter är bristfälliga och att de sällan visar sig på ett tydligt sätt.

Vid ett möte med FoU-Väst våren 2004 diskuterades dessa frågor och en av slutsatserna blev att det är viktigt att få byggherre/beställare att ta lufttäthetsfrågorna på större allvar. Detta skulle kunna ske genom att denna grupp informeras om skadliga konsekvenser av lufttäthet och vad dessa skador/olägenheter ”kostar” i ett livscykelperspektiv. Bristfällig konstruktion eller bristfälligt arbetsutförande ger direkta kostnader (för åtgärder) eller indirekta kostnader (för good will/bad will, klagomål, hälsa mm).

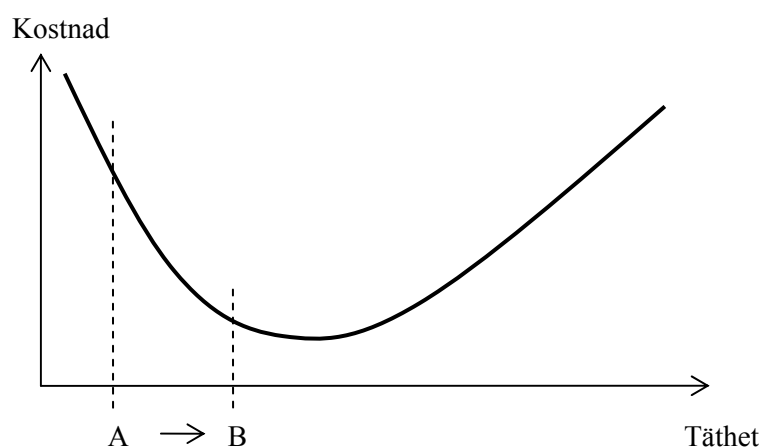
Sedan 1 juli 2006 har Boverkets byggregler (BBR) inte längre något specifikt krav på lufttäthet. Lufttäthetskravet anses ingå i övriga krav, bl a energihushållning. Detta gör det ännu viktigare att byggherren/beställaren uppmärksammar behovet av lufttäthet samt formulerar och följer upp egna krav.

Striktare krav från byggherren/beställaren på förbättrad lufttäthet skulle på sikt innebära att även projektör, entreprenör och materialtillverkare stimuleras till ökade ansträngningar för bättre lufttäthet. Under 2005 beviljades medel för detta projekt av SBUF och Byggnadsforum.

1.2 Syfte

Grundtanken med projektet är att en förbättrad lufttätethet är ”lönsam” genom att den ger en bättre inomhusmiljö och minskade förvaltningskostnader. Vidare finns föreställningen att byggherrar/beställare har ett avgörande inflytande över hur lufttätetheten blir genom de krav som ställs. Denna grupp involveras därför i arbetet med att analysera konsekvenserna av dålig lufttätethet och vad den kostar.

Utgångspunkten för projektet är alltså att vi idag ofta befinner oss vid A i Figur 1.1 och att det skulle vara lönsamt att öka tätheten t ex till B. Den ökade kostnaden för en bättre täthet skulle medföra (utbildning, kontroll, dyrare lösningar etc) skulle mer än väl uppvägas av minskade kostnader för otätheter. Detta visas i några exempel i kapitel 3. Dessa förhållanden har också betydelse för vilken ambitionsnivå byggherren skall ha för lufttätetheten, se vidare i kapitel 4.



Figur 1.1. Kostnaderna (summan av kostnader för att skapa täthet + kostnader för bristande täthet) som funktion av tätheten.

Syftet är alltså att utveckla material och metoder för att informera byggherrar/beställare om olika aspekter på lufttätethet. De aspekter som behöver behandlas är:

- Konsekvenser av bristande lufttätethet (energi, fukt, komfort, ventilation mm)
- Vad kostar otätheterna?
- Hur ställer man krav och hur följer man upp kraven?

1.3 Genomförande

Arbetet har skett i fyra delprojekt. Projektledarna för de olika delprojekten har haft regelbundna möten för att samordna hela projektet. Se också Bilaga 1.

1.3.1 Delprojekt 1: Konsekvenser av bristande lufttätethet

Enligt kartläggningen i Sandberg & Sikander (2004) är de viktigaste negativa konsekvenserna av bristande lufttätethet:

	Konsekvens
Energi	Ökad energianvändning, transmissionsförluster
	Ökad energianvändning, ventilationsförluster
Komfort	Drag
	Kalla golv
Fukt	Skador av fuktkonvektion
	Skador av inläckande regnvatten
Luftkvalitet	Funktion hos ventilationssystem
	Spridning av lukter, partiklar, gaser inkl radon
Annat	Frysrisk hos installationer
	Försämrade ljudisolering

En workshop på SP under hösten 2005 med forskare och skadeutredare från SP och Chalmers bekräftade den här bilden. Dessa konsekvenser behandlas närmare i kapitel 2.

1.3.2 Delprojekt 2: Lönsamhet och lufttätt byggnad

Ett starkt argument för ökad lufttätthet är att det leder till minskade kostnader. Det är också självklart att man måste se till livscykelkostnader. Förbättrad lufttätthet kräver antagligen större investeringskostnader, men dessa kompenseras troligen mer än väl av lägre drifts- och underhållskostnader. Se vidare i kapitel 3.

1.3.3 Delprojekt 3: Hur ställer man krav och hur följer man upp kraven?

Frågan rymmer i sig flera delfrågor. Projektet kommer inte att ge svar på exakt vilken lufttätthet som bör krävas för olika byggnader och installationssystem. Däremot är ett av syftena med hela forskningsprogrammet "Luftföroreningar i och kring konstruktion" att ge underlag för att kunna ställa rätt krav på lufttätthet i olika situationer. Detta underlag förbättras hela tiden allteftersom nya resultat kommer fram.

Projektet tar däremot upp frågan om hur byggherren kan formulera kraven och följa upp resultaten. Tanken med projektet är ju att byggherren skall övertygas om vikten av god lufttätthet och sedan få hjälp med att genomföra sina intentioner. Dessa frågor behandlas i kapitel 4.

1.3.4 Delprojekt 4: Sammanställning av informationsmaterial

Eftersom kunskapen om konsekvenserna av brister i lufttättheten är svag krävs speciell omtanke om hur resultaten från projektet skall redovisas för att på ett pedagogiskt bra sätt kunna nå berörda aktörer. Speciellt behöver resultatspridningen utformas för att motivera och uppmärksamma byggherrar på vikten av att ställa tydliga krav.

Utifrån resultaten i de tre delprojekten "paketeras" dessa på ett pedagogiskt sätt så att informationen kan användas för

- att informera och väcka uppmärksamhet (får det verkligen sådana här konsekvenser?)
 - informationsskrift
 - artiklar
 - seminarier/konferenser
- utbildning (gör så här!)
 - utbildningsmaterial
 - "handbok"

Tänkbara "paket" är:

- Häfte/bok, populärvetenskapligt skriven 20-40 sid
- PP-presentation 15-20 bilder
- Flyer
- Poster

Se vidare i kapitel 5.

2 Konsekvenser av bristande lufttätethet - skador och olägenheter orsakade av luft rörelser

2.1 Översikt

Luftförelser i byggnadsdelar och byggnadsmaterial orsakar en rad olika skador och olägenheter. I denna rapport har i första hand följande aspekter behandlats

Ökad energianvändning, se 2.2

Problem
försämrad värmeisolering
onödig ventilation
effektivitet hos värmeväxlare

Termisk komfort, se 2.3

Problem
drag
kalla ytor i byggnadsskalet

Luftkvalitet, se 2.4

Problem
spridning av lukter, gaser och partiklar
spridning av brandgaser
spridning av radon
otillräcklig ventilation

Fuktskador, se 2.5

Problem
skador av fuktkonvektion

De olika skadorna och olägenheterna behandlas närmare i detta kapitel. De negativa konsekvenserna kvantifieras så långt det är möjligt för att ge underlag till de ekonomiska kalkyler, som redovisas i kapitel 3. I många fall är konsekvenserna så osäkra och/eller värderingen så svår att göra att konsekvenserna endast kan beskrivas i kvalitativa termer. Det betyder inte att de är oväsentliga utan snarare att beställaren/byggherren själv måste värdera dem med hänsyn till det enskilda projektets förutsättningar. De konsekvenser som varit lättast att kvantifiera är ökad energianvändning och för de övriga ges hjälp till bedömning av storleksordningar där det är möjligt.

Ett allmänt problem vid beskrivningen av storleken på konsekvenserna och förbättringsmöjligheterna är att vi inte vet särskilt väl vilken den verkliga tätheten i byggnaderna är. Detta gäller både befintliga och nybyggda hus. Boverkets byggregler (BBR) har visserligen sedan lång tid tillbaka haft krav på lufttätethet, men samtidigt har tätheten mycket sällan kontrollerats och erfarenheterna från SP säger att vid de mätningar som gjorts har tätheten för det mesta varit sämre än vad reglerna förskrivit. Tidigare normkrav på lufttätethet har varit 0.8 l/s,m² vid 50 Pa tryckskillnad. Detta krav antas i många tillämpningar, t.ex. energiberäkningar, vara den rådande lufttätetheten i byggnader, men eftersom förhål-

landevis få lufttäthetsmätningar utförs så är det en mycket osäker siffra och oftast mäts en lufttäthet som är betydligt högre. I de fall man har gjort mätningar av bostäders lufttäthet har det främst varit av tre anledningar; byggnaderna är under utredning för att de har fukt-skador orsakade av fuktkonvektion, för att de har dålig termisk komfort eller för att de är byggda med en målsättning att vara lågenergihus och har testats för att säkerställa en god lufttäthet. Detta ger naturligtvis en ofullständig bild av fastighetsbeståndets täthet.

2.2 Konsekvens: Ökad energianvändning

En otät byggnad får ökad energianvändning av flera anledningar. Om luften tillåts att blåsa in i isoleringen ger detta upphov till ett **minskat värmemotstånd** hos isoleringen och, med andra ord, ett ökat värmeflöde genom byggnadsdelen. För att uppskatta hur stor effekten av det minskade värmemotståndet blir för en hel byggnad används befintlig information om isolerförmågan som funktion av lufthastighet för olika byggnadsdelar. Dessa simuleras sedan som en hel byggnad i olika klimat.

Dålig lufttäthet ger ökad energianvändning eftersom **ventilationsflödet** i de flesta fall **ökar**. Vid kall och blåsigt väderlek kan det vara en ansevärd mängd extra luftflöde in i byggnaden som måste värmas för att få en behaglig inomhusmiljö. Hur mycket extra energianvändning detta ger i en byggnad kontrolleras genom att jämföra en byggnad med olika otätheter. Byggnaden simuleras i olika vindutsatta klimat och energitillförseln som krävs för att hålla en viss temperatur inomhus bestäms.

I de fall byggnaden är utrustad med **värmeåtervinning** och det är dålig lufttäthet innebär detta att luftflödena inte går igenom värmeväxlaren som tänkt. Tilluften blir inte förvärmad och frånluftens energiinnehåll tas inte tillvara när luften istället tas in och ut genom klimatskalet. Vilken påverkan detta har på energieffektiviteten uppskattas genom att simulera en byggnad bestående av klimatskal, ventilationssystem och värmeväxlare, som ett system. Effektiviteten hos värmeväxlaren bestäms för en otät byggnad med och utan värmeväxlare, och skillnaden i energianvändning bestäms.

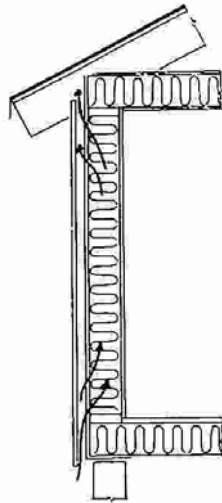
Den ökade energianvändningen (kWh) används sedan i kostnadsberäkningar i kapitel 3.

2.2.1 Ökad energianvändning pga. försämrade värmeisolering

Isoleringsförmågan hos en byggnadsdel försämras i de flesta fall avsevärt om luft tillåts blåsa in i isoleringen. I detta avsnitt beskrivs hur mycket värmeflödet genom en byggnadsdel ökar när luft strömmar inuti byggnadsdelen (men inte igenom). I nästa avsnitt behandlas hur energianvändningen i en byggnad påverkas av att luft transporteras igenom en otät byggnadsdel (vilket resulterar i ökad ventilationsgrad).

De flesta studier inom det här området är gjorda på väggar, med och utan brister i arbetsutförandet, men det finns även information om vad som händer på vindar med lösull.

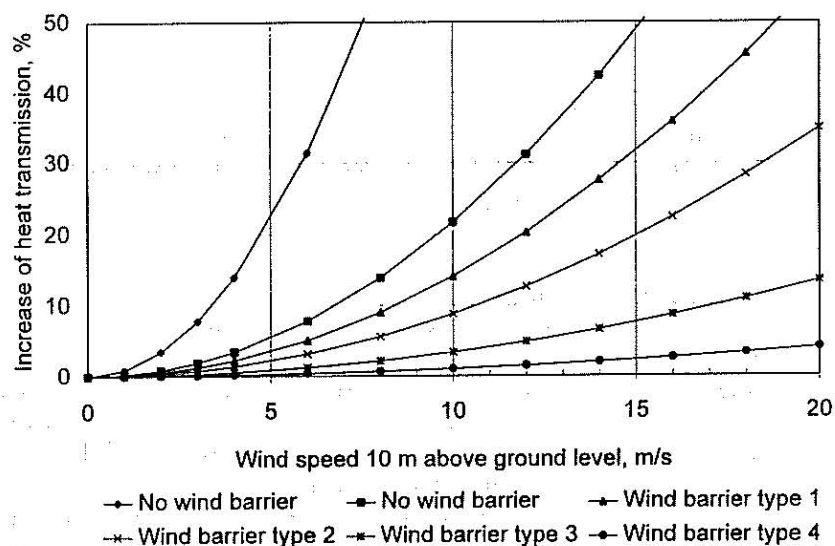
I de aktuella undersökningarna blåser det på och inuti byggnadsdelen, luften tar med sig värme och transporterar sedan ut värmen igen. Detta illustreras i Figur 2.1 (från Uvsløkk, 1996). Luftens väg i konstruktionen kan vara kortare eller längre men i samtliga fall är drivkraften för luftströmmen ett vindtryck på byggnadsdelen.



Figur 2.1. Anblåsning i en regelvägg (från Uvsløkk, 1996).

Den ökade värmeförlusten pga. luftförelser i byggnadsdelen uttrycks antingen som en ökning i värmetransmissionen, vilket motsvarar ett ΔU -värde ($\text{W/m}^2\text{K}$) eller en procentuell ökning av värmetransmissionen. Hur mycket värmetransmissionen ökar beror naturligtvis på hur stor luftströmmen är och detta är i sin tur en funktion av tryckgradienten i byggnadsdelen, vilken har skapats av vinden.

Exemplet i Figur 2.2 nedan (från Uvsløkk, 1996) visar den procentuella ökningen av transmissionsförlusterna som funktion av vindhastigheten 10 meter över markytan. De två olika kurvorna utan vindskydd beskriver två olika sätt att montera isoleringen. De testade vindskydden har permeanser (inklusive skarvar) i intervallet $4,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ till $0,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$. Se vidare i Bilaga 2.



Figur 2.2. Procentuell ökning av transmissionsförluster för en vägg som funktion av vindhastighet 10 meter ovan mark. De olika kurvorna representerar olika vindskydd (Uvsløkk, 1996).

Om informationen i figur 2.2 kombineras med klimatdata för Göteborg (öppet läge, vind mätt på 10 meters höjd) fås på årsbasis en ökning av transmissionsförlusterna på 15 % för

väggarna, när en permeans på $4.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ (med skarvar) antas för vindskyddet. För att uppskatta hur stor andel detta utgör i förhållande till hela husets värmeförlust antas grovt att en tredjedel av värmeförlusterna försvinner genom ventilationen, en tredjedel genom fönster och dörrar, och sista tredjedelen genom övriga klimatskalet. Eftersom väggar står för mer än hälften av övriga klimatskalets förluster innebär detta att ökningen i värmeförluster, orsakad av att vinden anblåser isoleringen i väggarna, blir 3-4 % av den totala värmeförlusten i det här exemplet.

Slutsatsen är alltså att transmissionsförluster orsakade av normala otätheter uppgår till högst några procent.

2.2.2 Ökad energianvändning pga. ökad ventilation

Det finns ett flertal studier om hur energianvändningen i en byggnad ökar ju mer otät den är. En del baseras på beräkningar och simuleringar, och ett fåtal på mätningar. Oftast fokuserar studierna på en sorts hus, t.ex. kontorsbyggnad eller enbostadshus.

När en byggnad är otät kan ventilationsgraden i byggnaden påverkas av vinden som blåser mot byggnaden. Detta påverkar i sin tur energianvändningen. En faktor som är viktig i sammanhanget är hur vindutsatt byggnaden är. Detta beror på byggnadens geografiska läge, bebyggelse i närheten, höjd på byggnaden, samt vindriktning och vindstyrka. En annan viktig faktor är byggnadens ventilationssystem eftersom detta påverkar tryckbildningen i byggnaden. Klimatskalets täthet är viktig, både den totala tätheten som kan mätas med tryckprovning av byggnaden, men också hur otätheterna är fördelade över byggnaden.

Redan för nästan 30 år sedan konstaterades i en byggforskningsrapport (Abel et al. 1978) att energibesparingarna som skulle kunna åstadkommas ifall byggnader tätades var avsevärda. Ifall hela bostadsbeståndet i Sverige, årgång 1975, tätades så att omsättningen reducerades med 0.3 oms/h skulle en årlig energibesparing på 11 TWh erhållas. Detta motsvarade en årlig besparing på 3.000 kWh per lägenhet.

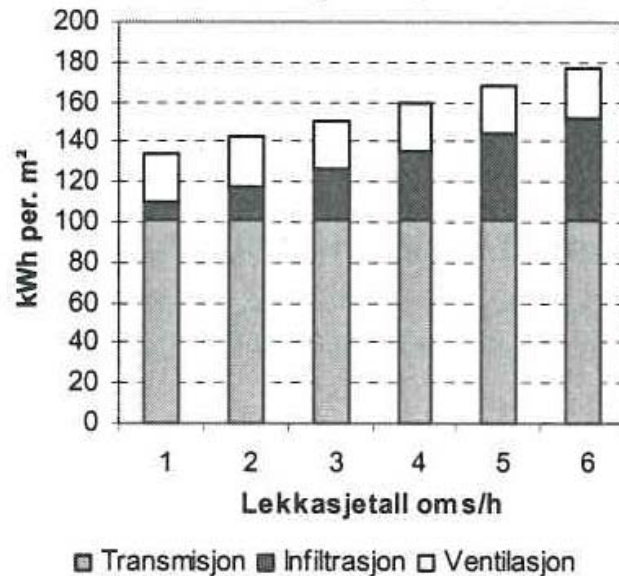
I rapporten Byggnaders lufttäthet (Lindh et al. 1979) redovisas undersökningar av ett stort antal byggnader, både småhus, flerbostadshus och kontorshus. Där konstateras bl.a. att det är lönsamt att förbättra tätheten hos småhus (vid nyproduktion). Det visades också att otätheten hos 1 ½-planshus reducerades till nästan en tredjedel när författarna av rapporten själva åstadkom tätheten och till 60 % när ordinarie arbetsstyrka fick nya instruktioner för hur klimatskalets täthet skulle utföras. För ett av de undersökta kontorshusen konstaterades att den ofrivilliga ventilationen stod för en stor del av energiförlusterna. Man uppskattade att den årliga energiförlusten pga. läckage var lika stor som den totala energianvändningen för februari månad.

Genom att samtidigt registrera energianvändning och väderlek har korrelationen mellan dessa kunnat bestämmas (Holmer, 1987). Det visade sig att ett vindexponerat läge för byggnaden resulterade i 5-9 % högre behov av radiatorenergi. Störst var betydelsen i Göteborgsområdet. Det visade sig också att elförbrukningen var 12-13 % högre när det var friska vindar jämfört med när det var svag vind. Dessutom ökade energianvändningen vid mulet väder, och om mulet och blåsigt väder kombinerades så ökade elförbrukningen med 16 % jämfört med klart och lugnt väder.

Ytterligare ett svenskt arbete visar på lönsamheten med att ha täta hus. I Arnetz och Malmberg (2006) görs beräkningar på ett bostadshus i sex våningar. Energianvändningen beräknas dels för ett hus med lufttäthet $0.8 \text{ l/m}^2\text{s}$ vid 50 Pa tryckskillnad över klimatskalet (uppfyller täthetskraven för bostäder som fanns i Boverkets byggregler BBR 94) och dels för $0.4 \text{ l/m}^2\text{s}$. Det visar sig då att energiåtgången för uppvärmning av byggnaden sjunker

med nästan 30 % när tätheten ökar. En så stor minskning av energianvändningen åstadkoms inte med någon av de andra energiförbättringsåtgärderna som undersöktes (t.ex. byte till energieffektiva fönster, tilläggsisolering).

En liknande demonstration är gjord i en norsk rapport från Byggforsk (2003). Där beräknas uppvärmningsbehovet för småhus på 130 m² med mekanisk ventilation som ger en omsättning på 0.5 oms/h. I Figur 2.3 visas hur energianvändningen ändras då byggnadens otäthet ändras (från 1 oms/h till 6 oms/h). Diagrammet för balanserad ventilation (FT) visas.



Figur 2.3. Energianvändning (uppdelad på transmission, infiltration och ventilation) i ett småhus med otäthetsgrad som varierar från 1 oms/h till 6 oms/h (från Byggforsk, 2003).

Det svenska normkravet på 0.8 l/m²s motsvarar 2 - 3 oms/h och vid denna otäthet är den önskade ventilationen (infiltrationen) lika stor som den avsiktliga. När byggnaden har stora otätheter (6 oms/h) så står infiltrationen för nästan 30 % av värmeförlusterna. När byggnaden har normtäthet är motsvarande siffra ca. 13 %.

Det finns också ett antal amerikanska studier om lufttäthet i byggnader och hur den påverkar energianvändningen. I Emmerich och Persily (1998) simulerades och analyserades energianvändningen i 25 kontorshus. Resultatet blev att den ofrivilliga ventilationen stod för 13 % av värmebehovet och 3 % av kylbehovet. När endast de nyare (och mer välisolerade) byggnaderna studerades stod den ofrivilliga ventilationen för 25 % av värmebehovet och 4 % av kylbehovet. Enskilda byggnader låg ännu högre. Det konstaterades också att det inte fanns någon korrelation mellan kontorsbyggnadernas ålder och lufttäthet. Studien kompletterades några år senare, rapporterat i Emmerich och Persily (2005), och då konstaterades även att det fanns en trend mot att kontorsbyggnader i kallare klimat är tätare.

I Emmerich et al. (2005) undersöks med numeriska simuleringar hur mycket energi som kan sparas om man utgår ifrån uppmätt täthet hos den aktuella hustypen och jämför med en måltäthet. Denna väljs som den täthet som uppnås genom ett gott arbetsutförande. För fem olika affärsbyggnader, placerade i fem olika städer i USA, erhöles energibesparingar, för uppvärmning och kylning, mellan 3 och 36 %. De lägre värdena gäller för områden där kylbehovet dominerar.

I Woods (2006) finns beskrivningar av energibesparing i samband med tätning av byggnader. Vid tätning av otäta bostadslägenheter i Ontario erhöles en stor minskning av topp-effekten (peak space heating demand) under den kallaste dagen och uppvärmningsbehovet minskade totalt med 14 %. I Toronto tätades skolor och resultatet blev en minskning av uppvärmningsbehovet med 17 %. Flera exempel på effekter av tätning finns och energibesparingen är ofta 10-15 %, medan minskning av *toppeffekt* ligger något högre.

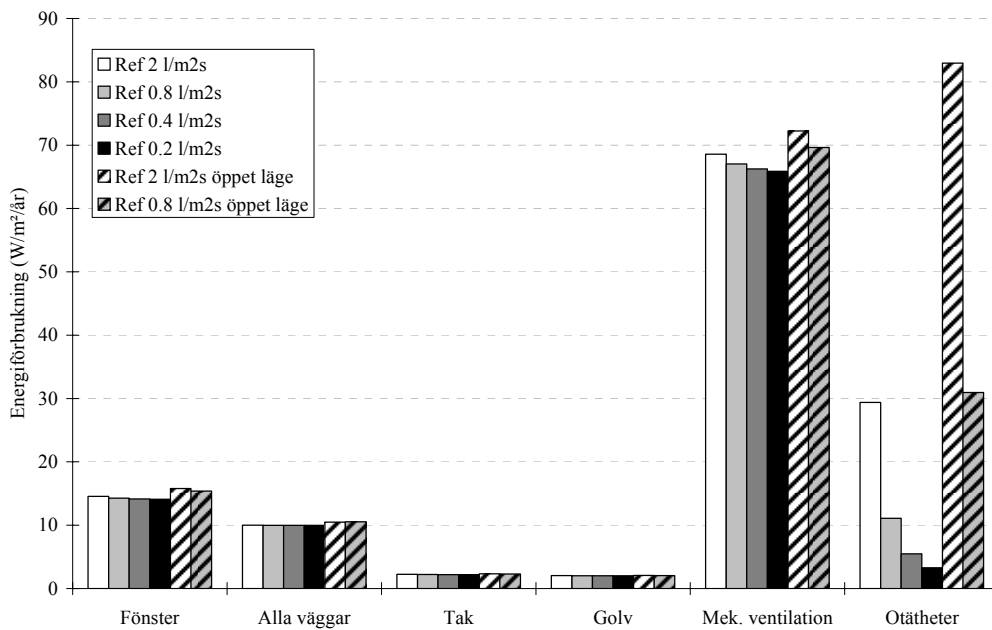
En beräkning har gjorts av hur mycket energianvändningen i en otät byggnad ökar pga. att ventilationen ökar. Detta har gjorts genom simuleringar med Simulink (ett Matlab-verktyg, www.ibpt.org, Sasic, 2004) där uppmätta klimatdata för Landvetter under ett år (1991) har använts för energiberäkning av fyra olika byggnader.

Byggnaden som använts som mall för simuleringarna är ett typhus för flerbostadshus för åren 1971-1985 (Herrlin, 1992). Det är en sexvåningsbyggnad med mekaniskt ventilationssystem. Byggnaden har simulerats som en byggnad med fyra olika otäthetsgrader. De två lägsta värdena är välbyggda och täta byggnader med ett luftläckage på 0.2 l/m²s och 0.4 l/m²s, respektive, vid en tryckskillnad på 50 Pa över klimatskalet. Nästa nivå är ett luftläckage på 0.8 l/m²s. Denna byggnad uppfyller täthetskraven för bostäder som fanns i Boverkets byggregler BBR 94. Den sämsta tätheten, 2,0 l/m²s, motsvarar värden som SP ofta mäter upp i befintliga hus från 1970-80-talet. Byggnaden har följande U-värden för de olika delarna, $U_{\text{tak}} = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_{\text{golv}} = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_{\text{vägg}} = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Energiberäkningen för byggnaden inkluderar solstrålning på byggnaden och genom fönster, samt vindhastighet och vindriktning tillsammans med skorstensverkan i byggnaden, för att bestämma tryckbilden och därmed läckaget. Byggnaderna är placerade i två olika lägen i landskapet, ett vindutsatt, öppet läge på landsbygden och ett mindre vindutsatt läge i staden. Den mekaniska ventilationen är dubbelt så stor på dagen som på natten och internvärmerna, värmen som alstras genom människor och apparatur, är också något större på dagen än på natten. Den lägsta tillåtna inomhustemperaturen är satt till 22,2°C. Enligt en undersökning av Andersson och Norlén (1993) är detta medeltemperaturen i flerbostadshus.

Resultaten från simuleringarna beskrivs i form av energiförluster per kvadratmeter och år och är uppdelade på transmissionsförluster (genom fönster, väggar, tak och golv), energiförluster genom mekanisk ventilation och energiförluster genom ofrivillig ventilation genom otätheter. Figur 2.4 visar dessa för de fyra olika graderna av otäthet hos byggnaden när den finns i en stad, och för två otäthetsgrader när byggnaden finns i ett öppet landskap.

Från simuleringarna kan man se att en dubblering av otäthetsgraden medför en dubblering av energiförlusterna pga. ofrivillig ventilation genom otätheter. När den otätaste (2,0 l/m²s) byggnaden simuleras i staden står den ofrivilliga ventilationen för 23 % av den totala energiförlusten och är lika stor som 43 % av den mekaniska ventilationen. När byggnaden har en normenlig lufttäthet (0.8 l/m²s) är den ofrivilliga ventilationen 10 % av de totala energiförlusterna. Andelen minskar med ökande täthet och för 0,4 l/m²s och 0,2 l/m²s är andelarna 5 % och 3 %, respektive.



Figur 2.4. Energiförluster för typhuset under ett år, fyra otäthetsgrader i stadsmiljö och två otäthetsgrader i öppet landskap.

När byggnaden flyttas från staden till ett mer öppet och vindutsatt landskap så ökar betydelsen av lufttätheten. För det otäta huset är nu energiförlusterna genom ofrivillig ventilation 14 % större än de genom det mekaniska ventilationssystemet. Dessutom står nu den ofrivilliga ventilationen för 45 % av den totala energianvändningen. För huset med normal lufttäthet är energiförlusterna pga. ofrivillig ventilation 24 % av den totala energianvändningen, när byggnaden finns i ett öppet landskap.

Simuleringarna stämmer väl överens med den tidigare beskrivna norska undersökningen och avsevärda besparingar kan göras genom att bygga tätare byggnader. Om den aktuella byggnaden i Landvetter, med en area på drygt 1000 m² studeras i stadsmiljö så fås en årlig besparing på 15 000 kWh när man minskar otäthetsgraden från 2,0 l/m²s till normal 0,8 l/m²s. Ökar man ytterligare lufttätheten till 0,4 l/m²s så blir den totala besparingen drygt 20 000 kWh. Ifall byggnaden ligger i ett vindutsatt läge så ökar den årliga besparingen och blir 55 000 kWh när man minskar otätheterna från 2,0 l/m²s till 0,8 l/m²s.

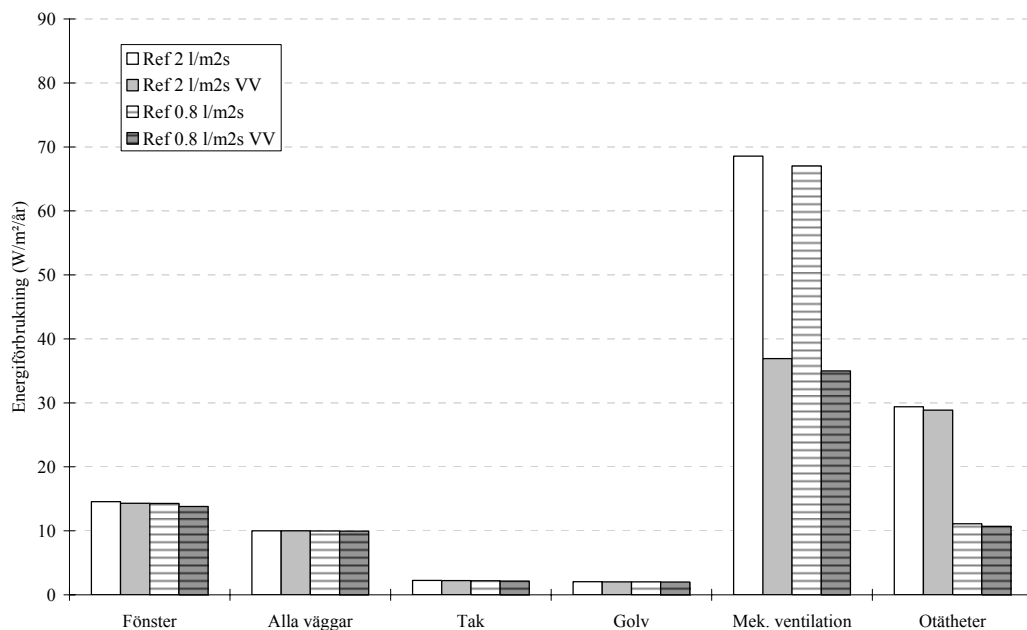
2.2.3 Ökad energianvändning pga. minskad effektivitet hos värmeväxlaren

Ett sätt att minska ventilationsförlusterna är att installera en värmeväxlare. En värmeväxlare använder frånluften för att värma tilluften och ett FT-system krävs alltså. Enbart värmen i luften i ventilationssystemet kan återvinnas, därför påverkas inte energiförlusterna orsakade av ofrivillig ventilation genom otätheter när en värmeväxlare installeras, ifall inte huset tätas.

I Irving (1994) beskrivs ett antal förutsättningar för att värmeväxling skall vara effektivt. Bl.a. bör inte otätheterna vara större än 2-7 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad över klimatskalet. Ifall otätheterna är större kommer energiförlusterna pga. infiltration vara större än vinsterna med värmeåtervinning. Det går att minska infiltrationen genom att öka trycket i huset, men detta medför ökad risk för fuktskador eftersom då fuktig luft kan pressas ut i klimatskalet. Ifall, å andra sidan, byggnaden har ett undertryck och är otät, så kommer det

att medföra mer luft in genom otätheter, med ökade energiförluster och risk för drag som resultat. Irving har också gjort beräkningar av värmeåtervinning och energibesparing för byggnader med olika otätheter och vid olika klimat. För Zürich blev resultatet att om byggnaden hade en otäthet på mer än 15 oms/h så erhöles ingen värmeåtervinning. Ifall byggnaden hade en otäthet på mer än 10 oms/h så blev energibesparingen noll (medräknat energi till fläktar osv.). I alla klimat medför en ökad otäthet en minskad besparing.

Simuleringar, liknande de som beskrivits i föregående avsnitt, har utförts för att undersöka värmeväxlarens effektivitet. I simuleringarna har värmeväxlaren en konstant verkningsgrad, vilket är en förenkling. Ett bostadshus på sex våningar med dålig lufttätet (otäthetsfaktor 2.0 l/m²s) och med täthet enligt normen (otäthetsfaktor 0.8 l/m²s) har simulerats i ett stadsläge med klimatdata från Landvetter. Energianvändningen för de olika byggnaderna, med och utan värmeväxling, visas i figur 2.5.



Figur 2.5. Energianvändning, med och utan värmeväxlare, för en byggnad med dålig täthet (otäthetsfaktor 2.0 l/m²s) och med lufttäthet enligt normen (otäthetsfaktor 0.8 l/m²s), stadsmiljö.

Simuleringarna visar att värmeväxlaren har stor effekt på energiförlusterna genom ventilationssystemet och att effekten blir större ju tätare huset är. När energianvändningen för det otäta huset studeras med och utan värmeväxlare visar det sig att energianvändningen minskar med 22 % när värmeväxlaren tas med. Motsvarande siffra för den normenliga byggnaden är 31 %. Om en otät byggnad (2.0 l/m²s) både får en värmeväxlare och tätas till normenlig lufttäthet erhålls en minskning i energianvändning på 40 %, en ansevärd mängd. En tät byggnad är naturligtvis ännu viktigare i ett vindutsatt klimat.

2.3 Konsekvens: Termisk komfort

En människa utbyter värme med omgivningen genom konvektion (luft som rör sig), strålning till omgivande ytor, ledning till omgivande luft och genom andning och avdunstning. Hur mycket beror naturligtvis på parametrar såsom omgivningens temperatur, klädsel och aktivitet. För att beskriva hur man upplever den termiska komforten finns begreppet PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) som anger hur många i en större grupp personer som är missnöjda med komforten. PPD kan bestämmas med hjälp av standarden

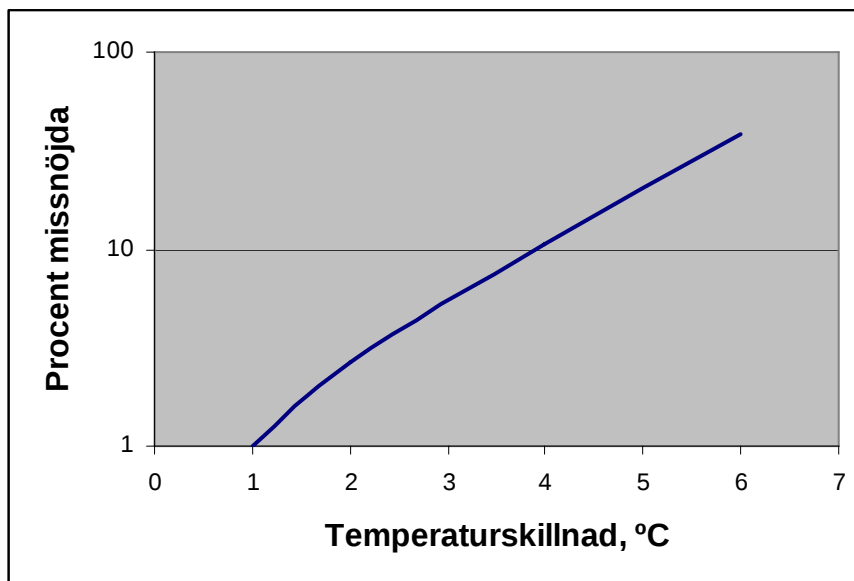
SS EN ISO 7730 "Neutrala termiska miljöer – Bestämning av indexen PMV och PPD samt fastställande av betingelser för termisk komfort". I standarden behandlas dels den totala komforten, dvs om man fryser eller svettas, men också lokal diskomfort, oftast lokal avkylning av kroppen. Den vanligaste orsaken till lokal diskomfort är drag. Men lokal diskomfort kan också orsakas av onormalt stor vertikal temperaturskillnad mellan huvud och fötter genom ett för varmt eller kallt golv eller stora skillnader i strålningstemperaturen. De faktorer som påverkar den termiska komforten och som kan relateras till lufttäthet är i första hand lufthastigheter och kalla ytor.

2.3.1 Drag

Om det är för stora luftläckage in genom byggnadsskalet kan detta upplevas som drag, dvs. en ökad lufthastighet invid kroppen ger en lokal avkylning. Detta uppkommer ofta kring fönster och dörrar och vid tak- och golvvinkel. Enligt SS EN ISO 7730 kan man beräkna ett DR (draught rating, andelen personer som besvärar sig av drag) ur lufttemperatur och lufthastighet. Redan vid lufthastigheter över 0,1 m/s blir vissa personer besvärade.

2.3.2 Vertikal temperaturskillnad

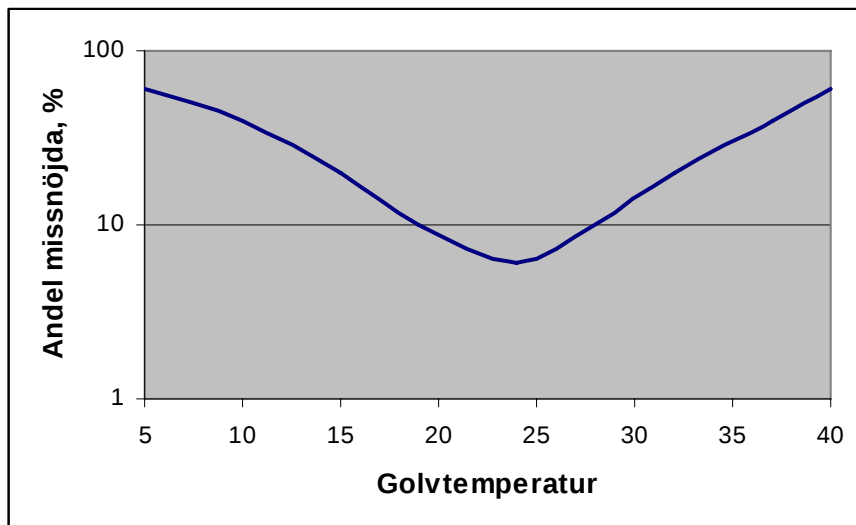
En hög vertikal temperaturskillnad kan orsaka diskomfort. Figur 2.6 visar andelen missnöjda personer som funktion av den vertikala temperaturskillnaden (0,1 och 1,1 över golvet för sittande personer).



Figur 2.6 Andelen missnöjda personer som funktion av den vertikala temperaturskillnaden. Enligt SS EN ISO 7730.

2.3.3 Kalla golv/tak

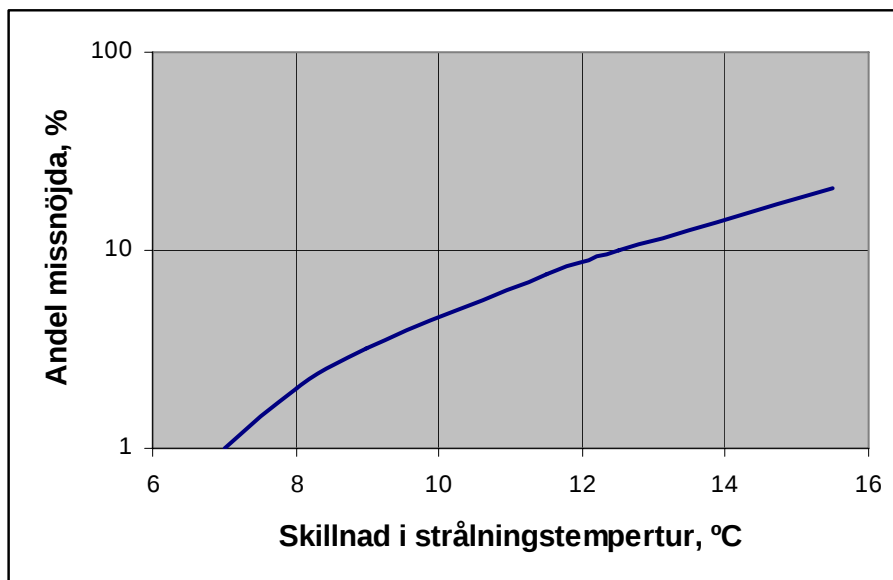
Luftläckage in i byggnaden kan också resultera i kalla ytor. Detta sker främst vid golvvinkeln och ger kalla golv, men det förekommer också läckage från kallvindar, via t.ex. dåligt tätade imkanaler, som ger avkylda innertak samt vid mellanbjälklag. Figur 2.7 visar andelen missnöjda som en funktion av golvtemperaturen enligt SS EN ISO 7730.



Figur 2.7. Andelen missnöjda som en funktion av golvtemperaturen enligt SS EN ISO 7730.

2.3.4 Skillnader i strålningstemperatur

Skillnader i strålningstemperatur (strålningsasymmetri) kan också vara orsak till bristande termisk komfort. Många är t ex känsliga för kalla väggar och fönster. Figur 2.8 visar andelen missnöjda som funktion av skillnader i strålningstemperaturen orsakade av en nerkyld vägg enligt SS EN ISO 7730.



Figur 2.8. Andelen missnöjda som funktion av skillnader i strålningstemperaturen orsakade av en nerkyld vägg enligt SS EN ISO 7730.

2.3.5 Klassindelning och krav på termisk inommiljö

Beroende på individuella skillnader är det omöjligt att specificera ett termiskt klimat som tillfredsställer alla. Däremot är det möjligt att specificera klimat som kan förväntas vara acceptabla för en viss andel av befolkningen. I standarden SS EN ISO 7730 finns förslag på klassindelning av inomhusklimatet i tre olika kvalitetsklasser. Grundläggande för klas-

sificeringen är det förväntade PPD-värdet, dvs andelen missnöjda. T ex för kvalitetskategorin B (motsvarar < 10 % missnöjda) anges följande rekommenderade värden för olika inneklimatfaktorer, se Tabell 2.1

Tabell 2.1. Rekommenderade värden för kvalitetskategori B enligt SS EN ISO 7730.

Inneklimatfaktor	Värde i kategori B	Anmärkning
Operativ temperatur, °C	20 - 24	vinter
	23 - 26	sommar
Lufthastighet, m/s	0,15 - 0,30	vinter
	0,10 - 0,40	sommar
Vertikal temperaturskillnad, °C	< 3	mellan 0,1 och 1,1 m över golvet
Strålningstemperaturasymetri, °C	< 10	mot kall vägg
Golvtemperatur, °C	16 - 27, 24 optimalt	

Liknande klassindelningar finns också i flera andra sammanhang.

I Boverkets Byggregler finns också i allmänt råd anvisningar om termisk komfort, se Tabell 2.2 Ytterligare regler om termisk komfort ges även ut av Arbetsmiljöverket och Socialstyrelsen.

Tabell 2.2. Termisk komfort i Boverkets byggregler, avsnitt 6:42, Allmänt råd.

Inneklimatfaktor	Värde i Allmänt råd	Anmärkning
Riktad operativ temperatur, °C	> 18	bostads- och arbetsrum
	> 20	hygienrum, vårdlokaler, förskolor, servicehus etc
Skillnad i riktad operativ temperatur, °C	< 5	
Yttemperatur på golv, °C	> 16	
	> 18	hygienrum
	> 20	lokaler avsedda för barn
Lufthastighet, m/s	< 0,15	under uppvärmningssäsongen
	< 0,25	från ventilationssystemet under övrig tid

Boverket definierar också begreppet vistelsezon: ”Vistelsezonen begränsas av två horisontella plan, ett på 0,1 m höjd och ett annat på 2,0 m höjd, samt vertikala plan 0,6 m från ytterväggar eller andra yttre begränsningar, dock 1,0 m vid fönster och dörr.”

2.3.6 Värdering av bristande termisk komfort

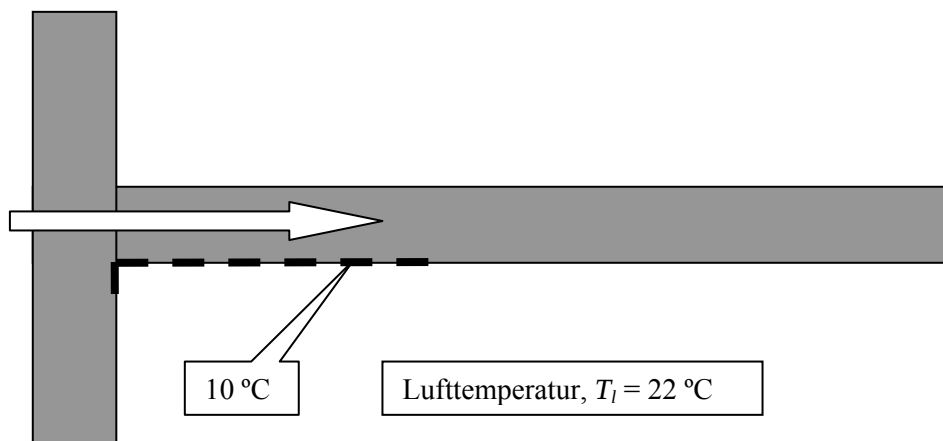
Fastighetsägaren kan alltid välja mellan att åtgärda problemen eller att ha dem kvar och ta de löpande kostnader som detta innebär. I det förra fallet handlar det om byggnads- eller installationstekniska åtgärder. Det går naturligtvis att tätta fönster, dörrar, kring installationer, bjälklag m.m. med varierande grad av arbetsinsats. Denna kostnad kan i det enskilda fallet uppskattas.

I det senare fallet handlar det huvudsakligen om dolda kostnader och/eller förlorade intäkter och dessa kostnader är mycket svårare att uppskatta. Några direkta samband mellan dålig komfort och ökade kostnader för fastighetsägaren finns inte tillgängliga. För att få en uppfattning om olika typer av kostnader redovisas nedan några exempel.

2.3.6.1 Oförändrad operativ temperatur

Lokal nedkylning medför att den operativa temperaturen (medelvärde av lufttemperatur och omgivande ytors temperatur) minskar. Denna minskning kan kompenseras av ökad lufttemperatur. En ökad lufttemperatur medför dock ökade transmissions- och ventilationsförluster, vilket ger ökade uppvärmningskostnader. Ett sätt att värdera den lokala nedkylningen är alltså att beräkna vilka ökade energikostnader som blir följden av att den operativa temperaturen hålls oförändrad.

Luftläckage (genomblåsning i bjälklag) antas ge lokal nedkylning (till 10 °C) av innertaket medan övriga ytor antas ha rumstemperatur se Figur 2.9. Detta påverkar den operativa temperaturen.



Figur 2.9. Lokal nedkylning av tak pga luftgenomströmning.

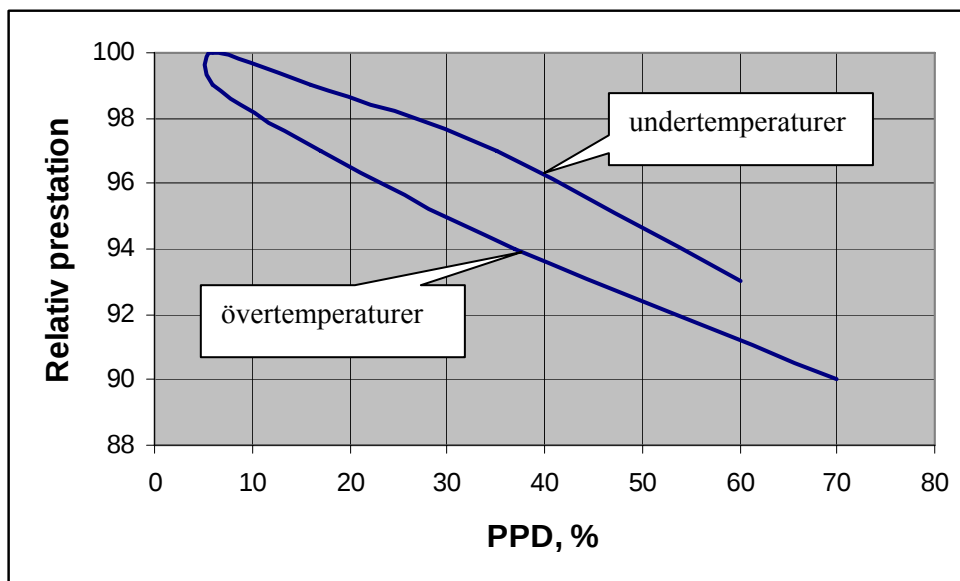
Antag att den nedkylda ytan utgör 1/6 av rymdvinkeln. För att behålla samma operativa temperatur måste lufttemperaturen höjas. Ett enkelt överslag ger då följande ekvation:

$$\frac{1}{6} \cdot \frac{T_l + 10}{2} + \frac{5}{6} \cdot T_l = 22 \Rightarrow T_l = 23\text{ °C}$$

Denna ökning med en grad ger ca 5 % ökning av energibehovet i detta rum under dessa förhållanden.

2.3.6.2 Kostnader för produktivetsminskningar vid kontorsarbete

Omfattande studier visar att produktiviteten i t ex kontorsarbete minskar vid brister i den termiska komforten, se bl a en sammanställning i Seppänen & Fisk (2005). Genom att sammanställa data om produktiviteten med data från SS EN ISO 7730 om operativ temperatur och PPD, får man för normala kontorsförhållanden (0,75 clo och 1,2 met) ett samband enligt Figur 2.10 nedan.



Figur 2.10. Samband mellan relativ prestation (i procent) i kontorsarbete och andelen missnöjda med den termiska komforten

Figur 2.10 visar att en ökning av antalet missnöjda med 10 % i runda tal minskar produktiviteten med 1 %. Intressant att nämna här är att andra undersökningar (bl a refererade av Olesen, 2005) visat att en ökning av antalet missnöjda med luftkvaliteten med 10 % också medfört en minskning av produktiviteten med 1%, se vidare avsnitt 2.4.

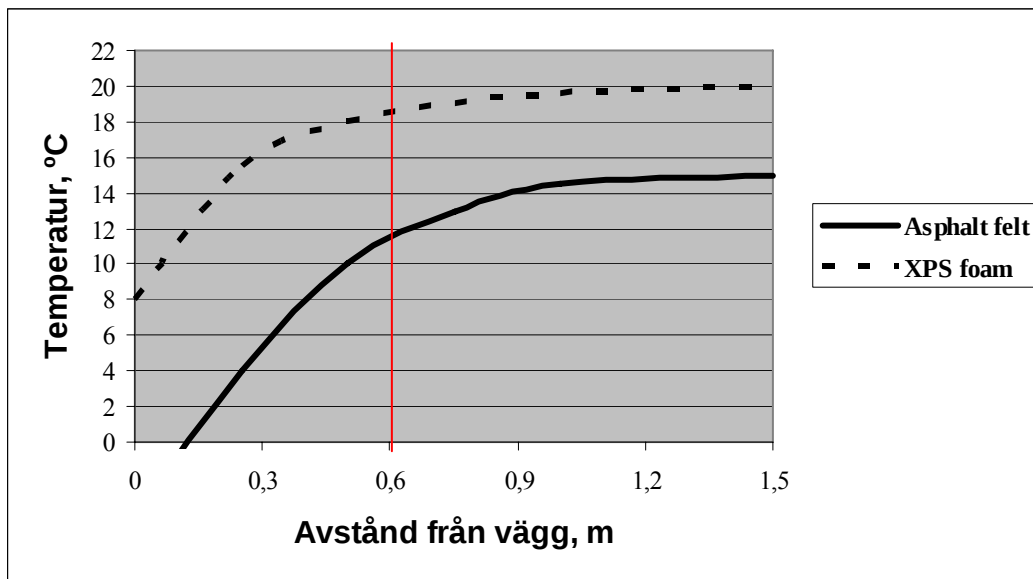
Med hjälp av sambanden i Figur 2.10 kan minskad produktivitet uppskattas genom andelen missnöjda med olika klimatifaktorer i den termiska inommiljön. Kostnaderna kan sedan beräknas utgående från aktuella personalkostnader.

För exemplet ovan, Figur 2.9, med en skillnad i strålningstemperatur på 12 °C blir 10 % missnöjda vilket ger en minskad produktivitet på ca 1 %. Det är dock viktigt att notera att dessa förhållanden inte gäller hela året utan endast när vind- och temperaturförhållanden orsakar sådan avkylning.

2.3.6.3 Kostnader för bad will, klagomål etc

Hyresgäster som upplever dålig termisk komfort klagar troligen hos fastighetsägaren och/eller talar illa om honom och fastigheten. Eventuellt går det så långt att han flyttar. Detta innebär direkta kostnader i form av tid för t ex telefonsamtal, besiktning och administration och indirekta kostnader för bad will som kan orsaka intäktsbortfall eller betalningsovillighet. Uppskattningen av dessa kostnader behandlas närmare i kapitel 3.

En orsak till klagomål kan vara kalla golv orsakade av luftläckning mellan betongplatta och syll. Figur 2.11 redovisar beräknade golvtemperaturer för förhållandena -10 °C ute och 22 °C inne och en tryckskillnad på 20 Pa för två olika sylltätningar, tätrens av extruderad polystyren resp papp mot slät betong. Enligt Boverkets byggregler (BBR) skall golvtemperaturen generellt vara över 16 °C, över 18 °C i hygienrum och över 20 °C i lokaler avsedda för barn. Vistelsezonen börjar 0,6 m från ytterväggen. Figuren visar att papptätningen inte klarar kraven och att XPS-tätningen klarar hygienrumskravet men inte mer vid antagna förhållanden.



Figur 2.11. Beräknad golvtemperatur som funktion av avståndet från ytterväggen vid två olika tätningar mellan syll och betongplatta, se vidare Sandberg & Sikander 2005.

Figur 2.12 visar luftläckage under en fönsterdörr med kraftig nerkylning av golvet som följd. Utetemperaturen är här ca -1 °C.



Figur 2.12 Termogram som visar lokal nerkylning av golvet innanför en fönsterdörr.

I Bilaga 3 visas ett konkret exempel på konsekvenser av otätheter i ett småhusområde. Husägarna klagade på dålig termisk komfort och höga uppvärmningskostnader. Husen visade sig ha stora brister i lufttätheten och kostnaderna för åtgärderna uppgick till 105 kkr per hus.

2.4 Konsekvens: Luftkvalitet

Luftflöde genom otätheter i byggnadsskalet för med sig sitt innehåll av gaser och partiklar. Otätheter kan då utgöra en oönskad spridningsväg för olika typer av ämnen som påverkar luftkvaliteten negativt. Detta kan leda till olägenheter och otrivsel för hyresgästen och till klagomål, bad vill mm för hyresvärden.

2.4.1 Spridning mellan lägenheter

Otätheter i lägenhetsskiljande väggar medför risker för att för att matos, tobaksrök mm sprids mellan lägenheter. Beroende på vindförhållanden och injustering av ventilations-systemet finns ofta tryckskillnader mellan lägenheter som skapar luftläckage och spridning av oönskade ämnen. Det är värt att notera att de lufttäthetskrav som funnits i BBR endast gällt byggnadens ytterskal (eftersom det i grunden är ett energikrav) och inte lägenhetsskiljande väggar. Å andra sidan finns ofta krav på ljudisolering mellan lägenheter och dessa krav ställer indirekt krav på lufttätethet. En annan vanlig spridningsväg är via entrédörrar till trapphuset, där man på grund av de termiska drivkrafterna får en lufttransport från lägenhet till trapphus i de nedre våningsplanen, och från trapphus till lägenhet i de övre våningsplanen.

2.4.2 Spridning av brandgaser

Lägenheter är normalt egna brandceller och lägenhetsskiljande väggar alltså brandcells-avskiljande. Enligt Boverkets byggregler (BBR) gäller att ”Brandcellsskiljande byggnadsdelar skall vara täta mot genomsläpp av flammor och gaser ...”. Brister i tätheten är här inte acceptabla eftersom de kan få mycket allvarliga konsekvenser för liv och hälsa. Samtidigt är erfarenheten att denna täthet sällan kontrolleras och BBR har för övrigt inget kvantifierat krav på tillåten otäthet.

2.4.3 Spridning av markradon

Radon (kemisk beteckning Rn) är en radioaktiv ädelgas, som bildas när radium sönderfaller. Radonet sönderfaller sedan vidare i olika radioaktiva isotoper, sk radondöttrar. Dessa döttrar är metallpartiklar som lätt fastnar på dammkorn och följer med inandningsluften in i lungorna. Vid det fortsatta sönderfallet av radondöttrarna avges olika typer av strålning, som skadar lungcellerna och ger upphov till lungcancer. Minst 400 personer dör varje år i lungcancer orsakad av radon. För vidare läsning, se t ex Radonboken av Clavensjö & Åkerblom (2003).

Radon från marken är den vanligaste orsaken till radon i byggnader. Radonet transporteras in i byggnaden med jordluft som sugs in genom otätheter i grundkonstruktionen. Det krävs tre förutsättningar för att markradon skall ta sig in i byggnaden:

- Radon i marken
- Lufttrycksskillnad (invändigt undertryck)
- Otätheter i byggnadsdelar mot mark

Radon i marken finns i stora delar av Sverige och kommunerna har särskilda kartor över radonfarlig mark. Lufttrycksförhållandena i huset är oftast sådana att huset har ett undertryck i förhållande till marken. De termiska drivkrafterna medverkar till detta liksom även ventilationssystem med självdrag eller mekanisk frånluft (F-ventilation). Det enda säkra sättet att undvika inträngning av markradon är alltså att göra byggnadsdelarna mot marken täta. Speciell uppmärksamhet måste ägnas genomföringar för installationer (vatten,

avlopp, golvbrunnar, elledningar etc), anslutningar golv-vägg samt sprickor pga. sättningar eller krympning. Genomsläppliga byggnadsmaterial, t ex lättklinkerblock, bör putsas på bägge sidor för att ge fullgod lufttäthet.

2.4.4 Spridning utifrån

Den strategi man tillämpar för att skapa god luftkvalitet inomhus är att reducera föroreningskällor och att genom ventilationen späda ut de föroreningar som inte kan undvikas. Detta förutsätter – för att det skall lyckas - att uteluften har lägre föroreningshalter än inneluften. Så är inte alltid fallet. I många fall har uteluften större föroreningshalter än vad som är acceptabelt och det är då nödvändigt att uteluften filtreras och/eller att luftintagen placeras där luftkvaliteten är god.

En mängd olika ämnen i utomhusluften är aktuella. De sex klassiska föroreningarna man brukar tala om är (se t ex US Environmental Protection Agency www.epa.gov/air/urbanair/):

- Partiklar
- Ozon
- Kolmonoxid
- Kvävedioxid
- Svaveldioxid
- Bly

Till dessa kan också komma t ex damm, lösningsmedel, PCB mm vid fasadrenoveringar.

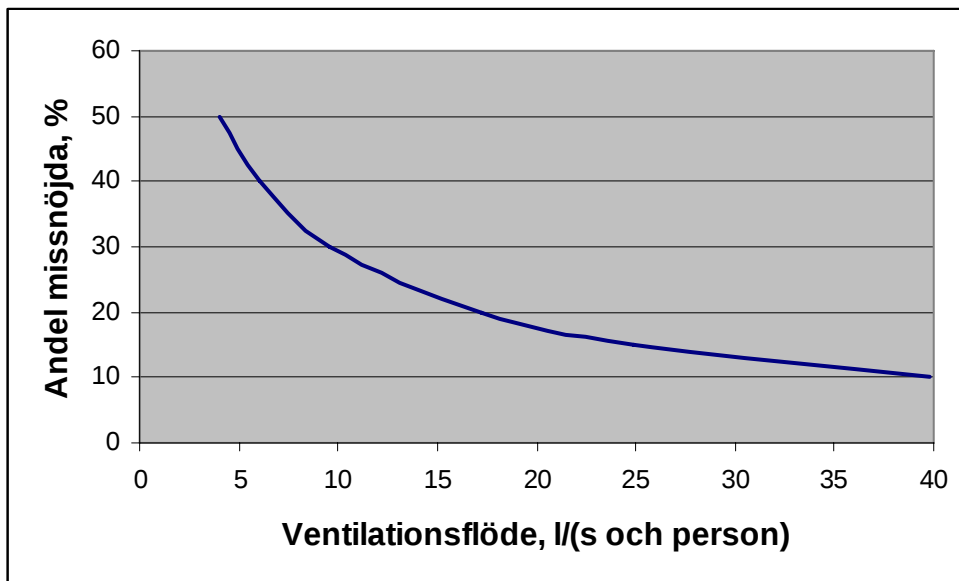
Alla dessa ämnen kan inverka menligt på hälsan och inläckande partiklar medför dessutom ofta stora städbehov.

I områden med dålig luftkvalitet utomhus är det alltså av stor vikt att ventilationen sker genom ventilationssystemet och inte genom okontrollerad infiltration genom otätheter i byggnadsskalet. God lufttäthet är också för övrigt en förutsättning för god ljudisolering i fasader.

2.4.5 Ventilationssystemets funktion

Brister i lufttätheten kan också medföra att ventilationssystemets funktion äventyras så att vissa volymer får för låg luftväxling. Detta kan i sin tur medföra att föroreningar från verksamhet eller personer inte kan föras bort i nödvändig utsträckning. Luftkvaliteten blir då lidande. Konsekvenserna i bostäder kan bli missnöje, klagomål etc, men de viktigaste följderna av dålig luftkvalitet har man i arbetslokaler, t ex kontor och skolor. Undersökningar och simuleringar av t ex Wargocki & Djukanovic (2003) visar att andelen missnöjda ökar starkt vid minskade ventilationsflöden, se Figur 2.13. De studier som finns tillgängliga har huvudsakligen handlat om förbättringar av ventilationen och förhållandena vid lägre flöden är därför osäkra, men trenden är klar. I Sverige är normvärdet 7 l/(s och person) och en minskning under den nivån ger en väsentligt ökad andel missnöjda.

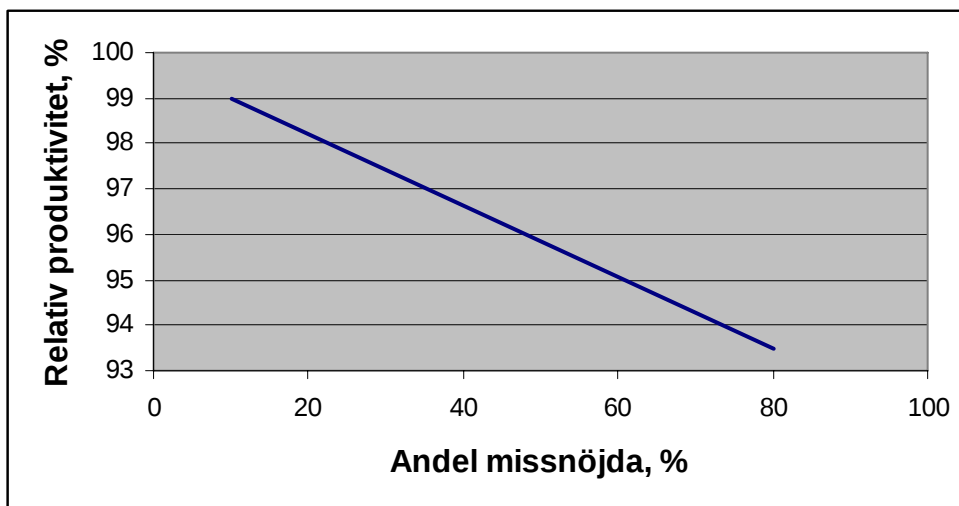
Flera experimentella undersökningar visar att produktiviteten minskar med ca 1% vid en ökning av andelen missnöjda med 10 %, se t ex Olesen (2005) och Seppänen & Fisk (2005) och Figur 2.14 som är hämtad ur den senare. En minskning av ventilationsflödet kan alltså genom dessa samband direkt kopplas till en nedsatt produktivitet och därmed värderas ekonomiskt.



Figur 2.13. Andel missnöjda som funktion av ventilationsflödet. Värdena gäller ett kontorshus och är hämtade ur Wargocki & Djukanovic 2003.

En annan konsekvens av låg luftväxling är en ökad sjukfrånvaro, framför allt korttidsfrånvaro. Data redovisade i Seppänen & Fisk (2005) antyder att en halvering av luftflödet skulle kunna ge en ökning av sjukfrånvaron i storleksordningen 30 %.

Eftersom förhållandena är osäkra och oftast gäller utländska förhållanden kan det vara svårt att kvantifiera dessa konsekvenser av bristande lufttäthet. Klart är dock att dessa frågor kan ha mycket stor ekonomisk betydelse i t ex kontorslokaler eftersom personalkostnaden i dessa fall är dominerande.



Figur 2.14. Sambandet mellan relativ produktivitet och andelen missnöjda med luftkvaliteten. Värdena är hämtade ur Seppänen & Fisk (2005) och gäller maskinskrivning.

2.5 **Konsekvens: Fuktskador**

Inneluft som läcker ut genom otätheter i byggnadsskalet kyls av. Om temperaturen sjunker till daggpunkten kondenserar vattenånga ur luften och fukt ansamlas i byggnadskonstruktionen. Denna mekanism brukar kallas fuktkonvektion och kan ge allvarliga fuktskador eftersom ganska stora mängder fukt kan kondensera under kort tid. Mest utsatta är byggnadens övre delar där man ofta har ett invändigt övertryck på grund av termisk drivkraft.

Fuktkonvektion som beskrivits här med utläckande inneluft gäller kalla och tempererade klimat. I varma klimat uppstår samma problem när varm, fuktig luft läcker in i kallare (luftkonditionerade) delar av byggnaden.

Liksom för radoninträngning krävs tre förutsättningar för fuktkonvektion:

- Fukt i luften
- Lufttrycksskillnad (övertryck på varma sidan)
- Otätheter i byggnadsskalet

Fukt i luften finns alltid. Lufttrycksskillnader finns också alltid i åtminstone någon del av byggnaden. Termisk drivkraft, vindpåverkan och ventilationssystemet ger alla upphov till trycksskillnader. Alltså återstår endast att säkerställa en god lufttäthet för att undvika fuktskador genom fuktkonvektion.

I befintliga hus kan det vara mycket svårt att lokalisera och tätta alla läckor. En sista utväg kan då vara att aktivt påverka tryckbilden för att undvika övertryck på varma sidan. Ett exempel på lösning som provats vid otäta vindsbjälklag och fuktskador på vinden är att genom en tilluftsfläkt till vindsutrymmet reducera eller eliminera det invändiga övertrycket.

Riskkostnaden för konsekvensen fuktskador är mycket svår att bedöma eftersom tillförlitlig statistik saknas. Sannolikheten för skada är ganska låg, men å andra sidan är konsekvenserna vid skada mycket kostsamma. Kostnaden behandlas vidare i nästa avsnitt.

I Bilaga 4 redovisas ett exempel på fuktskada orsakad av fuktkonvektion och vilka kostnader som kan uppstå.

En annan skadetyper som uppmärksammas under senaste tiden är fuktproblem i putsade, odränerade fasader. Vid otätheter i fasaden har i denna väggtyp regnvatten trängt in i konstruktionen och orsakat skador. Problemet här är att dessa väggar bygger på principen med enstegstätning, dvs regntätningen och (delar av) lufttätningen ligger i fasadytan. Den tryckskillnad som alltid uppkommer över lufttätningen pressar regnvatten in i väggen.

Principen med tvåstegstätning ger en säkrare konstruktion. Vid en tvåstegstätning skyddas lufttätningen alltid av ett regnavvisande skikt så att fritt vatten aldrig når eventuella läckor i lufttätningen.

3 Lönsamhet och lufttätt byggande

Att bygga lufttätt innebär extra kostnader i produktionsskedet, kostnader som i lönsamhetskalkylen betalas tillbaka under kommande år genom t. ex. energibesparingar och ökade hyresintäkter. I detta kapitel beskrivs en enkel modell som kan ligga till grund för beslut om fastighetsägaren skall välja att bygga lufttätt eller att göra som vanligt. Modellen har två inbyggda problem. För det första är det svårt att renodla de effekter som härrör från lufttättheten och för det andra är det svårt att i kronor värdera många av de fördelar som man får då byggnaden är lufttät.

3.1 Beräkningsförutsättningar

3.1.1 Beslutsfattande

Att fatta beslut om att bygga lufttätt eller att bygga om för att göra lufttätt är en uppgift i första hand för fastighetsägaren. Perspektivet i detta kapitel är alltså fastighetsägarens och kostnader och intäkter som beräknas är relaterade till fastighetsföretaget. Att introducera lufttätt byggande i företaget kan likställas med att introducera en ny teknik i företaget. Processen från idé till beslut och genomförande för att introducera ny teknik är emellertid långt mer komplicerad än vad de flesta av oss från början inser. Fastighetsföretaget måste därför ha tillgång till goda beslutshjälpmedel för att kunna hantera denna förändringsprocess, som består av fyra faser:

- *Kännedomsfasen* är den fas då informationen om att bygga lufttätt blir ett tänkbart alternativ för något eller några hus i fastighetsföretagets bestånd. Information om detta har antingen kommit genom att ett akut problem behöver lösas t. ex. klagomål från hyresgäster eller genom att fastighetsägaren t. ex. genom fackpress eller kollegor har fått information och förstått att lufttätt byggande kan vara en möjlighet för dem.
- *Övertygandefasen* är den fas då konsekvenserna av en eventuell introduktion av lufttätt byggande analyseras och ställs mot andra möjliga alternativ. Information samlas in och analyseras. Det är viktigt att all relevant information finns med, den här rapporten är ett exempel på sådan information.
- *Beslutandefasen* är den fas där alternativ väljs, tidplan fastställs och eventuella risker med den nya tekniken övervägs och minimeras.
- *Genomförandefasen* är den fas i vilken den nya byggtekniken anpassas för det aktuella huset, byggandet genomförs och intrimning sker.

Vi skall i detta kapitel i första hand beröra den andra fasen ”övertygandefasen”, den viktiga fas som innebär att relevanta data skall samlas in, värderas och vägas för att fastighetsägaren skall kunna välja det bästa alternativet. Beslutsfattandet renodlas här till att gälla två alternativ:

- Att bygga lufttätt. (1) Vid nybyggnad välja sådana metoder att huset i driftfasen når upp till ställda krav för lufttäthet. (2) Vid ombyggnad förbättra husets egenskaper så att de når upp till ställda krav för lufttäthet.
- Att inte bygga lufttätt. (1) Vid nybyggnad ”göra som vanligt”. (2) Inte vidtaga några ombyggnadsåtgärder på det aktuella huset.

I de flesta fall är dock inte alternativen så renodlade utan fastighetsägaren kommer att välja ett utförande som ligger någonstans mellan dessa ytterligheter för sitt speciella pro-

jekt. Den i detta kapitel beskrivna beslutsmodellen måste då anpassas till den aktuella situationen.

3.1.2 Särintäkter och särkostnader

Kalkylerna i detta kapitel bygger på ett särkostnads-/särintäktsperspektiv. Med begreppen särintäkt/-kostnad menas sådana intäkter/kostnader som uppkommer på grund av att beslutsalternativet genomförs och som inte skulle ha uppkommit om inte alternativet genomförts. Skillnaden mellan särintäkt och särkostnad kallas för täckningsbidrag (TB) och det består av gemensamma kostnader plus vinst.

I kalkylerna tar vi alltså enbart med de faktorer som skiljer mellan att bygga lufttätt eller att inte bygga lufttätt. Som särkostnader betraktas kostnader för åtgärder som uppkommer då vi gör huset lufttätt och som intäkter betraktas värdet av förbättringar samt minskade kostnader som uppnås till följd av att huset blivit lufttätt. Särkostnad/-intäkt i detta sammanhang avser alltså alla de kostnader/intäkter som uppstår då en byggnad går från att vara otät till att den blir tät. Ett problem med detta betraktelsesätt är att effekterna av att byggnaden blivit lufttät inte alltid är lätta att särskilja från andra åtgärder som vidtagits på huset, som ju energimässigt måste betraktas som ett system. I den verkliga beslutssituationen måste fastighetsägaren låta en specialist på området göra en analys av de förväntade effekterna då huset blir lufttätt.

3.1.3 En modell för beslutsfattande

Ett speciellt kalkylproblem är att intäkter och kostnader ofta inte är direkt mätbara i pengar. Vissa faktorer som reparationskostnader och kostnader för ökad energiförbrukning kan med reservation för osäkerheterna i siffrorna relativt lätt beräknas i kronor. Där emot är det svårare att i kronor värdera de positiva effekterna av att människor trivs bättre i sin lägenhet eller att anställda får en bättre arbetsmiljö då inneklimatet blir bättre. En dålig arbetsmiljö kommer förmodligen att sänka arbetstakten och skapa fler fel i produktionen men oftast finns dessa faktorer inte med i alternativvalskalkylen. Vi bör alltså skilja på ”hårda faktorer” som vi enkelt kan mäta i kronor och ”mjuka faktorer” som påverkar produktionen men som är svårare att mäta i kronor. I vissa fall kan man värdera genom ett indirekt förfarande, som t. ex. att mäta den produktionsökning som sker på ett kontor när innemiljön blir bättre eller genom att mäta och värdera kostnaderna för den ökade hyresgästomsättningen, som uppstår då inneklimatet är bristfälligt.

Ett annat problem är att kostnader och intäkter inte alltid uppstår samtidigt. I många fall kommer intäkterna av gjorda investeringar senare och under många år framåt i tiden. Värdet av dessa intäkter är större ju snabbare vi får dem och kalkylräntans storlek bestämmer hur stort nuvärdet eller annuiteten/årskostnaden blir. Vi måste alltså skilja på faktorer som ger särintäkter/-kostnader på kort alternativt på lång sikt.

Vi anser att det förbättrar förutsättningarna för ett bra beslutsfattande om han/hon använder en beslutsmodell som strukturerar och gör alla faktorer synliga för de olika alternativen. Alternativvalskalkylen är svår och den bör göras av flera tillsammans i en ”kreativ” process eftersom man tillsammans är bättre på att finna så många relevanta intäkter och kostnader som möjligt för att kunna skapa ett så bra beslutsunderlag som möjligt. För att göra beslutsunderlaget tydligt bör det ha en bra struktur. Vi föreslår att man delar upp intäkter och kostnader i mjuka/hårda faktorer samt korta/långa faktorer enligt Figur 3.1 nedan (Claeson-Jonsson och Larsson 2005).

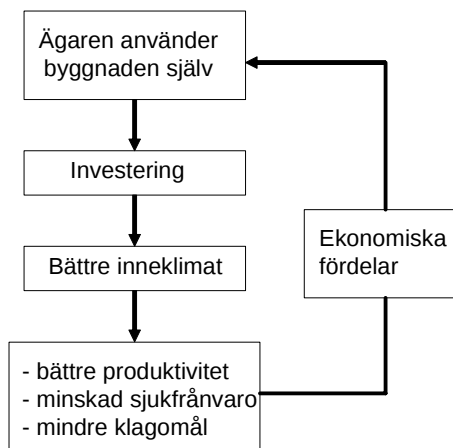
mjuka faktorer	Intäkter: Kostnader:	Intäkter: Bättre image Bättre trivsel bättre ljudisolering Kostnader: -
	Intäkter: Kostnader: Vid ny/ombyggnad: Extra arbetstid Kontroll Utbildning	Intäkter: Lägre energiförbrukning Ökad produktivitet Minskad sjukfrånvaro Kostnader:
hårda faktorer	kortsiktiga faktorer	Långsiktiga faktorer

Figur 3.1 Beslutsmodell med exempel på projektrelaterade särintäkter och särkostnader

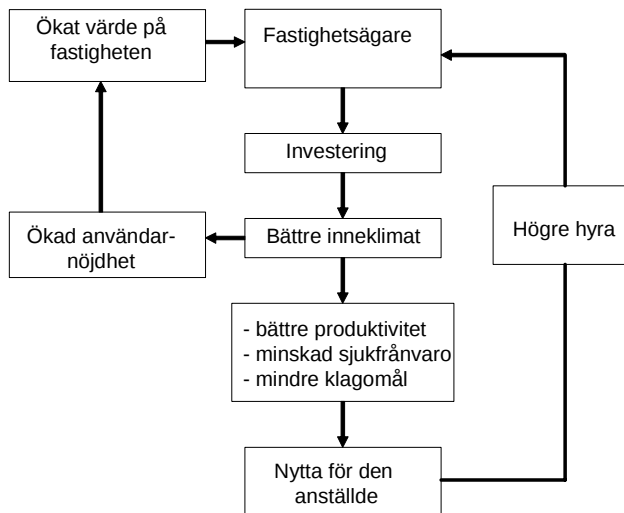
De kortsiktiga hårda faktorerna är de som naturligt ingår i kalkylen. De långsiktiga hårda faktorerna är sådana som måste fördelas över användningstiden - de bör avskrivas på en viss tid. De mjuka korta faktorerna bedöms så att de kan göras jämförbara mellan alternativen. Ett sätt kan vara att poängbedöma faktorerna för olika alternativ samt vikta faktorerna sinsemellan. På så sätt kan olika metoder jämföras även om det inte sker i reda pengar. De mjuka långa faktorerna är mycket svåra att värdera men de bör vara med för att helhetsbedömningen skall bli så bra som möjligt.

3.1.4 Fastighetsägarens beslutssituation

Beslutssituationen för fastighetsägare som äger lokaler ser olika ut om företaget använder huset självt eller om det är uthyrt. I det första fallet får fastighetsföretaget direkt vinsten av förbättringen, i det andra fallet uppstår vinsten indirekt genom en värdestegring på huset samt genom en möjlig högre hyressättning. De två olika situationerna beskrivs i Figur 3.2 och 3.3 nedan.



Figur 3.2. Ekonomiska fördelar för en lufttät byggnad då fastighetsägaren själv använder byggnaden. (Efter Seppänen, O., Fisk, W.J. and Berkeley, 2005).



Figur 3.3 Ekonomiska fördelar för en lufttät byggnad då byggnaden är uthyrd. (Efter Seppänen, O., Fisk, W.J. and Berkeley 2005).

I det fallet att fastighetsföretaget äger bostadsfastigheter finns det bara ett alternativ eftersom bostäderna alltid hyrs ut. För bostadsrättsföreningar eller privat ägda enfamiljshus är beslutssituationen likvärdig. Beslutsmodeller som gäller nybyggnad alternativt ombyggnad kommer i princip att se lika ut även om ingående storheter som t. ex. kostnader för att göra tätt att skilja sig åt. I den fortsatta framställningen analyserar vi följande tre fall.

- Fastighetsföretag som äger och hyr ut bostäder i flerfamiljshus
- Företag som äger lokaler och som själv använder sina lokaler
- Fastighetsföretag som äger lokaler och som hyr ut sina lokaler

Kalkylexemplen i slutet av kapitlet omfattar de två första fallen. Förutsättningen för beräkningsexemplen är att företagen bygger nytt eller bygger om till lufttätt hus från låg lufttätetsstandard till bra.

3.2 Särintäkter och särkostnader

En bidragskalkyl baseras på att särintäkter respektive särkostnader skiljs ut och kalkyleras. I detta fall definieras särintäkter som de minskade kostnader som erhålls då man går från en otät till en tät byggnad. Särkostnaderna är de extra kostnader som uppstår för att bygga lufttätt.

De angivna värdena på särintäkter/-kostnader är uppskattade efter samtal med inom området verksamma och väl informerade personer och med ledning från publicerade vetenskapliga rapporter. *Det är inte meningen att värdena skall tjäna som en fix norm utan enbart ge en uppfattning om storleksordningar.* I det verkliga fallet måste värden anpassas efter det aktuella företaget och den aktuella beslutssituationen.

3.2.1 Särintäkter

I kapitel 2 beskrivs konsekvenser av bristande lufttätthet under följande fyra rubriker:

- Energianvändning
- Termisk komfort
- Luftkvalitet
- Fuktskador

Förbättring av lufttättheten i en byggnad kommer att minska de negativa konsekvenserna av de ovan angivna faktorerna och ge en särintäkt för fastighetsägaren. Även om särintäkten inte direkt är kvantifierbar i kalkylen måste den ändå finnas med i beslutsunderlaget. Vi har valt att nedan så långt det går kvantifiera konsekvenserna i kronor. Men i det verkliga fallet måste siffrorna baseras på det enskilda företags egna erfarenheter.

Energianvändning

I kap 2.2. anges att dåligt lufttäta byggnader får en ökad energianvändning på grund av försämrad värmeisolering, onödig ventilation samt försämrad effektivitet hos värmeväxlare. Minskning av energiförbrukningen då man gör byggnaden lufttät är den enskilt tydligaste särintäkten. I kapitel 2.2.2 anges att då man går från en otät byggnad ($2 \text{ l/m}^2\text{s}$) till en normalt tät byggnad ($0,8 \text{ l/m}^2\text{s}$) kommer energiförbrukningen att minska med $55 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ för ett hus i öppet läge. Energipriset kan idag sättas till ca 1 kr/kWh . En rimlig prognos är att detta kommer att stiga snabbare än konsumentprisindex. Beräkningen ligger alltså på den "säkra sidan" och energivinster kommer att bli åtminstone 55 kr per m^2 och år.

Termisk komfort

I kapitel 2.3 beskrivs att drag, vertikala temperaturskillnader, kalla golv samt strålningsasymmetri är orsaker till bristande termisk komfort och som i sin tur ger upphov till att de människor som vistas i byggnaden känner sig missnöjda. Diagrammen i figurena 2.6, 2.7 och 2.8 visar att ökande brister i den termiska komforten ganska snabbt ger bortåt 10% missnöjda av de som vistas i byggnaden. Detta gäller när yttre vind- och temperaturförhållanden orsakar avkylning inomhus. Väderstatistik visar att under årets 6 kalla månader har hälften av dagarna en medeltemp som är lägre än 5°C och en medelvindhastighet som överstiger 5 m/sek . Ett rimligt antagande är således att under 25% av året är vind- och temperaturförhållandena sådana att 10% av de personer som vistas i lokaler med dålig lufttätthet upplever brister i den termiska komforten..

I byggnader som inrymmer *kontorslokaler* är det i första hand produktiviteten hos de som arbetar där, som kommer att påverkas. Omfattande studier av kontorsarbete (t. ex Olesen, 2005 samt Seppänen, Fisk, och Lei, 2006) visar att produktiviteten minskar vid brister i

den termiska komforten. Det finns många belägg för detta, som är baserade på verkliga studier (Seppänen, Fisk och Berkeley 2005). Redan då 10% av den arbetande personalen är missnöjd kommer produktiviteten att sjunka med 1-2% enligt kapitel 2.3 och 2.4. Om detta råder under 25% av året kommer produktiviteten i genomsnitt under året att minska med 0,25%-0,5%. Om vi antar att en anställd kostar 500 kkr/år och utnyttjar en kontorsarea på 20 m² kommer intäkten då man går från en otät till tät byggnad att bli mellan 62 och 125 kr per m² och år.

För *hyresgäster i bostadshus*, som upplever dålig termisk komfort innebär detta att de klagar hos fastighetsägaren, att de talar illa om honom eller till och med att de flyttar till en annan lägenhet. För fastighetsägarens del innebär detta att direkta kostnader i form av tid för telefonsamtal, besiktningar och annan administration uppstår. Man kan också tänka sig att dåliga fastigheter får en lägre uthyrningsgrad och många omflyttningar. Det är svårt att ange en konkret kostnad för detta men ett antagande om 0,5-1% lägre uthyrningsgrad i fastigheter med dålig lufttäthet och en genomsnittlig hyra på 1000 kr/m² år kan ge en fingervisning om särintäkten då fastigheten förbättras. En bruksvärdesökning av fastigheten innebär några procents ökning av hyresnivån, säg 2-4%. Detta sammantaget innebär totalt en vinst på mellan 25 och 50 kr per m² och år. Vi skall emellertid komma ihåg att detta resonemang är mycket svårt att belägga och frågar man en fastighetsägare så är det i första hand fastighetens läge som är avgörande för hyresnivån.

Luftkvalitet och ljudisolering

Otätheter i byggnaden kan föra med sig innehåll av gaser och partiklar (kap 2.4). En konsekvens av detta skulle kunna vara en ökad sjukfrånvaro, att människor mår dåligt och en ökad personalomsättning. I kalkylerna kvantifierar vi inte detta men noterar att det kan vara en särintäkt då man väljer att bygga lufttätt. En annan sådan konsekvens är att ljudisoleringen är sämre då tätheten inte är bra. I slutändan innebär dessa konsekvenser bad vill för fastighetsägaren. Försämrad produktivitet, ökad sjukfrånvaro, hyresgästmissnöje till följd av dålig luftkvalitet och ljudisolering kommer att öka de procentsatser som är angivna i föregående avsnitt men det är svårt att särskilja olika orsakars påverkan.

Fuktskador

Dålig lufttäthet innebär ökad risk för fuktskador med mögel och skador på inredning som följd. Vi har haft svårt att finna statistik på hur vanligt detta är och vad det kan kosta. Ett enkelt överslag visar emellertid att sådana skador förmodligen inte har någon större ekonomisk betydelse i ett större fastighetsbestånd så länge det inte är ett allvarligare systematiskt fel. Låt oss t. ex. antaga att en fastighet på 2000 m² drabbas av en fuktskada vart 10:e år som kostar 100 kkr att åtgärda. Detta innebär då en genomsnittlig kostnad på 10 kkr per år, vilket ger 5 kr/m² och år. En kostnad som i jämförelse med andra särkostnader/-intäkter förmodligen är försumbar.

3.2.2 Särkostnader

De huvudsakliga särkostnaderna består av de extra kostnader som uppkommer därför att man väljer att bygga lufttätt jämfört med kostnader som skulle uppstått om man byggt som vanligt.

Arbetskostnader

Att bygga lufttätt innebär i första hand att vara noggrann vid byggandet. Konkret innebär det att diffusionsspärren skall var hel och tät. Genomföringar av t. ex. elektriska ledningar skall vara få och täta. Det är viktigt att alla yrkeskategorier är medvetna om detta. För Lindåshuset (Boström et al 2003) innebär detta att ”...*arbetssättet på byggarbetsplatsen var avgörande för husens funktion*”. I denna rapport menar man också att det var mycket

viktigt att arbetarna hade kunskaper och information. Utöver detta kan man förutsätta att hantverkarna delvis måste arbeta på ett nytt sätt och att det således finns en märkbar inkörningseffekt. Skall man bygga nytt eller bygga om bör man alltså ta hänsyn till detta. Om vi antar att det innebär en viss omställning för hantverkarna och om vi använder "Wrights lag" för inkörning i kalkylerna bör ett inkörningstal på 95% vara rimligt. Detta innebär att för varje fördubbling av antalet enheter för ett arbetsmoment så kommer det ackumulerade tidsmedelvärdet att reduceras med 5% (Byggförbundet 1972).

Vid nybyggnad kommer täthetskravet att öka antalet arbetstimmar med 0,5-1 tim/m². Arbetskostnaden inklusive alla omkostnader och pålägg är cirka 400 kr/tim. Ombyggnadsprojekt är sinsemellan oftast mycket olika och vi anger därför inte någon siffra för arbetssärkostnaden vid ombyggnad. Vid allt byggande där det ställs krav på lufttätt byggande är det nödvändigt att alla yrkeskategorier får en ordentlig utbildning om vad som förväntas av dem och hur de skall arbeta. För ett normalt projekt innebär detta en kostnad för arbetsbortfall och kurskostnader under en halv dag på 20-40 000 kr.

Kontrollkostnader

Enligt kapitel 4 innebär krav på lufttätt byggande att kontroll av såväl projektering som byggande är nödvändigt. Ritningar måste granskas och arbetsutförandet under byggnadstiden måste följas upp. För att kontrollera den slutliga tätheten måste provningar genomföras. Totalt innebär detta en arbetsinsats om ca 0,05 tim/m².

Det är sannolikt att vissa genomföringar, speciella tejper och verktyg måste användas för att kunna bygga lufttätt. En rimlig uppskattning av denna kostnad är 20-40 kr/m².

3.3 En kalkylmodell

För att på ett enkelt sätt kunna avgöra om det är lönsamt eller ej att bygga lufttätt har vi byggt en modell i Excel. Modellen – excelarket - som framgår av Figur 3.4 är uppdelad i två delar, den vänstra i vilken man lägger in sina ingångsdata och den högra där resultatet visas i form av särintäkter och särkostnader samt ett total projektresultat i kkr/år. Modellen bygger på att engångs investeringskostnader är omgjorda till annuiteter – årskostnader – enligt traditionell investeringskalkyl.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
							kostnad		Årskostnad
9	Ökad arbetstid hus nr 1	0,5	tim/m ²		Kostnader				
10	Arbetskostnad	400	kr/tim		Extra arbetstid	=C9*C10*C21	kr/m ²		
11	Kontroll	0,05	tim/m ²		Ökad kontroll	=C11 *C12	kr/m ²		
12	Kontrollantkostnad	500	kr/tim		Utbildning av arbetare	=C16/(C18*C19)	kr/m ²		
13	Livsängd (LCC)	10	år		Övriga kostnader	=C22	kr/m ²		
14	Kalkylränta	5	%		Summa kostnad	=SUM(H10:H13)		=C15*H14	kr/m ² och år
15	Annuitetsfaktor	=(C14/100)/(1-(1+C14/100)^-C13)							
16	Utbildningskostnad	20000	kr/projekt						
17									
18	Antal hus i projektet	4	st						
19	BRA per hus	2000	m ² BRA						
20	Inkörningstal	0,95			Intäkter				
21	Inkörningsfaktor ack mvärde	=C20^4			Minskad energigång			=C24*C25	kr/m ² och år
22	Övriga kostnader	20	kr/m ²		Minskade åtgärder för fuktsskad			=C27/(C19)	kr/m ² och år
23									
24	Minskad energigång	100	kWh/m ² och år		Ökad produktivitet			=C29*C32/(C31*100)	kr/m ² och år
25	Energikostnad	1	kr/kWh						
26					Minskad sjukfrånvaro				
27	Åtgärder för fuktsskador	10000	kr/år och hus		Ökad trivsel, bättre komfort				
28					Minskad spridning av partiklar				
29	Ökad produktivitet	0,25	%		Bättre ljudisolering				
30					Summa intäkt			=SUM(J21:J28)	kr/m ² och år
31	Storlek på kontorsarea	10	m ² /anställd						
32	Arbetskostnad	500000	kr/år						
33					Täckningsbidrag (TB)			=J30-J14	kr/m ² och år
34					Totalt täckningsbidrag (TTB)			=(J30-J14)*C18*C19/kkr/år	

Figur 3.4. Kalkylmodell

I Figur 3.4 ovan beskrivs kalkylen som en årskostnadskalkyl med hjälp av förväntade ekonomiska livslängder. Genom att använda sig av olika ingångsdata kan vi på ett enkelt sätt göra en känslighetsanalys: Vad händer om kalkylräntan stiger med 3%? Vad händer om arbetstiden ökar med 1 h/m²?

3.4 Några kalkylexempel

I beräkningsförutsättningarna angav vi tre olika beslutssituationer för olika typer av fastigheter. Här visar vi kalkylexempel för två olika fall som principiellt skiljer sig åt – ”nybyggnad av fastighet med hyresrätter” samt ”nybyggnad av fastighet med kontor som ägaren själv brukar”. I kalkylen används vår modell för att analysera vad det innebär att vid nybyggnad ställa krav på lufttätethet i stället för att göra ”som vanligt”. I kalkylen använder vi oss de lägsta värdena som är angivna i föregående avsnitt för särintäkter och högsta värden för särkostnader för att ge värden på den ”säkra sidan. Särkostnaderna för byggandet är engångskostnader som uppstår i början av kalkylperioden och för att göra dem jämförbara annuitetsberäknas dem. Den ekonomiska livslängden är därvid satt till 10 år och kalkylräntan till 5%. I verkliga fall varierar dessa siffror från projekt till projekt och från företag till företag.

3.4.1 Fastighetsföretag som äger och hyr ut bostäder i flerfamiljshus

För en hyresfastighet kommer den allt dominerande posten för särintäkter att vara den energi som man kan spara. I övrigt är det många mjuka faktorer som ökad trivsel, bättre ljudisolering som också kommer att finnas med i kalkylen. De ökade byggnadskostnaderna är förmodligen ganska minimala i detta sammanhang. Vi antar att beställaren i ett projekt bygger två liknande hus om vardera 2000 m². Vi använder modellen i Figur 3.4 och de värden som är angivna i tidigare avsnitt och erhåller nedanstående beräkningskalkyl, Figur 3.5.

Indata	Enh (bruksarea)	Kalkyl	Engångs-kostnad	Årskostnad
Ökad arbetstid hus nr 1	0,5 tim/m ²	Kostnader		
Arbetskostnad	400 kr/tim	Extra arbetstid	190 kr/m ²	
Kontroll	0,05 tim/m ²	Ökad kontroll	25 kr/m ²	
Kontrollantkostnad	500 kr/tim	Utbildning av arbetare	5 kr/m ²	
Livslängd (LCC)	10 år	Övriga kostnader	20 kr/m ²	
Kalkylränta	5 %	Summa kostnad	240	31 kr/m² och år
Annuitetsfaktor	0,1295			
Utbildningskostnad	20000 kr/projekt	Intäkter		
Övriga kostnader	20 kr/m ²	Minskad energiåtgång		55 kr/m ² och år
Antal hus i projektet	2 st	Minskade åtgärder för fuktskador		3 kr/m ² och år
BRA per hus	2000 m ² BRA	Ökad uthyrningsgrad		5 kr/m ² och år
Inkörningstal	0,95	Ökad hyresnivå		20 kr/m ² och år
Inkörningsfaktor ack mvärde	0,95	Ökad trivsel och komfort		
		Minskad spridn av partiklar		
		Bättre ljudisolering		
		Summa intäkt		83 kr/m² och år
		Täckningsbidrag (TB)		51 kr/m² och år
		Totalt täckningsbidrag (TTB för projektet)		206 kkr/år

Figur 3.5. Lönsamhetskalkyl för projekt med två hyresfastigheter som byggs lufttäta.

Vi konstaterar att det med stor sannolikhet är lönsamt för fastighetsägaren att bygga sitt hus lufttätt - det är energibesparingen som är den mest konkreta vinsten. Emellertid

kommer nog de mjuka faktorerna – ökad trivsel, minskad spridning av partiklar och bättre ljudisolering - att var väl så betydelsefulla i det långa loppet, även om de inte har tilldelats några konkreta värden i ovanstående kalkyl.

3.4.2 Fastighetsföretag som äger lokaler och som själv använder sina lokaler

För företaget som har verksamhet i sina egna lokaler kommer minskning av personal-kostnader att var den totalt mest betydelsefulla faktorn när man gör en lönsamhetskalkyl för om man skall bygga lufttätt eller inte. Även insparade energikostnader är en viktig faktor. De ökade byggnadskostnaderna har liten betydelse i detta sammanhang. Vi använder modellen i Figur 3.4 och de värden som är angivna i tidigare avsnitt och erhåller nedanstående beräkningskalkyl, Figur 3.6. Fastighetsägaren antages i ett projekt bygga fyra liknade kontor om vardera 2000 m².

Indata	Enh (bruksarea)	Kalkyl	Engångs-kostnad	Årskostnad
Ökad arbetstid hus nr 1	0,5 tim/m ²	Kostnader		
Arbetskostnad	400 kr/tim	Extra arbetstid	163 kr/m ²	
Kontroll	0,05 tim/m ²	Ökad kontroll	25 kr/m ²	
Kontrollantkostnad	500 kr/tim	Utbildning av arbetare	3 kr/m ²	
Livslängd (LCC)	10 år	Övriga kostnader	20 kr/m ²	
Kalkylränta	5 %	Summa kostnad	210	27 kr/m² och år
Annuitetsfaktor	0,1295			
Utbildningskostnad	20000 kr/projekt			
Antal hus i projektet	4 st	Intäkter		
BRA per hus	2000 m ² BRA	Minskad energiåtgång		55 kr/m ² och år
Inkörningsstal	0,95	Minskade åtgärder för fuktskador		5 kr/m ² och år
Inkörningsfaktor ack mvärde	0,81	Ökad produktivitet		63 kr/m ² och år
Övriga kostnader	20 kr/m ²			
Minskad energiåtgång	55 kWh/m ² och år	Minskad sjukfrånvaro		
Energikostnad	1 kr/kWh	Ökad trivsel, bättre komfort		
Åtgärder för fuktskador	10000 kr/år och hus	Minskad spridning av partiklar		
Ökad produktivitet	0,25 %	Bättre ljudisolering		
Storlek på kontorsarea	20 m ² /anställd	Summa intäkt		123 kr/m² och år
Arbetskostnad	500000	Täckningsbidrag (TB)		95 kr/m² och år
		Totalt täckningsbidrag (TTB för projektet)		762 kkr/år

Figur 3.6 Lönsamhetskalkyl för projekt med fyra kontorsfastigheer som ägaren själv brukar.

Vi ser av ovanstående kalkyl att det inte är svårt att räkna hem ett lufttätt alternativ för ett kontorshus eftersom vinsten av ökad produktivitet slår igen så tydligt. Även om fastighetsägaren hyr ut sina lokaler och alltså ”överlåter” denna produktivitetsvinst till sina hyresgäster kommer den intjänade energikostnaden att vara så stor att den ensamt motiverar ett lufttätt byggande.

3.5 Kapitelsammanfattning

I kapitlet har vi beskrivit två modeller som kan vara till hjälp då man vill analysera om man skall välja ett lufttätt alternativ. Vi har vidare tillämpat modellerna för två tänkta exempel – ett hyreshus och ett kontorsprojekt. Även om de i kalkylerna använda värdena varierar från projekt till projekt, så tycks det ändå vara entydigt att lufttätt byggande är lönsamt för den som skall bygga nytt. Vi har valt att inte ge några exempel för ombyggnad eftersom förutsättningarna varierar så mycket mellan olika projekt. Det gör ju t.ex. ganska stor skillnad om lufttätt byggande genomförs i ett ombyggnadsprojekt som ändå skulle genomföras eller om ombyggnadsprojektet enbart syftar till att göra byggnaden

lufttät. Men den fastighetsägare som skall bygga om kan använda sig av modellen med egna siffervärden.

De två beräkningsexempel som är redovisade tidigare i kapitlet är sammanfattade i Figur 3.7 nedan. De visar på ett överskådligt sätt olika faktorer som kan påverka ett beslut om att bygga lufttätt eller inte. I det verkliga fallet måste emellertid beslutsfattaren själv ta ställning till om det finns ytterligare faktorer som har inverkan på beslutet.

mjuka faktorer		Intäkter: Bättre image Bättre trivsel bättre ljudisolering	
			-
hårda faktorer	Kostnader: Extra arbete för lufttätthet: 31 kr/ m ² år	Intäkter: Lägre energiförbrukning: 55 kr /m ² år Annat: 28 kr /m ² år	
	kortsiktiga faktorer	Långsiktiga faktorer	

mjuka faktorer		Intäkter: Bättre image Minskad sjukfrånvaro Bättre trivsel Bättre ljudisolering	
			-
hårda faktorer	Kostnader: Extra arbete för lufttätthet: 27 kr/ m ² år	Intäkter: Ökad produktivitet för anställda: 63 kr /m ² år Lägre energiförbrukning: 55 kr /m ² år Annat: 5 kr /m ² år	
	kortsiktiga faktorer	Långsiktiga faktorer	

Figur 3.7. Utvärdering av hyresfastighet (vänstra figuren) och kontorsbyggnad (högra figuren). Modellen visar särintäkter och särkostnader vid lufttätt utförande.

4 Byggherrens krav för lufttät byggnad

4.1 Inledning

I sitt programarbete formulerar byggherren en mängd olika krav för att få rätt kvalitet i byggnaden. Genom tydliga krav i programskedet undviks många onödiga frågor och utredningar under projekteringsskedet. Under byggskedet begränsas oplanerade ändringar genom sen upptäckt av fel. När det sedan är dags för överlämnande av den färdiga byggnaden har man genom ett väl utfört programarbete skapat förutsättningar för överensstämmelse mellan förväntat resultat och den uppförda byggnaden (Malmqvist&Ryd, 2006).

I tidigare projekt har byggherrens arbete för fuktsäker byggnad behandlats, se t ex Sikan-der (2005). Dessa resultat har bearbetats vidare i detta projekt och modifierats till att gälla byggherrens arbete med att skapa lufttäta byggnader.

När det kommer till lufttäta byggnader har det tidigare funnits ett kvantifierat krav i BBR som därmed alltid skulle uppfyllas. I BBR som gäller från 1 juli 2007 finns inget kvantifierat krav för lufttäthet, däremot finns krav som avser byggnadens energianvändning. För att kravet skall kunna uppfyllas är det av stor vikt att byggnadens lufttäthet är god.

I byggprojekt med tydliga mål att vara energieffektiva ställs idag många gånger tydliga krav på lufttäthet som också följs upp med täthetsprovningar kombinerade med termograferingar. Några exempel på sådana byggprojekt presenteras i Bilaga 6. Tyvärr utgör dessa projekt endast en mindre del av den totala byggnationen.

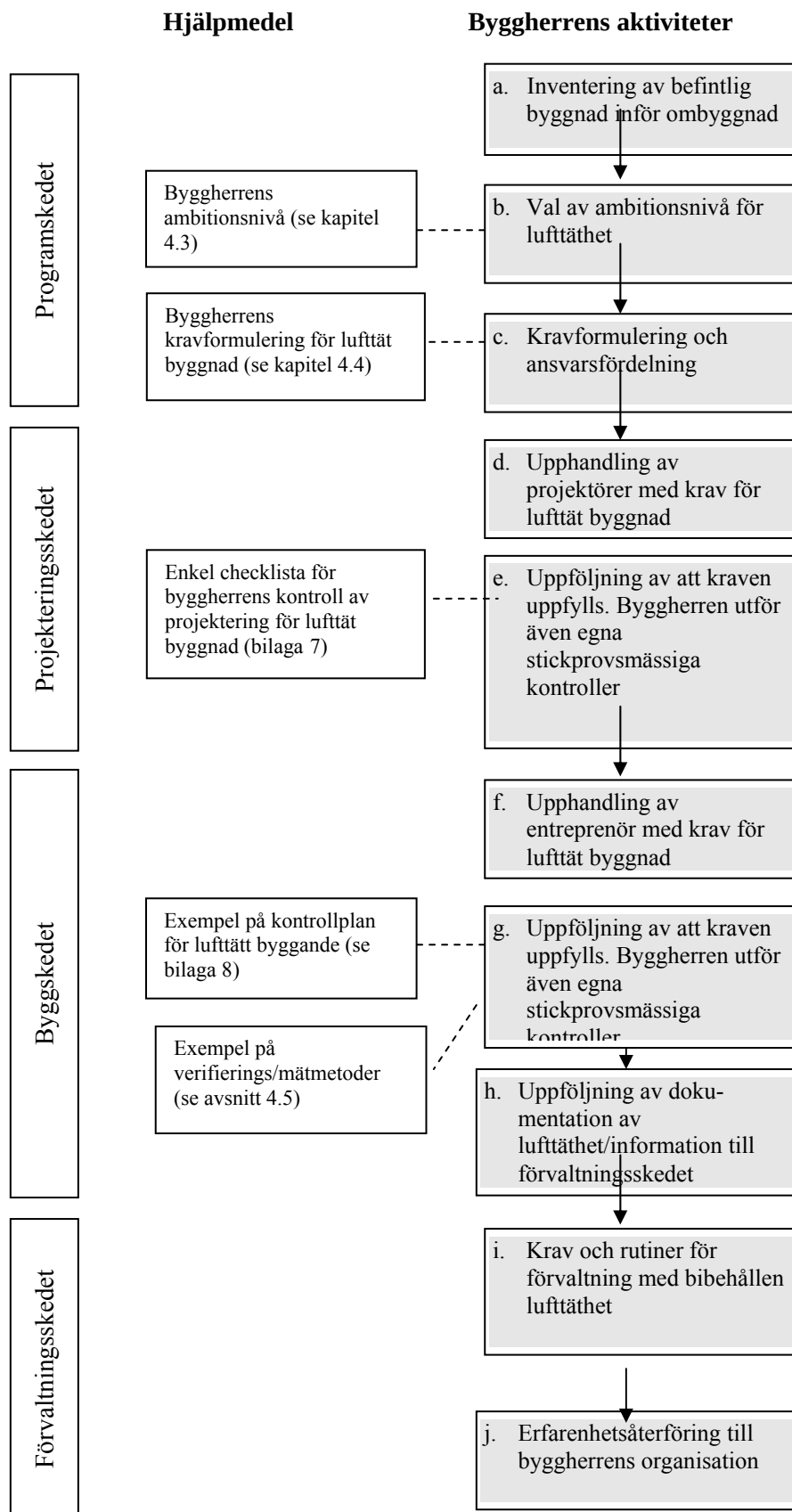
De nedanstående avsnitten är avsedda att ge byggherrar uppslag inför det egna arbetet med att ställa krav och följa upp dessa så att byggnaderna får god lufttäthet. Delar av checklistan och förslagen på krav kan även användas av entreprenörer i samband med exempelvis totalentreprenader.

4.2 Checklista för byggherrens arbete

Checklistan nedan är avsedd att användas av byggherren eller dennes representant för att styra byggprocessen så att byggnadens lufttäthet blir den önskade. Byggherrens styrning sker genom att:

- formulera **tydliga krav** avseende lufttäthet
- tydliggöra **ansvarsfördelning** för att de olika kraven skall uppfyllas
- kontrollera/säkerställa att de upphandlade aktörerna (projektörer och entreprenörer) har erforderlig **kompetens**
- **följa upp att kraven uppfyllts**

Arbetet med att bygga lufttäta byggnader bör samordnas med kvalitetsarbetet i byggprojektet.



Figur 4.1. Byggherrens checklista är formulerad utgående från en generalentreprenad eller delad entreprenad. Genom att välja ut relevanta delar är checklistan med tillhörande hjälpmedel tillämpbar oavsett entreprenadform.

4.3 Byggherrens ambitionsnivå

Ambitionsnivån hos byggherren ligger till grund för de krav som formuleras för den lufttåta byggnaden. Ambitionsnivån kan variera från byggherre till byggherre samt från ett projekt till ett annat. Avgörande för vilken nivå byggherren väljer kan vara vilken energianvändning som byggherren är beredd att acceptera och vilken termisk komfort eller luftkvalitet som brukarna av byggnaden förväntar sig. Vidare kan ekonomiska resonemang avgöra valet av ambitionsnivå.

Byggherrens ambitionsnivå återspeglas framförallt i

- eget engagemang. I vissa projekt kan det vara motiverat att koppla en specialist till projektet som stöd för byggherrens kravställande och uppföljning av lufttät-hetsfrågorna.
- kravformulering (se vidare i avsnitt 4.4)
- vilken kompetens som handlas upp vid val av projektörer och entreprenörer. Bland annat kan hänsyn tas till kompetens vid upphandling genom att värdera referensobjekt, rutiner, kvalitetssäkring för lufttätethet vid sidan om pris. För referensobjekt är det viktigt att det framgår att det är samma personal som anlitas i det offererade arbetet som i referensobjektet.
- att erbjuda utbildning/information från byggherrens sida för att uppmärksamma att lufttätetheten är en viktig aspekt som kommer att följas upp i projektet (kombineras gärna med fuktsäkert byggande och energieffektiva byggnader). ByggaBo-Dialogens utbildning eller delar härav är ett exempel på material som finns att tillgå. Utbildningen kombineras med fördel med utbildning i fuktsäkert byggande.
- det egna arbetet med att följa upp att kraven uppfylls.
- de konsekvenser som eventuellt formuleras om krav ej uppfylls.
- eventuella gratifikationer om kraven uppfylls eller vissa angivna nivåer nås.

4.4 Byggherrens krav för lufttät byggnad

Nedan följer ett flertal förslag till hur byggherren kan formulera krav, vem som är ansvarig för att kravet uppfylls och hur aktören skall verifiera att krav uppfylls. Byggherren kan välja de förslag som avspeglar ambitionsnivån bäst. Alternativt kan förslagen ses som inspiration till formulering av andra krav. Hur krav till ett projekt formuleras beror av många olika faktorer där valet av entreprenadform är en viktig sådan.

4.4.1 Projekteringsskede

Krav 1: En **ansvarig** för lufttätethetsfrågorna skall anges hos projektören.

Krav 2. Projekteringen skall ge förutsättningar för att byggnaden, med ett bra arbetsutförande under byggtiden, skall uppfylla **tätethetskravet** vid 50 Pa tryckskillnad (välj ett av alternativen)

Ambitionsnivå 1: Lufttätethet $\leq 0,2 \text{ l/m}^2\text{s}$ (luftläckagen har liten påverkan på ventilation, energianvändning, termiskt klimat mm)

Ambitionsnivå 2: Lufttätethet $\leq 0,4 \text{ l/m}^2\text{s}$ (luftläckagen har viss påverkan på ventilation, energianvändning, termiskt klimat mm)

Ambitionsnivå 3: Lufttätethet $\leq 0,6 \text{ l/m}^2\text{s}$ (luftläckagen har påverkan på ventilation, energianvändning, termiskt klimat mm)

Täthetskrav för fönster och dörrar kan anges separat. Exempelvis kan kravet vara att klass 4 skall uppfyllas avseende lufttätethet enligt EN 14351-1. Klass 4 innebär ett maximalt luftläckage om $3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ vid 100 Pa tryckskillnad (uppgift anges av leverantören av fönstren/dörrarna).

Beskrivning av hur täthetsprovningen skall genomföras anges under krav 10.

Krav 3. Projekteringen skall ge goda förutsättningar för lufttätethet som är **beständig** under byggnadens livslängd genom val av lösningar, material och materialkombinationer. Vid användning av tejp, tätningsmassor e dyl skall det visas att materialen är dokumenterat beständiga vid applicering mot de material som de monteras mot. Det är även viktigt att vidhäftningen är god vid de betingelser som råder (exempelvis temperatur).

Krav 4. Projektering för lufttät byggnad skall tydligt **redovisas** på detaljnivå (ritningar och beskrivning) för exempelvis

- hur genomföringar, otätheter och hål i det lufttätande skiktet kan undvikas
- genomföringar där dessa inte kan undvikas
- skarvar i det lufttätande skiktet
- anslutningar vid fönster, dörrar och takluckor
- anslutning av mellanbjälklag mot klimatskal
- anslutning mellan yttervägg/vindsbjälklag
- anslutningar mellan hanbjälklag/snedtak
- anslutningar mot betongkonstruktioner
- anslutningar mot stålkonstruktioner, pelare, limträbalkar etc
- anslutning av prefabricerade element
- konstruktioner mot mark
- en ”lufttätetsbeskrivning” till byggskedet där väsentliga arbetsmoment beskrivs som underlag för entreprenörens arbetsberedning och produktionsplanering. Även information om planerad kontroll av lufttätetheten beskrivs. Beskrivningarna användas vid upprättande av entreprenörens egenkontrollplan.

Hjälpmedel för byggherrens kontroll: Checklista finns i Bilaga 7.

Hjälpmedel för projektören: Exempel på olika lösningar finns redovisade i Bilaga 9. Checklistan i Bilaga 7 kan även användas av projektör.

4.4.2 Byggskede

Krav 5: En **ansvarig** för byggnadens lufttätethet utses av entreprenören. Denne leder det arbete som genomförs, ansvarar för egenkontroller och redovisar verifieringar till byggherren.

Krav 6: Uppstart/**arbetsplanering** skall utföras där arbetsmoment för lufttät byggnad planeras i samråd med projektör. En **plan för egenkontroller** av tekniska lösningar och arbetsutförande skall upprättas (se exempel i Bilaga 8).

Krav 7: Utbildning av personal på byggarbetsplats (bygg-, el-, ventilation-, VVS-personal) skall genomföras innan arbetena påbörjas. Utbildningen kan motsvara information i ByggaBo-Dialogens utbildningsmaterial kompletterad med objektsanpassad information där man går igenom viktiga konstruktionsdetaljer.

Krav 8: Resultat från egenkontroller av tekniska lösningar och arbetsmoment skall dokumenteras. I dokumentationen skall även åtgärder av brister redovisas. Vid generella brister skall samtliga berörda på byggarbetsplatsen informeras.

Krav 9: Mätningar och läckagesökning skall genomföras **i tidigt skede**, när tätskikt är anbringat och fixerat och inga ytterligare håltagningar skall göras i det lufttätande skiktet. Utvärdering av förbättringsmöjligheter görs. Vid stora byggnader färdigställs en del av byggnaden tidigt där täthetsprovningen utförs. Tätheten skall vara bättre än kravet som anges nedan. Mätningen upprepas i x utrymmen.

Hjälpmedel: Mätmetoder och metoder för läckagesökning beskrivs i avsnitt 4.5.

Krav 10: Verifierande mätning skall genomföras **vid färdigställande** av byggnadens klimatskal och skall uppfylla täthetskravet vid 50 Pa tryckskillnad (välj en av nivåerna)

Ambitionsnivå 1: Lufttäthet $\leq 0,2 \text{ l/m}^2\text{s}$

Ambitionsnivå 2: Lufttäthet $\leq 0,4 \text{ l/m}^2\text{s}$

Ambitionsnivå 3: Lufttäthet $\leq 0,6 \text{ l/m}^2\text{s}$

Verifiering i små och stora byggnader: Täthetsprovning enligt EN13829:2000 med läckageredovisning skall redovisas minst x veckor före slutbesiktning.

Verifiering i stora byggnader, alternativ a: Ange om täthetskravet avser provresultat från provtryckning av enskilda brandceller, exempelvis lägenhet eller kontorsutrymme. Läckaget som uppmäts fördelas endast på klimatskärmens yta och man antar att läckaget gentemot övriga innetrymmen är noll. Motiveringen till detta förfarande är att man även stimulerar att de brandcellsskiljande konstruktionerna blir lufttäta. Detta är positivt med hänsyn till flera synpunkter, bland annat för att undvika spridning av lukter och ljud samt med hänsyn till brandsäkerhetsaspekter. Man bör även söka läckageställen mellan lägenheter med rök alternativt lufthastighetsmätare så att dessa kan åtgärdas.

Verifiering i stora byggnader, alternativ b: Ange om täthetskravet gäller endast klimatskärm då en del av byggnaden täthetsprovas. En sådan provning genomförs på så sätt att ett mottryck upprättas med hjälp av fläktar över innerväggar och vid behov mellanbjälklag. Genom detta förfarande säkerställs att läckaget genom innerväggen är noll och att det uppmätta luftläckaget härrör från klimatskärmen. Nackdelen är att mätningen blir mer komplicerad och kräver ett mer omfattande mätprogram än vad som behövs för alternativ a.

Hjälpmedel: Mätmetoder och metoder för läckagesökning beskrivs i avsnitt 4.5.

Exempel på krav i andra länder redovisas i Bilaga 5.

4.5 Exempel på mätmetoder och metoder för läckagesökning



Figur 4.2 Täthetsprovning med en fläkt som monterats i en dörröppning. En mindre fläkt av denna typ används oftast vid täthetsprovningar av mindre byggnader eller vid provning av en begränsad del av en stor byggnad.



Figur 4.3 Täthetsprovning med en stor fläkt vars kapacitet klarar stora byggnader såsom industrierhallar, kontorsbyggnader mm.

Den metod som används för verifiering av en byggnads lufttätethet är i de flesta fall en standardiserad metod som presenteras i EN 13829:2000. Metoden innebär att ventilationsdon tätas och en fläkt monteras i en öppning, oftast en dörr. Med hjälp av fläkten påförs ett över- respektive undertryck i byggnaden. Flödet som behövs för att åstadkomma en viss tryckskillnad över klimatskalet mäts. Det finns ett flertal konsulter som har utrustning för att utföra den typen av provning i små byggnader. När det kommer till

stora byggnader behövs större fläktar. Vid bl a SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut finns fläktar med tillhörande utrustning som har en kapacitet av cirka 70 000 m³/h. Vid stora hallar kan även två sådana stora fläktar användas för täthetsprovning.

I samband med täthetsprovningen kan läckagesökning utföras, vilket bäst utförs med hjälp av värmekamera. Förutsättningen är då att det finns en viss temperaturskillnad mellan ute och inne. Lokalisering av läckage kan även ske med hjälp av rök, lufthastighetsmätare eller med spårgas. Det senare är begränsat till lokalisering av läckage över lägenhetsskiljande väggar, bjälklag över kryprum etc.

Tidsåtgången för att genomföra en täthetsprovning varierar från objekt till objekt. En mindre och enkel mätning utförs under några timmar, medan stora och mer komplicerade byggnader kan ta någon eller några dagar i anspråk. Oftast genomförs även en läckagesökning i samband med täthetsprovningen och tidsåtgången för detta beror främst av hur omfattande läckagen är.

För att tidigt kunna utvärdera om de lösningar som utförs på arbetsplatsen är tillräckligt lufttäta är det viktigt att utveckla nya metoder för utvärdering av lufttätheten. Att åtgärda brister i lufttätheten blir svårt och dyrt om brister konstateras sent i projektet.

4.6 Goda exempel på lufttäta byggnader

Det finns ett flertal exempel på byggprojekt där man lyckats mycket väl med byggnadernas lufttäthet. I Bilaga 6 ges en kort presentation av några av dessa.

5 Sammanställning av informationsmaterial

I kapitel 2 har ett antal negativa konsekvenser av bristand lufttätethet redovisats. Dessa konsekvenser har så långt möjligt kvantifierats i tekniska eller beteendevetenskapliga termer, t ex energianvändning, ytemperaturer, andelen missnöjda eller relativ produktivitet. Dessa data har sedan värderats ekonomiskt i kapitel 3 med hjälp av en nyutvecklad kalkylmodell. Kalkylresultaten visar att en förbättrad lufttätethet oftast är lönsam för beställare/byggherre. Kapitel 4 ger sedan den hjälp som byggherren kan behöva för att ställa och följa upp krav på förbättrad lufttätethet.

Eftersom kunskapen om de tekniska och ekonomiska konsekvenserna av brister i lufttätetheten är svag i byggbranschen krävs speciell omtanke om hur resultaten från projektet skall redovisas för att på ett pedagogiskt bra sätt kunna nå berörda aktörer. Speciellt behöver resultatspridningen utformas för att motivera och uppmärksamma byggherrar på vikten av att ställa tydliga krav.

Baserat på de projektresultat som redovisats i kapitel 2, 3 och 4 har Eric Werner, Tecknaren AB, arbetat fram ett informationsmaterial om lufttätt byggande.

”Tidningen” *Lufttätethets Lov* på fyra sidor innehåller de viktigaste projektresultaten och är avsedd att spridas i hela byggsektorn. Rubriker som ”Lufttätt möglar inte”, ”Dyra luftläckor” och ”Fuktskador av luftläckage” väcker intresset och skapar förståelse för behovet av lufttätethet.

Affischen ”*Täta tätt!*” i A3-format eller större är avsedd att hängas upp i byggbodar och korridorer för att göra olika aktörer inom byggsektorn uppmärksamma på behovet av bättre lufttätethet.

PowerPoint-presentationen ”*Otätetheten suger*” innehåller ca 50 bilder med kommentarer om konsekvenser och kostnader av bristande lufttätethet. Dessa bilder är avsedda att användas vid möten, seminarier etc för att övertyga om vikten av att bygga lufttätt.

Slutligen har en populärversion av projektets slutrapport, ”*Lufttätethets Handbok – Problem och möjligheter*”, tagits fram med de viktigaste resultaten och deras bakgrund. Detta är förhoppningsvis en form av projektredovisning som ett stort antal aktörer inom byggsektorn har nytta av.

Informationsmaterialet kommer förhoppningsvis att utnyttjas i många sammanhang för att öka förståelsen för behovet av god lufttätethet och för vilka konsekvenser dålig lufttätethet kan medföra.

Allt informationsmaterial kommer att finnas tillgängligt på bl a SPs hemsida för att laddas ner utan kostnad.

Referenser

Allmänt

Sandberg, P.I. och Sikander, E., 2004. Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning. SP RAPPORT 2004:22 från SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Sandberg, P.I. and Sikander, E., 2005. Airtightness issues in the building process. Proceedings of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, pp 420 - 427.

Ökad energianvändning

Abel E., Andersson L., Blomsterberg Å., Dubinski K., Handa K., Hansson T., Johnson A., Kärrholm G., Persson M., 1978, Ofrivillig ventilation - Förutsättningar och betydelse för byggnaders värmebalans, Rapport R34:1978, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Arnetz M. och Malmberg A., 2006. Energisparande åtgärder ur ett livscykelperspektiv- Variationer av ett flerbosstadshus med fokus på ökad lufttäthet. Examensarbete 2006:48, Institutionen för bygg- och miljöteknik, Chalmers Tekniska Högskola

Bankvall C., 1978. Forced Convection: Practical Thermal Conductivity in an Insulated Structure Under the Influence of Workmanship and Wind, Thermal Transmission Measurements of Insulations. ASTM STP 660, American Society for Testing and Materials

Bankvall C., 1981. Byggnadskonstruktioners värmeisoleringsförmåga; Inverkan av lufttrörelser och arbetsutförande. T18: 1981, Byggforskningsrådet, Stockholm

Byggforsk, 2003. Infiltrasjon og lufttetthet til bygninger – Statusrapport. Oppdragsrapport 9986, 2003-04-11, Norge

Emmerich S. and Persily A., 1998. Energy impact of infiltration and ventilatoin in U.S. office buildings using multizone airflow simulation. Proceedings of Indoor Air Quality and Energy, New Orleans, October 1998

Emmerich S. and Persily A., 2005. Airtightness of commercial buildings in the US. 26th AIVC Conference, Brussels, Belgium, September 2005

Emmerich S., McDowell T. and Anis W., 2005. Investigation of the impact of commercial building envelope airtightness in HVAC energy use. NIST National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7238, USA

Herrlin, M., 1992. Air-Flow Studies in Multizone Buildings. Bulletin no 23 from Department of Building Services Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm

Holmer B., 1987. Klimatets inverkan på energianvändningen i småhus. Rapport R92:1987, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Irving S., 1994. Air-to-air heat recovery in ventilation. Technical Note AIVC 45, Annex V, Air Infiltration and Ventilation Centre, IEA

Lindh A., Lindskoug N-E. och Nylund P.O., 1989. Byggnaders lufttäthet. Rapport R38:1979, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Roots P., 1997. Heat Transfer Through a Well Insulated External Wooden Frame Wall. Doctoral thesis, Report TVBH-1009, Department of Building Technology, Building Physics, Lund University

Sasic Kalagasidis A., 2004. HAM-Tools - An Integrated Simulation Tool for Heat, Air and Moisture Transfer Analyses in Building Physics. Doktorsavhandling, Avdelningen för byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Serkitjij M. and Sasic Kalagasidis A., 2004. Practical consequences of the altered thermal performance of the attic loose-fill insulation due to induced air movement. International Thermal Science Seminar (ITSS), Slovenia 2004

Uvsløkk S., 1996. The Importance of Wind Barriers for Insulated Timber Frame Constructions. Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes, Vol 20, July 1996

Woods T., 2006. The next big energy savings frontier: Airtight building envelopes. 5th Edition Online Newsletter Articles, Building Envelope Forum, June 2006
<http://www.buildingenvelopeforum.com/archives.htm>

Termisk komfort och luftkvalitet

Clavensjö, B. och Åkerblom, G., 2003. Radonboken. Formas T3:2003, Stockholm

ISO, 2005. International standard 7730, Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort

Olesen, B. W., 2005. Indoor environment – health-comfort and productivity. Proceedings of Clima 2005, Lausanne, Oct 2005

Seppänen, O. and Fisk W., 2005. A procedure to estimate the cost effectiveness of indoor environmental improvements in office work. Proceedings of Clima 2005, Lausanne, Oct 2005

Seppänen, O. and Fisk, W.J., 2005. Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or health. Proceedings, Indoor Air 2005, Beijing, China

Wargocki, P. and Djukanovic, R., 2003. Estimate of an economic benefit from investment in improved indoor air quality in an office building. Healthy Buildings 2003

Lönsamhet

Boström, T., Glad, W., Isaksson, C., Karlsson, F., Persson, M-L. och Werner, A., 2003. Tvärvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park. Arbetsnotat Nr 25, Linköpings universitet

Claesson, K., Jirebäck, M. och Larsson, B., 2005. Kalkylera med ny byggt teknik - visa att man kan bygga bättre.

Olesen, B.W., 2005. Indoor Environment-Health-Comfort and Productivity. Proceedings of Clima 2005, Lausanne, Oct 2005

Seppänen, O. and Fisk, W.J., 2005. Some Quantitative Relations between Environmental Quality and Work Performance or Health. Proceedings, Indoor Air 2005, pp 40-52

Seppänen, O., Fisk, W.J. and Berkeley, 2005. A Procedure to Estimate the Cost effectiveness of Indoor Environmental Improvements in Office Work. Clima 2005

Seppänen, O., Fisk, W.J. and Lei, Q.H., 2006. Room Temperature and Productivity in Office Work. Proceedings of Healthy Buildings 2006, pp 243-247

White NCC Passivhus (2005)

Byggherrens krav

Malmqvist, I. och Ryd, N., 2006. Verktyg och hjälpmedel för Byggherrens kravformulering i tidiga skeden. Institutionen för Arkitektur, CTH, Publikation 2006:09

Sikander, E., 2005. Byggherrens arbete för fuktsäker byggnad. Krav, uppföljning, hjälpmedel och erfarenheter. FoU-Väst rapport 0504.

Sikander E. et al, 2004. The building developer's requirements, management and verification to ensure dry buildings by moisture control. Proceedings of Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings IX.

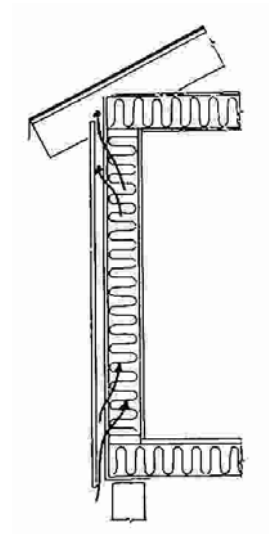
Bilaga 1. Projektorganisation

Projektledare	Claes Bankvall, SP
Projektsamordnare	Pär Åhman, BI Väst
Styrgrupp	Claes Bankvall, SP Pär Åhman, BI Väst Per Ingvar Sandberg, SP Eva Sikander, SP Bengt Larsson, Höskolan i Halmstad/Chalmers Paula Wahlgren Chalmers Byggnadsfysik/SP Anders Larsson, Egnahemsbolaget Leif Andersson, Bostadsbolaget Staffan Nordén, Akademiska Hus Rolf Jonsson, Väst-Bygg Stellan Börjesson/Johan Alte, SBS Gert Freiholtz, Peab
Ansvariga för delprojekt:	
Konsekvenser	Per Ingvar Sandberg och Paula Wahlgren
Lönsamhet	Bengt Larsson
Byggherrens krav	Eva Sikander
Informationsmaterial	Eric Werner

Bilaga 2. Försämrade värmeisolering pga luftströrelser

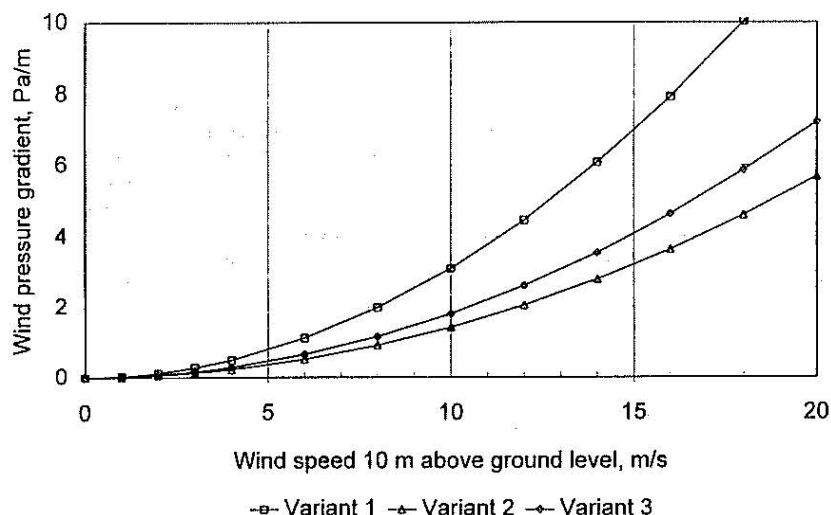
De flesta studier inom det här området är gjorda på väggar, med och utan brister i arbetsutförandet, men det finns även information om vad som händer på vindar med lösull.

I de aktuella undersökningarna blåser det på och inuti byggnadsdelen, luften tar med sig värme och transporterar sedan ut värmen igen. Detta illustreras i Figur 2.A (från Uvsløkk, 1996). Luftens väg i konstruktionen kan vara kortare eller längre men i samtliga fall är drivkraften för luftströmmen ett vindtryck på byggnadsdelen.



Figur 2.A. Anblåsning i en regelvägg (från Uvsløkk, 1996).

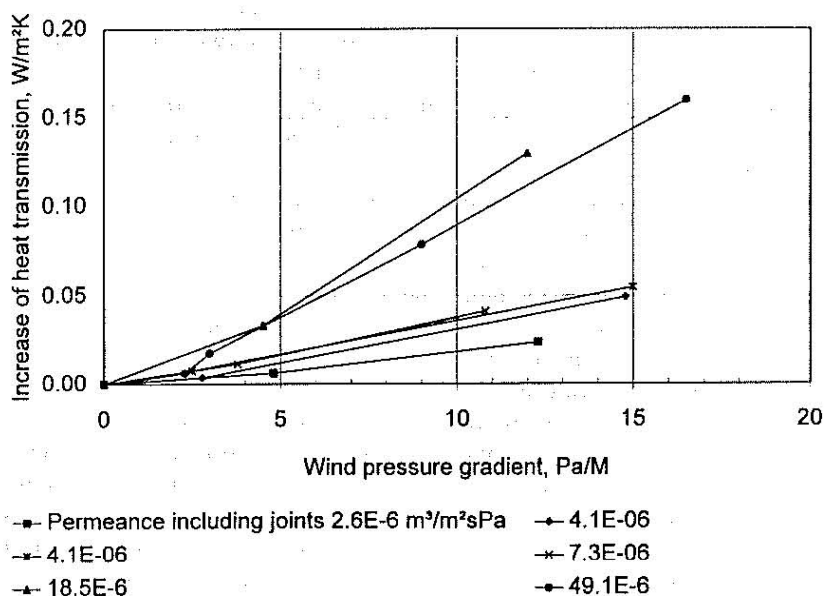
Den ökade värmeförlusten pga. luftströrelser i byggnadsdelen uttrycks antingen som en ökning i värmetransmissionen, vilket motsvarar ett ΔU -värde ($\text{W/m}^2\text{K}$) eller en procentuell ökning av värmetransmissionen från insidan. Hur mycket värmetransmissionen ökar beror naturligtvis på hur stor luftströmmen är och detta är i sin tur en funktion av tryckgradienten i byggnadsdelen, vilken har skapats av vinden. Följande diagram visar ett exempel på en uppmätt tryckgradient i luftspalten bakom en träfasad och hur denna påverkas av vindhastigheten utanför byggnaden, mätt på 10 meters höjd. Väggens konstruktion är följande (utifrån): träfasad, luftspalt, vindskydd, isolering (mineralull) mellan reglar, plastfolie och gipsskiva.



Figur 2.B. Tryckgradient i en luftspalt bakom en träfasad som funktion av vindhastighet mätt 10 meter ovan mark. Medeltryckgradient för en byggnads fyra väggar redovisas. Kurvorna representerar tre olika spaltkonstruktioner där inlopp och utlopp är olika och där variant 1 är mest öppen (efter Uvsløkk, 1996).

Uvsløkk redovisar även den maximala tryckgradienten, dvs. tryckgradienten för väggdelen som har störst tryckgradient. Tryckgradienten är olika beroende på vindriktning och läge på väggen (t.ex. nära hörn). Grovt kan det sägas att den maximala tryckgradienten är ca. 5 gånger större än medeltryckgradienten.

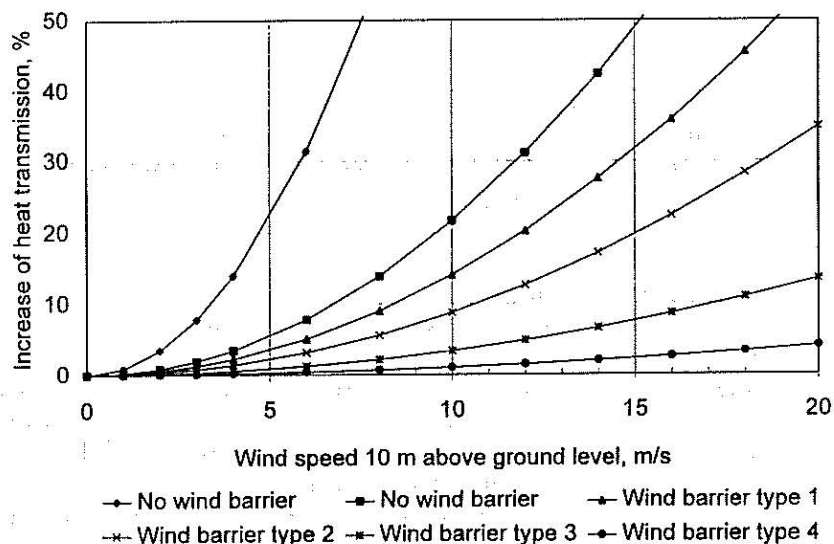
Tryckgradienten i sin tur orsakar en luftström som för med sig värme. Figur 2.C redovisar ökningen i transmissionsförluster som funktion av tryckgradient och för olika vindskydd (Uvsløkk, 1996).



Figur 2.C. Ökning i värmetransmission som funktion av tryckgradient bakom träfasad. De olika kurvorna representerar olika vindskydd med olika permeans (luftgenomsläpplighet).

När sedan den procentuella ökningen av transmissionsförlusterna plottas som funktion av vindhastigheten 10 meter ovan mark fås Figur 2.D. Diagrammet beskriver konstruktionsvariant 1, dvs. där inlopp och utlopp är som mest öppna. De två olika kurvorna utan vind-

skydd beskriver två olika sätt att montera isoleringen. De testade vindskydden har permeans (inklusive skarvar) på $4.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ (1), $1.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ (2) $0.73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ (3) och $0.22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ (4).



Figur 2.D. Procentuell ökning av transmissionsförluster för en vägg som funktion av vindhastighet 10 meter ovan mark. De olika kurvorna representerar olika vindskydd (Uvsløkk, 1996).

Enligt Uvsløkk är vindskyddspermeanser på $4.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ (1) och $1.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ (2) vanligt förekommande i Sverige, medan det i Norge är vanligt med de två lägre permeanserna (3) och (4). Byggforsk (The Norwegian Building Research Institute, NBI) rekommenderar nu en övre gräns för permeans hos vindskydd (med skarvar) på $1.4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$.

Som framgår av Figur 2.D resulterar en permeans på $4.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ i en 20 procentig ökning av transmissionsförlusterna vid en vindhastighet på 10 m/s och i en ungefär 60 procentig ökning av transmissionsförlusterna vid en vindhastighet på 20 m/s, mätt på 10 meters höjd. Uvsløkk redovisar även maximala transmissionsförluster, dvs. för en viss del av en vägg. För en vindhastighet på 10 m/s erhålls en ökning av energiförlusterna på ca. 50 % (för permeans $4.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$).

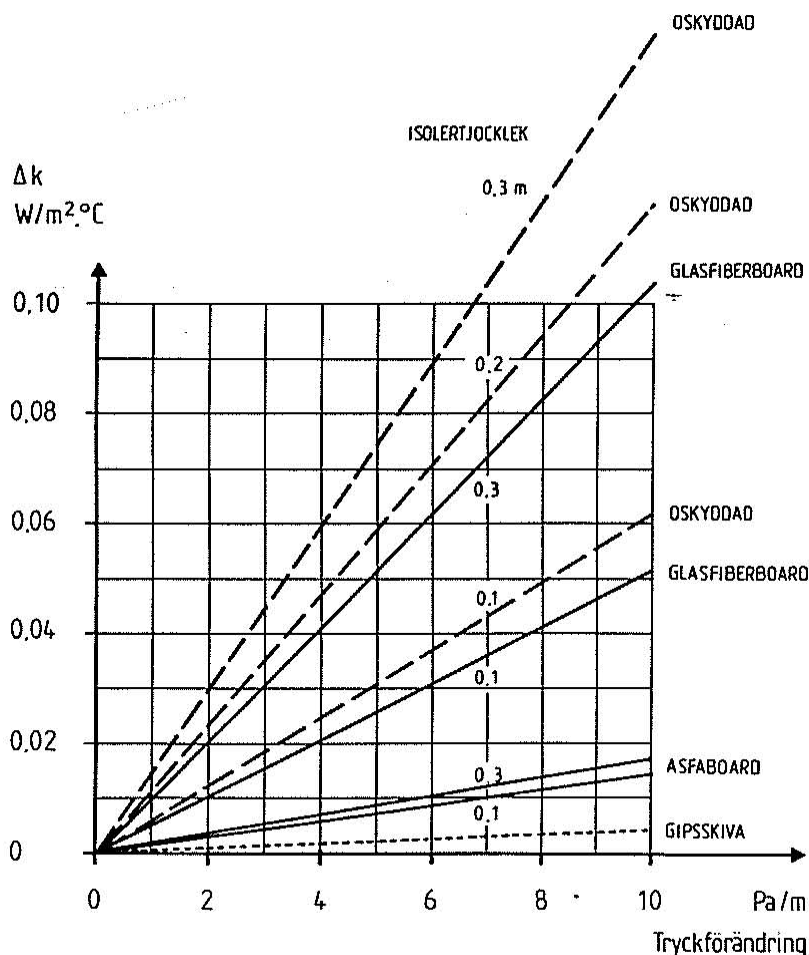
Om informationen i Figur 2.D kombineras med klimatdata för Göteborg (öppet läge, vind mätt på 10 meters höjd) fås på årsbasis en ökning av transmissionsförlusterna på 15 % för väggarna, när en permeans på $4.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ (med skarvar) antas för vindskyddet. För att uppskatta hur stor andel detta utgör i förhållande till hela husets värmeförlust antas grovt att en tredjedel av värmeförlusterna försvinner genom ventilationen, en tredjedel genom fönster och dörrar, och sista tredjedelen genom övriga klimatskalet. Eftersom väggarna står för mer än hälften av övriga klimatskalets förluster innebär detta att ökningen i värmeförluster, orsakad av att vinden anblåser isoleringen i väggarna, blir 3-4 % av den totala värmeförlusten i det här exemplet.

Slutsatsen är alltså att transmissionsförluster orsakade av normala otätheter uppgår till högst några procent.

Bankvall (1978) undersökte med mätningar och simuleringar en liknande väggkonstruktion som var isolerad med glasull ($\rho = 16 \text{ kg}/\text{m}^3$). Tryckgradienten i luftspalten utanför

vindskyddet var 0.7 Pa/m och minskningen i värmemotstånd undersöktes för tre olika vindskyddsfall: utan vindskydd, med asfaltimpregnerad porös fiberboard och med mineralullsskiva. Den asfaltimpregnerade porösa fiberboarden hade en luftgenomsläpplighet på $3.8 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ (vilket är något högre än det tidigare nämnda norska kravet). Mineralullsskivan hade en luftgenomsläpplighet på $150 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, vilket är ca. 60 gånger högre än det norska kravet. För väggkonstruktionen med den impregnerade fiberboarden uppmättes ingen reduktion av väggens värmemotstånd (för den aktuella tryckskillnaden). Mineralullsskivan gav en minskning på några procent värmemotstånd och utan vindskydd var minskningen knappt 10 %. Motsvarande undersökning gjordes även där det fanns en vertikal springa i glasullsisoleringen. Värmemotståndet försämrades då något mer. I det värsta fallet, utan vindskydd, reducerades värmemotståndet till 60 % av det ursprungliga.

I Bankvall (1981) finns följande beräkningar för väggar med olika isolertjocklek och olika vindskydd. Försämringen i väggens värmemotstånd uttrycks som ett Δk -värde, vilket motsvarar ett ΔU -värde ($\text{W/m}^2\text{K}$).



Figur 2.E. Anblåsningens inverkan på värmegenomgångskoefficienten för en regelvägg med varierande isolertjocklek och vindskydd (Bankvall, 1981).

Av Figur 2.E kan utläsas att asfaboarden är ett bra vindskydd och likaså gipskivan (där luft mestadels läcker i skarvar mellan skivor). Konstruktionen utan vindskydd, men även konstruktionen med glasfiberboard, får stora ΔU -påslag.

I Roots (1997) undersöks även där hur transmissionsförluster genom väggar påverkas av luftströmningar i väggar. Arbetet beskriver hur värmeförlusten genom en vägg påverkas av en kortling, ett elrör, en luftspalt, springor i isoleringen, kombinationer av dessa samt av arbetsutförandet. Arbetsutförandet studerades genom att montera och demontera glasfiberskivor tre gånger och mäta U-värdet hos konstruktionen tre gånger. Den uppmätta värmetransporten genom väggen varierade med 12.5%, antagligen beroende på att det bildades en luftspalt i konstruktionen. Kortling, elrör, luftspalt, springor i isoleringen och kombinationer av dessa resulterade endast i liten eller ingen effekt på U-värdet. Detta förklaras med att de endast utgör en liten del av väggytan. Ifall det finns genomgående springor i konstruktionen har kortling osv. en påverkan på U-värdet.

I ventilerade kallvindar utsätts isoleringen på bjälklaget för luft som rör sig. Denna tas oftast in vid takfoten, passerar över en vindavledare och rör sig vidare in i vindsutrymmet. Om konstruktionen är genomtänkt och arbetsutförandet är gott, påverkar inte ventilationsluften nämnvärt vindsbjälklagets värmeisolerande förmåga. Ifall däremot exempelvis vindavledarna är bristfälligt monterade kan ventilationsluften blåsa ner i isoleringen och minska värmeisoleringsförmågan.

Detta har undersökts av Serkitjij och Sasic (2004). De har gjort mätningar av hur isoleringsförmågan hos ett lager isoleringsmaterial påverkas av en luftström ovanför materialet. För att undersöka hur vinden har påverkat energianvändningen under uppvärmningssäsongen (november till mars) har sedan uppmätta vindhastigheter för södra Sverige gjorts om till lufthastigheter i vindsutrymmet, samt simulerats tillsammans med de uppmätta förhållandena mellan värmetransport genom bjälklaget och vindhastighet i vindsutrymmet. Resultat redovisas för en mycket luftgenomsläpplig mineralull med densiteten 8-9 kg/m³ (vilket normalt inte används i Sverige). För detta material orsakar vinden över isoleringen en ökning av energiförlusterna genom vindsbjälklaget på 35 % (från 282 kWh till 380 kWh).

Bilaga 3. Bristande lufttätthet i småhus

Orsak, bakgrund till lufttrörelser	orsak hustyp, byggnadsdel omfattning skadeutredning	Hustyp: 2-plans enfamiljshus (totalt 45 hus) Bakgrund till lufttrörelser: 1. Anslutning vid mellanbjälklag och yttervägg har bristande lufttätthet. 2. Bristande lufttätthet vid drevning fönster och dörrar Orsak: 1. Plastfolien i yttervägg monterades inte enligt hustillverkarens ritning. 2. Packad isolering av mineralull visade sig inte ge lufttät drevning Omfattning. 1. I stort sett hela anslutningen 2. Mycket stor omfattning, dock inte alla fönster och dörrar Skadeutredning. Termografering och enstaka täthetsprovningar
Skada/olägenhet	kvalitativ beskrivning	Olägenhet. Husägarna klagar på kalla golv (övre planet), att de inte får önskad temperaturen när det är kallt ute, drag och höga uppvärmningskostnader. Byggföretaget som utfört entreprenaden har utfört omfattande åtgärder för att komma tillrätta med bristerna
Kvantifiering, tekniskt	konsekvenser	Kvantifiering. De enstaka täthetsmätningar som utförts har visat på otäthetsfaktorer $> 1,5 \text{ l/sm}^2$ Golvtemperatur? Lufthastighet? Merkostnader för uppvärmning?
Vad kunde gjorts annorlunda?		1. En genomgång av handlingar inför det att entreprenaden påbörjades hade gett förutsättning till att problemen undvikits framförallt för problem 1. 2. När de första husen var klara skulle täthetsmätningar samt läcksökning med värmekamera utförts för att få reda på var läckage fanns.
Kvantifiering ekonomiskt	principer kostnader för åtgärder alt. konsekvenser	Kostnader om åtgärder inte görs Höja lufttemperaturen → Kostnad Ändra klädsel, tofflor → ? Ändra möblering → ? Kan inte utnyttja $x \text{ m}^2$ → Kostnad Innehållen köpeskilling → Kostnad Vad kostar åtgärderna? Se nedan: 105 kkr/hus Andra kostnader? Bad will → Indirekt kostnad Klagomålshantering → Indirekt kostnad

Åtgärdsprincip. 1. Vägglivet frilades utvändigt (som tur var är det liggande panel vid vägglivet) för att åtgärda inblåsning i bjälklaget och invändigt fogades anslutningen mellan golv och vägg
2. Foder lossades på insida fönster och dörrar så att en bottningslist kunde monteras i drevet och därefter lades en fogsträng
Kostnader för samtliga åtgärder inkl utredningskostnader.
105 kkr/hus
Erfarenheten av åtgärderna är att husägarna numera är mycket nöjda med sina hus, dvs åtgärderna har gett de funktioner som husen borde haft från början, men till en mycket hög kostnad.

Bilaga 4. Fuktkonvektion i simhall

Orsak, bakgrund till lufrörelser	orsak hustyp, byggnads- del omfattning skadeutredning	Simhall, del över bassängen samt övre delen av ytter- vägg mot norr. Luftläckage i vindsbjälklag, otäta anslutningar mellan ytterväggar och vindsbjälklag vid uppförandet. Fuktkonvektion Fukt- och mögelskador konstaterade. Rötskador kon- staterade i råspont (ca 1/3-del av ytan). Övertryck i hall jämfört med vindsutrymme. Fuktillskott i vinds- utrymme 3 g/m ³ .
Skada/olägenhet	kvalitativ beskriv- ning	Mögelpåväxt på stora ytor, tydlig unken lukt i vinds- utrymme. Rötskador i råspont.
Kvantifiering, tekniskt	konsekvenser	Risk för luktpåverkan på inommiljön Risk för konstruktionens bärlast råsponten, på sikt takstolar. Missfärgning av tegelfasad. På sikt hållfasthetsför- sämring
Vad kunde gjorts an- norlunda?		Annorlunda konstruktionsval alternativt detaljutform- ning av det luft- och diffusionstätande skiktet.
Kvantifiering ekono- miskt	principer kostnader för åt- gärder alt. kon- sekvenser	Vad gör man när skadan upptäcks? Täta → Kostnad Renovera → Kostnad Uteblivna intäkter under renovering → Kostnad Klagomålshantering → Indirekt kostnad Bad will för kommun → Indirekt kostnad Bad will för badhus → Indirekt kostnad Personalomsättning → Kostnad Vilka konsekvenser kan uppkomma innan fuktskadan upptäcks? Dålig lukt → Klagomål → Indirekt kostnad Ohälsa personal → Kostnad Bad will → Indirekt kostnad Risk för takras → ?

Bilaga 5. Exempel på krav i andra länder

Norge

Byggnormen i Norge anger att följande täthetskrav skall underskridas:

- 4 oms/h för småhus och radhus (vid 50 Pa tryckskillnad)
- 3 oms/h för andra byggnader upp till 2 våningar
- 1,5 oms/h för andra byggnader över 2 våningar

I Norge finns förslag att kräva en lufttäthet om 1,5 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad för alla hus. Det motsvarar

a. cirka 0,34 l/m²s om man antar att det avser ett 10 m brett och 10 m långt 1-planshus med 2,40 meter i takhöjd.

b. cirka 0,6 l/m²s om man antar att det avser ett 10 m brett och 20 m långt 2-planshus med 2,40 meter i takhöjd.

Danmark

Byggnormen i Danmark anger att luftläckaget genom klimatskalet inte skall överskrida 1,5 l/sm² uppvärmd lägenhetsyta. Detta motsvarar cirka 0,5 l/m²s (där ytan är den omslutande ytan mot ute och mark) om man förutsätter en byggnad som är 10 meter lång, 10 meter bred och med takhöjden 2,4 meter.

Finland

Byggnormen i Finland anger att luftläckaget bör underskrida 1 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad för att ventilationssystemet skall fungera. Reglerna håller på att revideras.

Tyskland och Österrike

I Tyskland anges olika täthetskrav beroende om byggnaden har mekanisk ventilation eller inte. För ventilerade byggnader skall lufttätheten vara bättre än 1,5 oms/h medan byggnader utan ventilation skall ha bättre lufttäthet än 3,0 oms/h.

Passivhusstandard

I Tyskland har kriterier för passivhus formulerats där lufttätheten skall vara bättre än 0,6 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad . [www.passivhaus-info.de].

Bilaga 6. Goda exempel på lufttäta byggnader

Det finns ett flertal exempel på byggprojekt där man lyckats mycket väl med byggnadernas lufttätethet. Nedan följer en kort presentation av några av dessa.

Radhus i Glumslöv – AB Landskronahem



Bildtext: Kvarteret Nornan i Glumslöv är ett exempel på lufttäta och energieffektiva hus. Foto: Karin Adlberth, prime project AB.

Byggherre: AB Landskronahem respektive.
 Projektledare: prime project AB
 Entreprenadform: Generalentreprenad
 Byggår: 2004-2005
 Byggbjekt: 35 lägenheter i radhus och parhus uppförda i 1 respektive 2 plan.
 Täthetsresultat: 0,1 l/m²s
 Bakgrund till krav:

Byggherren gav projektledaren i uppdrag att uppföra lägenheter med kravet att en viss (låg) kostnad per kvadratmeter och år skulle uppföras. För att kunna uppfylla kravet var det nödvändigt att husen använder mycket lite energi under driftskedet. För att få låg energianvändning identifierades behovet av att bygga med god lufttätethet.

Krav:

Projektledaren ställde i samband med upphandling av entreprenör ett krav på att byggnadens täthet skulle vara maximalt 0,16 l/m²s (5 gånger tätare än BBR's krav på lufttätethet vid byggtillfället).

Byggherrens arbete och uppföljning av krav:

Projektledaren genomförde ett antal aktiviteter som visar på hög ambitionsnivå från byggherrens och projektledarens sida. Bland annat har följande genomförts

- Specialist anlätades för rådgivning, detaljritning och kontroll av täthetslösningar under projekterings-skedet
- Projektledaren specialutbildade två snickare i lösningar för god lufttätethet. Endast dessa personer monterade tätskiktet och lagade eventuella genomföringar.
- Projektledaren gjorde dagliga kontroller avseende arbetsutförandet för lufttäta konstruktioner.
- Tätheten kontrollerades med täthetsprovningar.

Konstruktionsutförning:

Husen är uppförda med träregelstomme med indragen luftspärr av PE-folie. Grundläggningen är platta på mark med underliggande isolering. Skarvar och anslutningar i luftspärren är tätade med dubbelhäftande bitumenband.

Lindås - Egnahemsbolaget



Bildtext: Söder respektive norrfasaden på ett av lågenergihusen i Lindås.

Byggherre och projektledare:	Egnahemsbolaget
Byggår:	2001
Byggobjekt:	20 radhuslägenheter fördelade på 4 huskroppar.
Konstruktionsutformning:	Träregelkonstruktioner med indragen plastfolie.
Täthetsresultat:	0,2-0,4 l/m ² s (mätningar utfördes stickprovsmässigt, inte i alla lägenheter)
Krav/målformulering:	Byggherren använde de förslag som lämnades inom ett forskningsprojekt som var kopplat till projektet. En ändring som dock genomfördes var att kravdokumentet döptes om till kvalitetsdokument med målvärden. Målvärdet för lufttäthet vid täthetsprovning vid 50 Pa var maximalt 0,2 l/m ² s.

Täthetskravet för fönster var att de skulle uppfylla klass D enligt SS 81 81 03 (denna standard har numera ersatts av EN14351-1) .

Byggherrens arbete och uppföljning av krav:

- Forskargruppen gick igenom projekterade handlingar, bl a avseende lufttäthet
- En tidig uppföljning av färdiga resultatet gjordes. Första huset täthetsprovades när pe-folien och skivbeklädnader var monterade så att brister kunde åtgärdas.

Erfarenheter från entreprenören i detta projekt är bland annat att det är viktigt att berörda byggnadsarbetare och installatörer förstår vikten av att bygga lufttätt och att omsorg visas om detaljutformning.

Frillesås – Eksta Bostads AB

Bildtext: En av huskropparna i Frillesås byggda i två våningar. Foto: Ulla Jansson, LTH

Byggherre: Ekstahus
 Byggår: 2005-2006
 Byggobjekt: Flerbostadshus i två våningar med totalt tolv lägenheter i tre byggnader.
 Konstruktionsutformning:

Grundkonstruktionen utgörs av platta på mark och mellanbjälklagen utgörs av betongbjälklag. Den bärande stommen är av stål, men ytterväggarna utgörs av träregelväggar. Det lufttätande skiktet är draget utanför mellanbjälklaget.

Täthetsresultat:

Tre lägenheter provades i tidigt skede. De uppmätta läckagen var 0,15, 0,18 respektive 0,33 l/m²s. I lägenheter med det största läckaget konstaterades att otätheterna framförallt fanns mot intilliggande lägenheter. Provningsen genomfördes utan mottryck i intilliggande lägenheter.

Vid den slutliga verifierande mätningen i samtliga lägenheter provades tätheten både med och utan mottryck i intilliggande lägenheter. Resultatet utan mottryck i intilliggande lägenheter varierade mellan 0,11 och 0,33 l/m²s, flertalet dock lägre än 0,25 l/m²s. Resultatet vid provning med stödtryck i intilliggande lägenheter gav lägre resultat, 0,08 respektive 0,11 l/m²s. Se exempel på resultat i tabell nedan.

	B1	B2
Lufttäthet vid ± 50 Pa, utan mottryck	0,11	0,15
Lufttäthet vid ± 50 Pa, med mottryck	0,08	0,11

Krav:

- Kravet var att luftläckaget skulle vara högst $0,25 \text{ l/m}^2\text{s}$.
- Kravet gällde varje lägenhet utan stödtryck i intilliggande lägenheter.
- Täthetsprovning i tidigt skede har krävts av byggherren
- Alla lägenheter skulle provas (12 st)
- Kravet omfattade även läckagesökning med termografering
- Det angavs av byggherren att särskild omsorg skulle ägnas åt anslutningar, av lufttätning mot bjälklag, fönster, dörrar och genomföringar
- Det lufttätande skiktet skulle skyddas mot tryckförändringar och perforeringar

Kommentarer från byggherren: Informationen om lufttäthetens betydelse samt utbildning i täthetsfrågorna hade stor betydelse för slutresultatet.

Oxtorget - Finnvedsbostäder



Bildtext: Lågenergihusen Oxtorget i Värnamo har åtta lägenheter i varje huskropp. Foto: Ulla Jansson, LTH.

Byggherre: Finnvedsbostäder
 Byggår: 2005-2006
 Byggobjekt: 5 stycken flerbostadshus med 8 lägenheter i varje. Antalet våningar varierar mellan 2 och 2,5 våningar.
 Konstruktionsutformning: Betongstomme med utfackningsväggar utförd med lätt stomme. Lägenhetsskiljande väggar och bjälklag i betong. Översta våningarna har parallelltak. Burspråk förekommer.

Krav:

- Högst 0,2 l/m²s
- Täthetsprovning av alla lägenheter
- Läckaget fördelas på lägenhetens "kalla yta", dvs ev läckage till angränsande lägenheter fördelades på klimatskalet. Inget mottryck i angränsande lägenheter.

Täthetsresultat: I medeltal under 0,2 l/m²s.

Tillvägagångssätt:

De första lägenheterna provades i tidigt skede och läckor identifierades. De som arbetade med stommen var med och såg brister och hur förbättringar kunde ske och lärde sig på så sätt goda tekniska lösningar som tillämpades fortsättningsvis. En lägenhet täthetsprovades 4-5 gånger innan resultatet var tillfredsställande.

De konstruktionsdelar som var svårast att bygga lufttäta varnock i ryggåstak samt burspråk.

Fjogstad-Hus Sandnes AS

Det finns exempel på byggande i Norge där man nått så låga luftläckage som 0,2 oms/h och i något fall 0,1 oms/h. I dessa byggnader har man utfört lufttätheten i två steg.

Steg 1: Byggnadens vindskydd i byggnadsskalets yttre del monteras lufttätt och täthetsprovas. Lufttätheten uppmättes till 0,3 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad.

Steg 2: Byggnadsskalet kompletteras med isolering, plastfolie på insidan samt väggbeklädnad och täthetsprovas. Lufttätheten uppmättes till 0,2 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad.

Företaget har blivit uppmärksammat i Norge för sin utveckling av lufttäta byggnader.

Källa: AIVC, Air, Vol 27, no 4, september 2006

Bilaga 7. Enkel checklista för byggherrens uppföljning av projektering

Lufttäthetsdetalj	Punkter som bör finnas med i projektörens egenkontrollplan/redovisat i ritning/beskrivning	Hänvisning (ritning alt 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 bilaga 9 samt 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 tex burspråk, terrasser.	
Anslutningar vid fönster, dörrar och takluckor	Val av anslutningsutförande mellan karm och väggkonstruktion/väggregel, se bilaga 9. Några vanliga anslutningsutföranden är • Fogmassa • Tätrensa • Svällband	
	Val av anslutningsutförande mot konstruktionens lufttätande skikt, se bilaga 9. 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/tätrensa mellan regel/syll/hammarband och betong, se bilaga 9. 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, se vidare i bilaga 9.	

	Val av anslutning mellan tätskikt och regel/syll/hammarband, se bilaga 9. Några vanliga anslutningsutföranden är klämning av tätskiktet mellan två regler, mellan regel och skiva eller mellan skivor.	
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, se bilaga 9. Vanliga lösningar är exempelvis • manschetter och kragar som kan köpas i detaljhandeln eller hos olika leverantörer för att kunna göra lufttäta genomföringar. Kontrollera manchettens 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 tejpnings osv.	

Bilaga 8. Enkel checklista för byggherrens kontroll av entreprenörens egenkontroller/Exempel på kontrollplan för lufttätt byggande

Lufttätetsdetalj	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, tex 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 9. Sammanställning av luftläckage vid olika utföranden

Sammanställningen kan endast användas för jämförelse mellan olika lösningar. Storleksordningen av läckaget är beroende av arbetsutförandet i det enskilda fallet.

Observera också att den slutliga konstruktionens lufttätethet även påverkas av de övriga materialen i konstruktionen. Exempelvis bidrar ett väl monterat vindskydd till lufttäteten.

Overview leakage measurements from literature (mostly Swedish)

Each table is sorted with lowest value of airflow in m^3/hm or m^3/h at 10 Pa.

In the column after the description there can be a number – that is case number in the reference. A plus or minus is information on over- or underpressure measurements.

		q10 pa		q 50 pa		
Leakage Window/wall		m^3/hm	m^3/h	m^3/hm	m^3/h	
Tabell över mätningar av lufttätethet						reference
Window wall joint polyurethanfoam		0.00				PR95
Window wall joint polyurethanfoam		0.00				PR95
Window wall joint polyurethanfoam		0.00				PR95
Window wall joint polyurethanfoam		0.00				PR95
Window wall joint with Polyurethane foam		0.00		0.00		HJ84
Window wall joint with fiberglass + wrap of PE-foil		0.00				PR95
Window wall joint with internal casing tape + fiberglass		0.00				PR95
Window wall joint with fiberglass + wrap of PE-foil		0.00				PR95
Window wall joint with internal casing tape + fiberglass		0.00				PR95
Window wall joint with internal casing tape + fiberglass		0.00				PR95
Window wall joint with mineral wool packing and rubber "strip"		0.01		0.03		HJ84
Window wall joint with internal casing tape + fiberglass		0.01				PR95
Window wall joint with fiberglass + wrap of PE-foil		0.01				PR95
Window wall joint with internal casing tape + fiberglass		0.01				PR95
Window wall joint with fiberglass + wrap of PE-foil		0.01				PR95
Window wall joint with mineral wool packing and elastic compound		0.01		0.03		HJ84
Window wall joint with fiberglass + wrap of PE-foil		0.01				PR95
Window wall joint with fiberglass + PE-foil from wall stapled on window		0.01				PR95
Window wall joint with fiberglass + PE-foil from wall stapled on window		0.02				PR95
Window wall joint with fiberglass + PE-foil from wall stapled on window		0.02				PR95
Window wall joint with fiberglass + PE-foil from wall stapled on window		0.03				PR95
Window wall joint with polyethylene gasket + fiberglass		0.03				PR95
Window wall joint with polyethylene gasket + fiberglass		0.03				PR95

Window wall joint polyurethanfoam		0.05				PR95
Window wall joint with plastic coated and non coated mineral wool		0.06		0.22		HJ84
plastfolie ved fönstersmyg plast indragen, fogning ved plast/karm/regel, extra plast i smyg	1a+	0.07	0.35			JO04
Window wall joint with fiberglass + PE-foil from wall stapled on window		0.08				PR95
Window wall joint with polyethylene gasket + fiberglass		0.08				PR95
plastfolie ved fönstersmyg plast indragen, fogning ved plast/karm/regel, extra plast i smyg	1a-	0.10	0.49			JO04
Window wall joint with polyethylene gasket + fiberglass		0.14				PR95
Window wall joint with polyethylene gasket + fiberglass		0.14				PR95
plastfolie ved fönstersmyg klämning mot regler, fogning bröstning-regel	1d+	0.14	0.64			JO04
plastfolie ved fönstersmyg klämning mot regler, fogning bröstning-regel	1d-	0.15	0.72			JO04
Window wall joint with densely packed fiberglass		0.17				PR95
Window wall joint with mineral wool packing		0.32		1.29		HJ84
Window wall joint with densely packed fiberglass		0.36				PR95
Window wall joint with densely packed fiberglass		0.44				PR95
Window wall joint with densely packed fiberglass		0.51				PR95
Window wall joint with fiberglass packing		0.52				PR95
Window wall joint with densely packed fiberglass		0.53				PR95
plastfolie ved fönstersmyg klämning mot regler	1c+	0.57	2.67			JO04
Window wall joint with fiberglass packing		0.58				PR95
plastfolie ved fönstersmyg klämning mot regler	1c-	0.59	2.78			JO04
Window wall joint with fiberglass packing		0.60				PR95
plastfolie ved fönstersmyg plast indragen, fogning ved plast/karm/regel	1b+	0.61	2.87			JO04
plastfolie ved fönstersmyg plast indragen, fogning ved plast/karm/regel	1b-	0.61	2.88			JO04
Window wall joint with fiberglass packing		0.62				PR95
Window wall joint with fiberglass packing		0.65				PR95
Window wall joint empty		1.54				PR95
Window wall joint empty		1.58				PR95
Window wall joint empty		1.61				PR95
Window wall joint empty		1.65				PR95
Window wall joint empty		1.68				PR95
wood frame wall 5.95 m2 with window			0.50		1.80	HO83
wood frame wall 5.95 m2 with window			0.69		2.13	HO83
wood frame wall 5.95 m2 with window plus sealed window frame-wall			0.48		1.66	HO83
wood frame wall 5.95 m2 with window plus sealed window frame-wall			0.65		1.93	HO83
wood frame wall 5.95 m2 with window plus sealed window frame-wall plus also sealed sash window			0.42		1.58	HO83
wood frame wall 5.95 m2 with window plus sealed window frame-wall plus also sealed sash window			0.61		1.80	HO83

		q10 pa		q 50 pa		
Leakage wall/floor		m ³ /hm	m ³ /h	m ³ /hm	m ³ /h	
						reference
Tabel över mättningar av lufttätethet						
Träsyll - betongplatta s-list - plan betong	1A	0.15	0.36			SS04
Träsyll - betongplatta plus expanderbult eller skruv	2B	0.24	0.61			SS04
Träsyll - betongplatta plus expanderbult eller skruv	2C	0.30	0.75			SS04
plåtsyll - betongplate tätremse af extruderet polyeten	5B	0.31	0.76			SS04
Träsyll - betongplatta tätremse af extruderet polyeten plan beton	2A	0.87	2.13			SS04
Träsyll - betongplatta s-list grov beton	1	1.60	3.94			SS04
plåtsyll - betongplate tätremse af extruderet polyeten	5A	1.88	4.63			SS04
plåtsyll - betongplate tätremse af extruderet polyeten	5	4.37	10.75			SS04
Träsyll - betongplatta tätremse af extruderet polyeten grov beton	2	4.91	12.07			SS04
Träsyll - betongplatta tätremsa af asflatpapp plan betong	3A	6.59	16.20			SS04
Träsyll - betongplatta tätremsa af asflatpapp grov betong	3	11.00	27.00			SS04

Leakage wall/roof		m ³ /hm	m ³ /h	m ³ /hm	m ³ /h	
						reference
Tabel över mättningar av lufttätethet						
PE-folie - putsat yta , klämning av pe-folie med taklist + t'ttmassa	12	0.00	0.00			SS04
Ekofiber vindtät klemt med treregel af gipsplata	12-	0.06		0.14		SOJ97
Ekofiber vindtät klemt med treregel af gipsplata	12+	0.11		1.46		SOJ97
PE-folie - putsat yta , klämning av pe-folie med taklist	11	0.38	0.98			SS04
kneewall with plastic foil and mineralwool plus tape			0		0	MA07
knnewall with cut in foil			7.5		22	MA07
kneewall with only plastic foil			10		18	MA07
kneewall with plastic foil and mineralwool			0.5		3.5	MA07

		10 pa		q 50 pa		
Leakage ventilation/plumbing/chimney		m ³ /hm	m ³ /h	m ³ /hm	m ³ /h	
						reference
Tabel över mättningar av lufttätethet						
ventilation duct 100mm through floor construction round hole in film d=75 mm			0.00		0.00	EV82
penetraton for plumbing sewage PVC pipe d=75mm cut 65mm long in PE foil			0.00		0.00	EV82
three d=100 mm ventilation ducts close to each other PE-film with smaller round holes			0.03		0.19	SK82
insulated ventilation duct d=170mm mineral wool with hole d=230mm with polyurethan foam			0.14		0.71	EV82
insulated ventilation duct d=170mm mineral wool with hole d=230mm with polyurethan foam			0.14		0.67	EV82

ventilation duct 100mm through floor construction plus rubber cloth with hole d=80mm plus careful taping			0.19		0.58	EV82
ventilation duct 100mm through floor construction plus rubber cloth with hole d=80mm plus careful taping			0.23		0.74	EV82
ventilation crossing cut 150-200mm in 0.2mm foil ducttape			0.24		0.69	EV82
ventilation crossing cut 150-200mm in 0.2mm foil "nitto" tape			0.30		0.97	EV82
ventilation crossing cut 150-200mm in 0.2mm foil ducttape			0.31		0.83	EV82
ventilation crossing cut 150-200mm in 0.2mm foil "nitto" tape			0.32		1.28	EV82
ventilation duct 100mm through floor construction plus rubber cloth with hole d=80mm plus careless taping			0.35		1.15	EV82
ventilation crossing cut 150-200mm in 0.2mm foil PE-tape			0.36		0.98	EV82
three d=100 mm ventilation ducts close to each other PE-film with smaller round holes plus chipboard			0.38		1.33	SK82
ventilation duct 100mm through floor construction with plywood support for cloth rubber cloth below film (smooth)			0.38		0.73	EV82
Chimney penetration with PUR-foam			0.46		1.45	SK82
ventilation duct 100mm through floor construction plus rubber cloth with hole d=80mm plus adjusted cloth			0.47		0.93	EV82
ventilation ducts d=100 trough reinforced foil crossing cut 150mm taped			0.51		1.24	EV82
ventilation ducts d=100 trough reinforced foil crossing cut 100mm			0.55		1.29	EV82
ventilation ducts d=100 trough reinforced foil crossing cut 100mm			0.59		1.39	EV82
Chimney penetration with bottoming strip and jointing compound			0.62		1.80	SK82
ventilation duct 100mm through floor construction with plywood support for cloth rubber cloth above film			0.66		1.43	EV82
ventilation duct 100mm through floor construction with plywood support for cloth rubber cloth above film			0.76		1.89	EV82
ventilation duct 100mm through floor construction with plywood support for cloth rubber cloth below film (smooth)			0.86		1.73	EV82
ventilation duct 100mm through floor construction plus rubber cloth with hole d=80mm			0.87		1.77	EV82
ventilation ducts d=100 trough 0.2mm foil crossing cut - careless mounting			0.94		2.12	EV82
ventilation duct 100mm through floor construction plus rubber cloth with hole d=80mm			0.96		2.39	EV82
insulated ventilation duct d=170mm mineral wool with hole d=170mm with rubber cloth taped			0.96		3.85	EV82
ventilation duct 100mm through floor construction with plywood support for cloth rubber cloth below film (smooth)			0.99		1.37	EV82
insulated ventilation duct d=170mm mineral wool with hole d=170mm with rubber cloth taped			1.00		3.92	EV82

ventilation duct 100mm through floor construction with plywood support for cloth rubber cloth below film (not smooth)			1.22		2.97	EV82
ventilation duct 100mm through floor construction with plywood support for cloth rubber cloth below film (not smooth)			1.25		3.50	EV82
ventilation ducts d=100 trough 0.2mm foil crossing cut - careful mounting			2.01		4.71	EV82
insulated ventilation duct d=170mm mineral wool with hole d=170mm positive pressure	1+		2.04		6.81	EV82
insulated ventilation duct d=170mm mineral wool with hole d=170mm negative pres	1-		2.16		7.29	EV82
ventilation crossing cut 150-200mm in 0.2mm foil PE-tape			2.18		4.58	EV82
penetraton for plumbing sewage PVC pipe d=75mm cut 85mm long in PE-foilnegative pressure	1-		2.29		5.54	EV82
penetraton for plumbing sewage PVC pipe d=75mm cut 85mm long in PE-foilpositive pressure	1+		2.74		7.25	EV82
ventilation duct 100mm through floor construction crossing cut L=150mm			3.66		10.94	EV82
three d=100 mm ventilation ducts close to each other hard mineral woll packing			5.36		16.99	SK82
Chimney penetration with Rubber tubular strip			5.48		15.76	SK82
Chimney penetration with mineral wool packing			5.82		20.76	SK82
insulated ventilation duct d=170mm mineral wool with hole d=230mm			7.41		21.40	EV82

		10 pa		q 50 pa		
Leakage electric boxes/spotlight		m ³ /hm	m ³ /h	m ³ /hm	m ³ /h	
						reference
Tabel över mättningar av lufttätet						
electric outlet box in 0.2mm plastic foil closed			0.00		0.00	EV82
eldose i plastfolie bra passform	2+		0.04			JO04
eldose i plastfolie bra passform	2-		0.05			JO04
Wall with a outlet box for eletricity - with taped holes			0.6		2.3	MA07
attic floor with or without outlet boxes			1		30	MA07
attic floor with 8 spotlight -good workmanship + chimney			1		10	MA07
electric outlet box in gypsum board closed			1.00		2.56	AA76
electric outlet box in gypsum board open			1.47		3.59	AA76
Wall with a outlet box for eletricity - open front			1.8		6.5	MA07
Wall with a outlet box for eletricity - with receptacle			1.8		5.2	MA07
electric outlet box in 0.2mm plastic foil open			1.93		4.38	EV82
attic floor with or without outlet boxes			2		36	MA07
attic floor with 8 spotlight -good workmanship			2		10	MA07
eldose i plastfolie slarvigt hål	1+		3.10			JO04
eldose i plastfolie slarvigt hål	1-		3.70			JO04
attic floor with 8 spotlight -poor workmanship			28		90	MA07

		10 pa		q 50 pa		
Leakage attic		m ³ /hm	m ³ /h	m ³ /hm	m ³ /h	
						reference
Tabel över mättningar av lufttätethet						
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 1200 mm överlapp 45mm innanför	1b+	0.00	0.01			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 1200 mm överlapp 45mm innanför	1b-	0.01	0.03			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 600 mm överlapp 45mm innanför	2b+	0.02	0.04			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 600 mm överlapp 45mm innanför	2b-	0.02	0.06			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 1200 mm överlapp	1a+	0.03	0.06			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp 45mm innanför	3b+	0.03	0.06			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp 45mm innanför	3b-	0.04	0.10			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 1200 mm överlapp	1a-	0.11	0.27			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp extra stift	3c+	0.46	1.10			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp extra stift	3c-	0.53	1.26			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 600 mm överlapp	2a+	1.91	4.60			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp	3a+	3.71	8.90			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 600 mm överlapp	2a-	6.43	15.40			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp	3a-	7.00	16.70			JO04

		10 pa		q 50 pa		
Leakage Wall		m ³ /hm	m ³ /h	m ³ /hm	m ³ /h	
						reference
Tabel över mättningar av lufttätethet						
vägg - syll/hammerband av trä, klemning PE-folie med gips	9	0.00	0.00			SS04
skarv - klämning med glespanel - pe-folie	2+	0		0.01		SOJ97
skarv - klämning med glespanel - pe-folie	2-	0		0.02		SOJ97
Tätband i skarv - pe-folie	3+	0		0.02		SOJ97
Tätband i skarv - pe-folie	3-	0		0.02		SOJ97
skarv i utegips med plaslist	15	0.00	0.00			SS04
Gypsum board on steel studs taped and plastered joints		0.00		0.00		AA76
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 1200 mm överlapp 45mm innanför	1b+	0.00	0.01			JO04
concrete crack 0.3mm		0.01		0.04		SC87

tättskitkt av pe-folie, klämning med glespanel mod träregel	7+	0.01		0.07		SOJ97
tättskitkt av pe-folie, klämning med glespanel mod träregel	7-	0.01		0.09		SOJ97
170 mm mineraluld utanfor plastfolie folie skarvutförande 1200 mm överlapp 45mm innenfor	1b-	0.01	0.03			JO04
joint beteen wooden elements with no joint in strip		0.01		0.04		HJ84
170 mm mineraluld utanfor plastfolie folie skarvutförande 600 mm överlapp 45mm innenfor	2b+	0.02	0.04			JO04
skarv i vindtät - klämning med glespanel - ekofiber	2+	0.02		0.13		SOJ97
skarv i vindtät - klämning med glespanel - ekofiber 2 extra spik	2+	0.02		0.13		SOJ97
skarv i vindtät - klämning med glespanel - ekofiber 2 extra spik	2-	0.02		0.13		SOJ97
tättskikt av dubbel gipsskiva och isolering	5c+	0.02		0.13		SOJ97
tättskikt av dubbel gipsskiva och isolering	5c-	0.02		0.13		SOJ97
170 mm mineraluld utanfor plastfolie folie skarvutförande 600 mm överlapp 45mm innenfor	2b-	0.02	0.06			JO04
170 mm mineraluld utanfor plastfolie folie skarvutförande 1200 mm överlapp	1a+	0.03	0.06			JO04
170 mm mineraluld utanfor plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp 45mm innenfor	3b+	0.03	0.06			JO04
joint beteen wooden elements with Joint tube profile rubber 3 mm gap		0.03		0.07		HJ84
joint beteen wooden elements with Joint tube profile rubber 5 mm gap		0.03		0.08		HJ84
skarv i vindtät - klämning med glespanel - ekofiber	2-	0.03		0.13		SOJ97
Tätband i skarv - Ekofiber vindtät	3+	0.03		0.15		SOJ97
Tätband i skarv - Ekofiber vindtät	3-	0.03		0.15		SOJ97
skarv i innegips med spackel över träregel (utan pe-folie)	4+	0.03		0.12		SOJ97
skarv i innegips med spackel över träregel (utan pe-folie)	4-	0.03		0.12		SOJ97
joint beteen wooden elements with edge to edge joint		0.04		0.08		HJ84
joint beteen wooden elements with overlap joint		0.04		0.14		HJ84
170 mm mineraluld utanfor plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp 45mm innenfor	3b-	0.04	0.10			JO04
klämning av skrav i pe-folie mellan gips och träregel	1a-	0.04		0.11		SOJ97
Skarv i utegips över träregel - pe-folie	1b+	0.04		0.07		SOJ97
Skarv i utegips över träregel - vindpapp	1b+	0.04		0.12		SOJ97
Skarv i utegips över träregel - Ekofiber vindtät	1b+	0.04		0.18		SOJ97
Skarv i utegips över träregel - Ekofiber vindtät	1b-	0.04		0.19		SOJ97
tättskikt av dubbel gipsskiva	5a+	0.04		0.27		SOJ97
tättskikt av dubbel gipsskiva	5a-	0.04		0.26		SOJ97
tättskitkt av Ekofiber vindtät, klämning med glespanel mod träregel	7+	0.04		0.22		SOJ97
tättskitkt av Ekofiber vindtät, klämning med glespanel mod träregel	7-	0.04		0.25		SOJ97
tättskitkt av Ekofiber vindtät, klämning mellan två lag gips mod träregel	8+	0.04		0.21		SOJ97
tättskitkt av Ekofiber vindtät, klämning mellan två lag gips mod träregel	8-	0.04		0.22		SOJ97
Eko-fiber vindtät 600 mm överlapp med glespanel	13-	0.05		0.26		SOJ97

joint beteen wooden elements with Joint tube profile rubber 7 mm gap		0.06		0.16	HJ84
concrete crack 0.5mm		0.06		0.27	SC87
klämning av skrav i pe-folie mellan gips och träregel	1a+	0.06		0.17	SOJ97
Skarv i utegips över träregel - pe-folie	1b-	0.06		0.18	SOJ97
Eko-fiber vindttät 600 mm överlapp med glespanel	13+	0.06		0.31	SOJ97
joint beteen wooden elements with Joint tube profile rubber 9 mm gap		0.07		0.17	HJ84
vindttät klämd mot träregel	14	0.07	0.16		SS04
tättskitkt av Ekofiber vindttät, klämning av gipsskiva mod träregel	6+	0.07		0.32	SOJ97
joint beteen wooden elements with strip folded around corner		0.08		0.20	HJ84
tättskikt av dubbel gipsskiva och isolering med hål	5d-	0.08		0.44	SOJ97
klämning av skrav i Ekofiber vindttät mellan gips och träregel	1a+	0.09		0.39	SOJ97
klämning av skrav i Ekofiber vindttät mellan gips och träregel	1a-	0.09		0.29	SOJ97
Skarv i utegips över träregel - vindpapp	1b-	0.09		0.46	SOJ97
tättskikt av dubbel gipsskiva och isolering med hål	5d+	0.09		0.53	SOJ97
vägg - syll/hammerband av trä, klemning PE-folie med gips	10	0.10	0.20		SS04
170 mm mineraluld utanfor plastfolie folie skarvutförande 1200 mm överlapp	1a-	0.11	0.27		JO04
klämning av skrav i vindpapp mellan gips och träregel	1a+	0.12		0.55	SOJ97
klämning av skrav i vindpapp mellan gips och träregel	1a-	0.12		0.58	SOJ97
tättskitkt av pe-folie, klämning av gipsskiva mod träregel	6+	0.14		0.46	SOJ97
Eko-fiber vindttät 400 mm överlapp med glespanel c/c 400 över/under	14+	0.16		0.51	SOJ97
concrete crack 0.7mm		0.19		0.86	SC87
Eko-fiber vindttät 400 mm överlapp med glespanel c/c 400 över/under	14-	0.2		0.73	SOJ97
utegips ansluten mot stålsyll/hammerbånd	13	0.22	0.55		SS04
klämning med två lag gips mot träregel	11-	0.23		0.99	SOJ97
klämning med två lag gips mot träregel	11+	0.24		1.01	SOJ97
klämning av skrav i pe-folie med hål mellan gips och träregel	1a-	0.26		0.87	SOJ97
klämning av skrav i pe-folie med hål mellan gips och träregel	1a+	0.28		0.96	SOJ97
tättskitkt av pe-folie, klämning av gipsskiva mod träregel	6-	0.28		0.99	SOJ97
klämning av skrav i vindpapp med hål mellan gips och träregel	1a-	0.28		1.07	SOJ97
tättskitkt av Ekofiber vindttät, klämning av gipsskiva mod träregel	6-	0.28		1.01	SOJ97
Eko-fiber vindttät 400 mm överlapp med glespanel c/c 400 över	15+	0.28		1.06	SOJ97
Eko-fiber vindttät 400 mm överlapp med glespanel c/c 400 över	15-	0.28		1.03	SOJ97
klämning av skrav i vindpapp med hål mellan gips och träregel	1a+	0.29		1.07	SOJ97
skarv i innegips över träregel (utan pe-folie)	4+	0.29		1.64	SOJ97

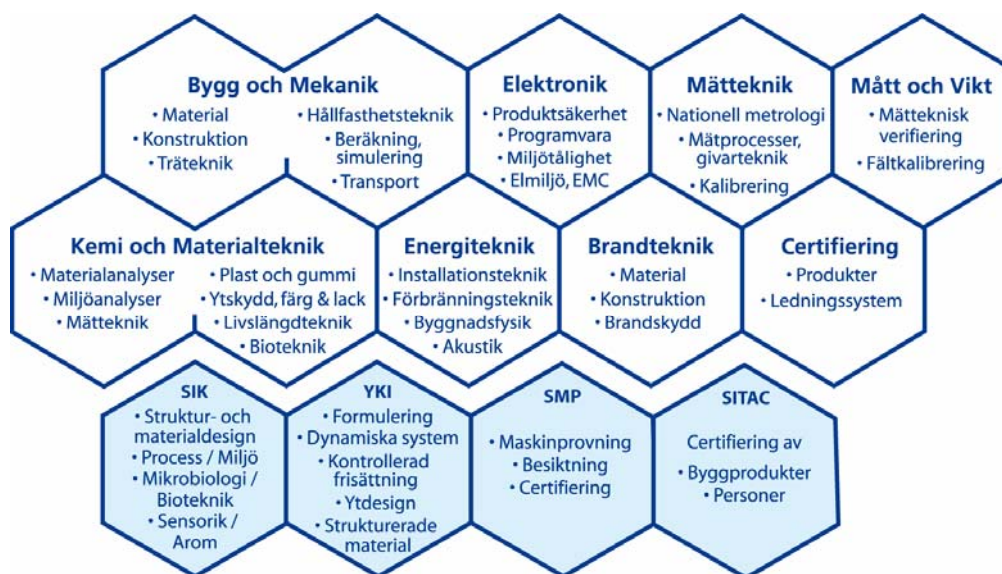
skarv i innegips över träregel (utan pe-folie)	4-	0.31		1.68		SOJ97
klämning av skrav i Ekofiber vindtät med hål mellan gips och träregel	1a+	0.32		1.14		SOJ97
klämning av skrav i Ekofiber vindtät med hål mellan gips och träregel	1a-	0.32		1.07		SOJ97
tättskikt av dubbel gipsskiva med hål	5b-	0.36		1.32		SOJ97
tättskikt av dubbel gipsskiva med hål	5b+	0.43		1.43		SOJ97
vägg - syll/hammerband av trä, klemning PE-folie med gips	18	0.44	1.08			SS04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp extra stift	3c+	0.46	1.10			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp extra stift	3c-	0.53	1.26			JO04
Gypsum board on steel studs parallel with studs		0.85		2.48		AA76
Gypsum board on steel studs perpendicular to studs		1.56		5.16		AA76
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 600 mm överlapp	2a+	1.91	4.60			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp	3a+	3.71	8.90			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 600 mm överlapp	2a-	6.43	15.40			JO04
170 mm mineraluld utanför plastfolie folie skarvutförande 200 mm överlapp	3a-	7.00	16.70			JO04
öppen skarv mellan gips 1 mm bred (l=900mm)	16	16.00	14.40			SS04
öppen skarv mellan gips 3 mm bred (l=500mm)	17	42.80	31.40			SS04
brick wall (120 mm thick with hollow bricks) poor masonry work - five month later			0.16		0.80	NE91
brick wall (120 mm thick with hollow bricks) good masonry work			0.18		0.82	NE91
brick wall (120 mm thick with hollow bricks) poor masonry work - fresh			0.53		1.33	NE91
Wall with a 10 mm holes with anchors trough gypsum board and PE-foil			0.1		0.3	MA07
Wall with a 10 mm holes trough gypsum board and PE-foil			0.2		0.6	MA07
vägg - syll/hammerband av trä, klemning PE-folie med gips	6			0.13	0.31	SS04

		10 pa		q 50 pa		
		m ³ /hm	m ³ /h	m ³ /hm	m ³ /h	
Leakage PE-foil						
						reference
Tabel över mättningar av lufttätethet						
0.2 mm polyetylen foil 4cm cut			0.06		0.19	EV82
0.2 mm polyetylen foil 8cm cut			0.50		1.07	EV82
0.2 mm polyetylen foil hole 1cm ²			0.79		2.14	EV82
0.2 mm polyetylen foil 16cm cut			0.99		2.91	EV82
0.2 mm polyetylen foil 32cm cut			3.46		10.34	EV82
0.2 mm polyetylen foil hole 10cm ²			8.96		19.92	EV82

		q10 pa		q 50 pa		
Leakage gypsum/concrete/masonry		m ³ /hm	m ³ /h	m ³ /hm	m ³ /h	
						reference
Tabel över mättningar av lufttätethet						
skarv i utegips med plaslist	15	0.00	0.00			SS04
Gypsum board on steel studs taped and plastered joints		0.00		0.00		AA76
concrete crack 0.3mm		0.01		0.04		SC87
concrete crack 0.5mm		0.06		0.27		SC87
0.2 mm polyethylen foil 4cm cut			0.06		0.19	EV82
concrete crack 0.7mm		0.19		0.86		SC87
0.2 mm polyethylen foil 8cm cut			0.50		1.07	EV82
0.2 mm polyethylen foil hole 1cm ²			0.79		2.14	EV82
0.2 mm polyethylen foil 16cm cut			0.99		2.91	EV82
Gypsum board on steel studs parallel with studs		0.85		2.48		AA76
Gypsum board on steel studs perpendicular to studs		1.56		5.16		AA76
öppen skarv mellan gips 1 mm bred (l=900mm)	16	16.00	14.40			SS04
öppen skarv mellan gips 3 mm bred (l=500mm)	17	42.80	31.40			SS04
brick wall (120 mm thick with hollow bricks) poor masonry work - five month later			0.16		0.80	NE91
brick wall (120 mm thick with hollow bricks) good masonry work			0.18		0.82	NE91
brick wall (120 mm thick with hollow bricks) poor masonry work - fresh			0.53		1.33	NE91
0.2 mm polyethylen foil 32cm cut			3.46		10.34	EV82
0.2 mm polyethylen foil hole 10cm ²			8.96		19.92	EV82

Referanser	
EV82	table 8.6 Eriksson and Vikholm 1982
AA76	Andersson and Arfs 1976
SK82	table 8.9 Skaar 1982
JO04	Johansson 2004
MA07	Mattson paper 2007
SOJ97	Sikander och Olsson-Jonsson 1997
SC87	table 8.1 Schechinger 1987
HJ84	Table 8.3 Höglund and Jansson 1984
HO84	Table 8.10 Höbenreich 1983
NE91	Nevander 1991
SS04	tabel 5.1 Sandberg and Sikander 2004
PR95	Proskiw 1995

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 drygt 850 medarbetare som bygger våra tjänster på kompetens, effektivitet, opartiskhet och internationell acceptans.



SP är organiserat i åtta tekniska enheter och fyra 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 2007:23

ISBN 91-85533-53-X

ISSN 0284-5172

A Member of

 **United Competence**